

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SU KAYIPLARININ AZALTILMASI İÇİN İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNİN
REHABİLİTASYONU VE FAYDA-MALİYET ANALİZİ**

Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN – 2018

Tezin Başlığı: Su Kayıplarının Azaltılması için İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinin Rehabilitasyonu ve Fayda-Maliyet Analizi

Tezi Hazırlayan: Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

Sınav Tarihi: 28.06.2018

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahmut FIRAT
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat KAYA
Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Apdulmutalip ŞAHİNASLAN
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “Su Kayıplarının Azaltılması için İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinin Rehabilitasyonu ve Fayda-Maliyet Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU KAYIPLARININ AZALTILMASI İÇİN İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNİN REHABİLİTASYONU VE FAYDA-MALİYET ANALİZİ

Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

113 + viii sayfa

2018

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi, kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ve sürdürülebilir kentsel su yönetimi için oldukça önemlidir. Su kayıpları ile mücadelede uygulanacak yöntem ve izlenecek yola karar vermek için ekonomik analizin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, içmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılmasında, mevcut şebeke sistemlerinde mükerrer eski şebeke hatlarının iptali, şebeke borusu değiştirilmeden ölçülebilir alt bölge (ÖAB) oluşturulması ve tüm şebeke elemanlarının değiştirilmesi ile ÖAB oluşturulması yöntemlerinin uygulanması ve her bir yaklaşım için karşılaştırmalı olarak ekonomik analizin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya ili merkez içmesuyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanında sistemin daha iyi yönetilebilmesi için mevcut şebeke koşulları korunarak ve şebeke borusu tamamen değiştirilerek iki farklı ÖAB tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu iki farklı ÖAB’lerde ilk önce su kayıp analizi gerçekleştirilmiş ve sistemin performansındaki iyileşme izlenmiştir. Daha sonra iki farklı şekilde tasarlanan ÖAB’lerde seçilen pilot bölgelerde ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış ve yapılan yatırım amorti süresi belirlenmiştir. Şebeke borusu değiştirilmeden sadece diğer şebeke elemanları ile izole edilen bölgelerde ilk yatırım maliyetinin düşük olduğu buna karşılık sızıntı tespit ve önleme yöntemlerinin uygulanması ile şebeke performansının iyileştiği görülmüştür. Diğer taraftan eski boru yoğunluğunun çok olduğu bölgelerde şebeke borusu değiştirilerek oluşturulan ÖAB’lerde su kayıp oranlarının % 10-15 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda şebeke borusu değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’lerin kentsel su yönetiminde önemli katkılar sağladığı, eski boru oranı fazla olan bölgelerde şebeke yenilenmesinin ise işletme maliyetini ve su kayıp oranını önemli ölçüde düşürdüğü ve uzun vadede su yönetimi açısından oldukça faydalı olduğu söylenebilir.

ANAHTAR KELİMELEER: Ölçülebilir alt bölge, su kayıpları, kentsel su yönetimi, fayda-maliyet analizi

ABSTRACT

Msc Thesis

REHABILITATION OF WATER DISTRIBUTION SYSTEMS FOR WATER LOSS REDUCTION AND COS-BENEFIT ANALYSIS

Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

113 + viii pages

2018

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

It is important to identify, reduce, prevent and control the water losses for sustainable urban water management and efficient use of resources in potable water distribution systems. In order to determine the method to be applied in the management of water loss and the way to be followed, an economic analysis is required. In this study, the reduction of water losses in water distribution systems, the removal of duplicate old pipes, the definition of district metered area (DMA) in existing network conditions, the definition of the DMA with the rehabilitation of pipes and fittings and the comparative economic analysis for each approach were aimed. For this purpose, the water distribution system of the central city of Malatya was chosen as the application area. In order to better manage the system in the application area, two different DMAs have been designed and implemented, maintaining the existing network conditions and completely rehabilitation the network pipelines. In these two DMAs design, first the water loss analysis was performed and the improvement in the performance of the system was observed. Then the initial investment and operating costs were calculated and the investment amortization period was determined in the selected pilot regions in the DMAs designed in two different ways. It was observed that in areas where the network pipe is not replaced, the initial investment cost is low, but the application of leakage detection and prevention methods improves network performance. On the other side, it was seen that the water loss rates of the DMAs, which are formed by changing the network pipes in the areas where there is a lot of old pipe density, are 10-15%. As a result of the study, it can be said that the ÖABs provide significant contributions to the urban water management and the network renewal in the areas with the old pipe ratio considerably reduces the operating cost and water loss rate and is very useful in terms of water management in the long term.

KEYWORDS: District metered area, water losses, urban water management, and cost-benefit analysis

TEŞEKKÜR

Bu araştırma sürecinde değerli bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mahmut FIRAT' a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı arz ederim.

Yüksek Lisans süreci boyunca ihtiyacım olan bilgi ve veri birikimini paylaşan, yol gösteren ve yardımını esirgemeyen başta Genel Müdür Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR olmak üzere Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanal İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü personeline,

Özellikle çalışma kapsamında yapılan saha uygulamaları ve ölçümleri için MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı ve personeline;

Tezin veri toplama, derleme, planlama ve saha uygulamaları kısmında desteklerinden dolayı MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı Tesisler ve Otomasyon Şube Müdürü Elektronik Müh. Mustafa YILDIRIM'a, İçmesuyu Daire Başkanlığı personelleri İnşaat Yüksek Mühendisi Furkan BOZTAŞ, Elektrik-, İnşaat Mühendisi Abdulkadir AYHAN, Ömer Faruk SAMANLI'ya, MASKİ Genel Müdürlüğü Yatırım İnşaat Daire Başkanlığı personeli İnşaat Yüksek Mühendisi Salih YILMAZ'a;

Ayrıca eğitim-öğretim hayatım boyunca bana her konuda destek veren çok kıymetli Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, İÜ-BAP 2018/663 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	ÖZET.....	iii
	ABSTRACT.....	iv
	TEŞEKKÜR.....	v
	İÇİNDEKİLER.....	vi
	ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
	ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1	GİRİŞ.....	1
2	KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3	ÇALIŞMA ALANI.....	9
4	İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SU KAYIP YÖNETİMİNDE ÖLÇÜLEBİLİR ALT BÖLGELERİN OLUŞTURULMASI.....	12
4.1	Su Kayıp Yönetiminde ÖAB Neden Gerekli.....	13
4.2	Alt Ölçüm Bölgelerinin Tasarımı ve Sahada Uygulanması.....	20
4.2.1	Alt Ölçüm Bölgelerinin Oluşturulması İçin Tasarım Ölçütleri.....	20
4.2.2	Ölçülebilir Alt Bölgelerin Oluşturulması: Malatya İli Örneği.....	27
5	MİNİMUM GECE DEBİSİ.....	37
5.1	Minimum Gece Debisi Analizi Dabakhane ÖAB Örneği.....	40
5.2	Minimum Gece Debisi Analizi: Diğer ÖAB Uygulamaları.....	43
6	ÖLÇÜLEBİLİR ALT BÖLGELERDE SU KAYIPLARININ AZALTILMASI VE FAYDA MALİYET ANALİZİ.....	46
6.1	İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Eski Hat İptallerinin Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Fayda-Maliyet Analizi.....	47
6.1.1	İzole Alt Ölçüm Bölgesinde Mükerrer Hat İptalleri: Kavaklıbağ ÖAB Örneği.....	48
6.2	İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB İle Su Kayıplarının Azaltılması ve Fayda-Maliyet Analizi.....	61
6.2.1	Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB’de Fayda-Maliyet Analizi: Dabakhane ÖAB Örneği.....	63
6.2.2	Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB’de Fayda-Maliyet Analizi: İstklal ÖAB Örneği.....	72
6.3	İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke ve Rehabilitasyonunun Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Ekonomik Analizi.....	81
6.3.1	Rehabilitasyonu Yapılan İzole Alt Ölçüm Bölgelerinde Mevcut Şebeke Koşullarının Değerlendirilmesi.....	84
7	SONUÇLAR.....	102
8	KAYNAKLAR.....	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Çalışma Alanı	9
Şekil 3.2.	Malatya İsale Hattı Debi Değişimleri (MASKİ,2018).....	10
Şekil 3.3.	CBS Ortamında İçmesuyu Şebeke Planı (MASKİ,2018).....	11
Şekil 3.4.	Boru Dağılım Grafiği (MASKİ,2017).....	11
Şekil 4.1.	Şehre Verilen Su Miktarının Değişimi (MASKİ, 2018).....	27
Şekil 4.2.	Planlanan ÖAB'ler İçin Sahada Yapılan Çalışmalar (MASKİ,2018).....	30
Şekil 4.3.	Uygulama Alanında ÖAB'lerin Dağılımı (MASKİ, 2018).....	36
Şekil 5.1.	Dabakhane Bölgesi.....	40
Şekil 5.2.	Dabakhane Bölgesi Ölçülen Gece Debileri.....	42
Şekil 5.3.	Çalışma Sonrası Dabakhane Bölgesi Ölçülen Gece Debileri (MASKİ, 2018).....	42
Şekil 5.4.	İstiklal İzole Bölgesi.....	43
Şekil 5.5.	Çalışma Sonrası İstiklal Bölgesi Ölçülen Gece Debileri.....	43
Şekil 5.6.	Kavaklıbağ İzole Bölgesi.....	44
Şekil 6.1	Mükerrer Hat İptali Yapılan Çalışma Alanı.....	48
Şekil 6.2	Kavaklıbağ ÖAB ve Debimetre Noktaları.....	49
Şekil 6.3	Debi Ölçüm Noktası.....	50
Şekil 6.4	Kavaklıbağ DMA Bölgesi İlk Ölçüm Verileri.....	50
Şekil 6.5	Kavaklıbağ DMA Pik Boru Tespiti Sonrası Debi.....	51
Şekil 6.6	Kavaklıbağ Pik Hat İptali Öncesi ve Sonrası Sisteme Giriş Hacim Değişimleri.....	53
Şekil 6.7	Dabakhane ÖAB ve Debimetre Noktaları.....	63
Şekil 6.8	Dabakhane ÖAB Çalışma Öncesi ve Sonrası Debi Değişimi.....	64
Şekil 6.9	Dabakhane Günlük Verileri Su Miktarı Değişimi.....	66
Şekil 6.10	Dabakhane ÖAB ve Debimetre Noktaları.....	72
Şekil 6.11	İstiklal ÖAB Şebeke Planı.....	73
Şekil 6.12	İstiklal ÖAB Çalışma Öncesi ve Sonrası Debi Değişimi.....	74
Şekil 6.13	Dabakhane Günlük Verilen Su Miktarı Değişimi.....	75
Şekil 6.14	Şebeke Rehabilitasyonu İçin Seçilen Alt Ölçüm Bölgeleri.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1	Şebekesi Değiştirilmeyen ÖAB'lere Ait Bilgiler (MASKİ, 2018)..	31
Çizelge 4.2	Şebekesi Değiştirilen ÖAB'lere Ait Bilgiler (MASKİ, 2018).....	31
Çizelge 4.3	Şebekesi Değiştirilmeyen ÖAB'lerde İşletme Bilgileri (MASKİ, 2018).....	33
Çizelge 5.1	QLEAK Değerlendirmesi İçin Düzeltme Katsayısı.....	39
Çizelge 5.2	Rehabilitasyonu Yapılmamış Pilot ÖAB İçin Gece Debisi.....	45
Çizelge 5.3	Rehabilitasyonu Yapılmış Pilot ÖAB İçin Gece Debisi.....	45
Çizelge 6.1	Fiziki Kayıp Dinleme ve Debimetre Maliyetleri.....	55
Çizelge 6.2	Kavaklıbağ DMA Bölgesi Maliyet Tablosu.....	56
Çizelge 6.3	Fiziki Kayıp Dinleme ve Debimetre Maliyetleri.....	69
Çizelge 6.4	Dabakhane ÖAB Maliyet Tablosu.....	70
Çizelge 6.5	Fiziki Kayıp Dinleme ve Debimetre Maliyetleri.....	77
Çizelge 6.6	İstiklal DMA Bölgesi Maliyeti.....	78
Çizelge 6.7	Pilot Bölgelerde Şebeke Bilgileri.....	85
Çizelge 6.8	Pilot Bölgelerde Boru Çapına Göre Şebeke Uzunlukları.....	85
Çizelge 6.9	Pilot Bölgelerde Gözlenmiş Arıza Oranları.....	87
Çizelge 6.10	Pilot Bölgelerde Boru Türüne Göre Arıza Sayıları.....	88
Çizelge 6.11	Çavuşoğlu AÖB Rehabilitasyon Sonunda Performansı (MASKİ,2018).....	91
Çizelge 6.12	Dağıtım Sistemleri İçin ILI Sınır Değerleri (Farley vd.,2008).....	91
Çizelge 6.13	Zaviye AÖB Rehabilitasyon Sonunda Performansı (MASKİ, 2018).....	92
Çizelge 6.14	Dağıtım Sistemleri İçin ILI Sınır Değerleri (Farley vd.,2008).....	92
Çizelge 6.15	Fırat AÖB Rehabilitasyon Sonu Performansı (MASKİ, 2018).....	93
Çizelge 6.16	Dağıtım Sistemleri İçin ILI Sınır Değerleri (Farley vd.,2008).....	93
Çizelge 6.17	Battalgazi AÖB Rehabilitasyon Sonu Performansı (MASKİ, 2018).....	94
Çizelge 6.17	Dağıtım Sistemleri İçin ILI Sınır Değerleri (Farley vd.,2008).....	94
Çizelge 6.19	ÖAB'lerde Şebeke Rehabilitasyonundan Sonra Arıza Bilgileri (MASKİ,2018).....	95
Çizelge 6.20	Battalgazi ÖAB Rehabilitasyon Sonrası oluşan arıza ve maliyetleri.....	97
Çizelge 6.21	Fırat ÖAB Rehabilitasyon Sonrası Oluşan Arıza ve Maliyetleri....	97
Çizelge 6.22	Zaviye ÖAB Rehabilitasyon Sonrası Oluşan Arıza ve Maliyetleri.	98
Çizelge 6.23	Rehabilitasyonu Yapılan ÖAB'lerde İlk Yatırım Maliyeti (MASKİ,2018).....	99
Çizelge 6.24	Rehabilitasyonu yapılan ÖAB'lerde maliyetler (MASKİ, 2018)...	100
Çizelge 6.25	Rehabilitasyonu yapılan ÖAB'lerde sızan su maliyetleri (MASKİ, 2018).....	101

1. GİRİŞ

Eski ve ekonomik ömrünü doldurmuş boru oranının fazla olduğu içme suyu dağıtım sistemlerinde rapor edilen ve/veya rapor edilmeyen arıza sayısı genel olarak yüksek seviyelerde olup bu da sistemin işletme maliyetini arttırmaktadır. Bu durumdaki sistemlerde genel olarak aşağıda verilen sorunlar ortaya çıkmaktadır;

- Vatandaşa suyun zamanında iletilmesinde aksamaların yaşanması,
- Su ve enerji kaynaklarının verimsiz kullanılması,
- Şebeke bakım ve arıza onarım maliyetleri,
- Lokal ve/veya mahalle bazlı boru yenileme maliyetleri,
- Kurum için ekonomik olmayan sürecin ortaya çıkması.

Bu nedenle arızaya sebep olan temel faktörlerin belirlenmesi, bunların etkilerinin en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Uygulamada genelde arıza meydana gelen cadde ve/veya sokak bazında boru değiştirme politikası uygulandığından dolayı eski sistemler çevresel ve diğer faktörlerden dolayı aynı noktalardan sürekli arıza üretebilmektedir. Ayrıca, eski şebekelerde eski borular ekonomik ömrünü doldurduğu için basınç değişimi altında bağlantı noktalarından arıza meydana gelmektedir. Bu tür uygulamalar uzun vadede çözüm getirmemektedir.

Özellikle hat uzunluğunun ve/veya abone sayısının fazla olduğu büyük dağıtım sistemlerinde arıza oranının ve su kayıplarının azaltılması için sistemin genelinde eş zamanlı olarak su kayıp yönetimi stratejilerinin planlanması ve uygulanması zaman alıcı ve pahalı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Büyük dağıtım sistemlerinde su kayıp yönetimi açısından yaşanan sorunlar temel olarak aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Mevcut şebeke koşullarında işletmede yaşanan sorunlar,
- Farklı zamanlarda döşenen boruların çevresel ve işletme faktörlerine bağlı olarak basınç dayanımı farklılık göstereceğinden arıza oranının bölgelere göre değişkenlik göstermesi,
- Büyük sistemlerde, vana noktalarının ve beslenim bölgelerinin net olarak bilinmemesinden dolayı arıza onarımı için mahalle veya bölge bazlı su kesintisinin yapılması,

- Sistem performansının analiz edilmesi, en uygun su kayıp yönetimi stratejisinin belirlenmesinde kullanılacak olan sisteme ait verilerin doğru, sürekli bir şekilde elde edilmesinde güçlüklerin yaşanması,
- Arıza oranının ve dolayısıyla da su kayıplarının azaltılması ve kontrol altına alınmasında sistemin geneli için aynı yöntemin uygulanmasında zorluklar yaşanması yada uygulamanın imkansız olması.

Maddeler halinde verilen bu sorunlar ilerleyen sayfalarda “İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp Yönetiminde Ölçülebilir Alt Bölgelerin Oluşturulması” başlıklı bölümde detaylandırılmıştır. Verilen bu sorunlar dikkate alındığında sistemin genelini aynı anda bütün olarak değerlendirmek ve göz önünde bulundurmak yerine daha küçük ve yönetilebilir sistemlere dönüştürmek daha kısa sürede sonuca ulaşmada önemli katkılar sunacaktır. Bu nedenle son zamanlarda su kayıp yönetiminde daha etkin bir strateji ortaya koyabilmek için, sistemi daha küçük, ölçülebilir alt bölgelere ayırma yoluna gidilmektedir. “Ölçülebilir Alt Bölge (ÖAB)” olarak adlandırılan bu yaklaşımda bölge sınırları diğer şebeke elemanlarından izole edilmekte, sistemin giriş debisi, sistemdeki abone sayısı, tüketimler, sızıntılar, kaçak kullanımlar vb. bileşenler kendi içinde değerlendirilmektedir.

ÖAB, büyük bir sistemin belli ölçütler doğrultusunda, ölçülebilir, kontrol edilebilir ve izlenebilir daha küçük alt sistemlere ayrılması şeklinde ifade edilebilir. Çünkü büyük sistemlerde sistemin işletilmesi, verilerin ölçülmesi, sistemin izlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmaları yürütmek uygulanabilir ve sonuç alınabilir değildir. Ancak her ÖAB kendi içinde ayrı bir sistem olarak değerlendirildiği için su kayıp yönetiminde ilgili ÖAB’ye en uygun stratejinin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Bu tez çalışma kapsamında da uygulama alanında ÖAB planlaması yapılmış ve Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı ekiplerince saha uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasının amaçları temel olarak aşağıda verilmektedir;

- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde su kayıp yönetiminde ölçülebilir alt bölgelerin oluşturulması,
- Uygulama alanında oluşturulan ÖAB’lerde sisteme ait su kayıp oranlarının izlenmesi ve performansının değerlendirilmesi,
- ÖAB’lerde gece debisi analizi ile sistem performansının izlenmesi,
- ÖAB’lerde eski boru hat iptallerinin su kayıplarına etkisi ve fayda-maliyet analizinin gerçekleştirilmesi,
- Şebeke borusu değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’lerde sistem performansının izlenmesi ve fayda-maliyet analizinin gerçekleştirilmesi,
- Şebeke borusu değiştirilerek oluşturulan ÖAB’lerde sistem performansının izlenmesi ve fayda-maliyet analizinin gerçekleştirilmesi.

Yukarıda verilen amaçların gerçekleştirilmesinde Malatya ili merkez içmesuyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiş ve bu tez kapsamında yapılan çalışmalar ve saha uygulamaları MASKİ) Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı ile koordineli olarak birlikte yürütülmüştür. Tez çalışması temel olarak aşağıda verilen bölümlerden oluşmaktadır;

- Literatür Özeti; ÖAB tasarımı, ekonomik analiz ve su kayıp yönetimi konuları kapsamında literatür çalışmalarını kapsamaktadır.
- Çalışma Alanı; Uygulama alanı ve özelliklerini ve saha verilerini içermektedir.
- İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp Yönetiminde Ölçülebilir Alt Bölgelerin Oluşturulması,
- Gece Debisi Analizi ve ÖAB’lerde Uygulanması,
- Eski Boru Hat İptallerinin Su Kayıplarına Etkisi ve Fayda-Maliyet Analizi,
- Şebeke Borusu Değiştirilmeden Oluşturulan ÖAB’lerde Sistem Performansının İzlenmesi ve Fayda-Maliyet Analizi,
- Şebeke Borusu Değiştirilerek Oluşturulan ÖAB’lerde Sistem Performansının İzlenmesi ve Fayda-Maliyet Analizi,
- Sonuçlar

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Park Loganathan (2002) içme suyu dağıtım sisteminde boru elemanının kritik hasar oranını tanımlamak ve boru değişimi için doğru bir çözüm sunmak için bir denklem önermiştir. Denklem geliştirilen girdi parametresi olarak, onarım ve değişim maliyetleri, faiz, boru çapı ve uzunluğu gibi değişkenler kullanılmıştır.

Tricarico vd. (2006), tarafından yapılan çalışmada su dağıtım sistemi rehabilitasyonunda, hidrolik güvenilirliği maksimum hale getirmeyi ve maliyetleri en aza indirmeyi amaçlayan bir model önermiştir. Geliştirilen model ile sistemde bütün noktalarda basınçların dengelenmesi, yapısal ve ekonomik maliyet analizlerinin yapılması, en düşük yapısal maliyete ve minimum gelir kaybına uygun şekilde özel çözümler sağlaması amaçlanmıştır.

Tanyimboh ve Kalungi (2009) tarafından yapılan çalışmada, Uganda Wobulenzi kentinin su dağıtım şebekesinde uzun süreli tasarım ve iyileştirme sağlamak amacıyla en iyi planın seçilmesi, doğrudan ve dolaylı olarak arıza maliyetlerinin belirlenmesi için AHP uygulanmış ve maliyetlerin bugünkü değerine bağlı olarak alternatiflerin kıyaslanmasıyla ekonomik analizi yapılmıştır.

He vd. (2011), su dağıtım sistemlerinde faydalı ömür modelini, ilk arıza periyodu, rastgele arıza ve ciddi arıza periyotları olmak üzere üç farklı periyotta incelemiştir. Dağıtım sisteminde, arıza ve sızıntı algılama tahmin modeli ile boru değişim programlama modeli oluşturulmuş, sızıntı tahmini için boru yaşı ile arıza sıklığı ilişkisi incelenmiştir. Model sonuçları esas alınarak zamansal ve optimal boru değişim periyodu belirlenmiş ve su kayıp ve kaçak kontrol analizi ile maliyet mukayese edilmiştir.

Ammar vd. (2012) yaptıkları çalışmada bütçe ve hizmet kısıtlamaları için rehabilitasyon sağlamak, rehabilitasyon modelinin su şebekesinin yapısal ve fonksiyonel performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Bulanık tabanlı LCC modeli, DSW algoritması, Vertex metodu uygulanarak her bir senaryonun yaşam döngü maliyeti dikkate alınmış ve belirsizliklerle ilişkilendirilmiştir.

Howarth (1998), İngiltere ve Galler’de yaşanan kuraklık olayının, su ihtiyacının artması ve şebeke dağıtım sitemlerinde yaşanan sızıntıların dengede tutulması hususunu ön plana çıkardığını belirtmiştir. Burada sızıntı seviyesi kontrolünde çevresel etkiler, çevresel fayda-maliyetler ve su idarelerinin sızıntı azaltmada gösterdiği isteksizlik vurgulanmıştır. Çalışmada su kayıplarının azaltılmasında fayda maliyet analizinin ekonomik sızıntı seviyesinin belirlenmesinde etkin rol aldığı belirtilmektedir.

Suribabu ve Neelakantan (2012), su dağıtım şebekelerinde maliyetin analiz edilmesi gerektiği, sistemi tasarlarken yatırım maliyeti ve bakım işletme onarım maliyetlerinin önemi ve özellikle kritik zamanlarda daha fazla önem kazandığı vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında, sistemin ekonomik ömrü boyunca bakım ve onarım maliyetleri ve sistem performansını esas alan bir model geliştirilmiş ve önerilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modelin, tasarım sırasında bakım ve onarım maliyetleri dikkate alındığında daha iyi bir sistem ortaya çıkacağı belirtilmiştir.

Tian (2012), su dağıtım sistemlerinde ekipmanların ekonomik ömürlerinin daha doğru bir yaklaşım ile tahmin edilmesi için yapay sinir ağı yöntemini uygulamıştır. Bu yöntem uygulanarak geliştirilen modelde, sistemdeki arızalar, ekipmanların yaşı ve durum izleme verileri esas alınmış ve ekipman arızalarını açığa çıkararak doğru veri elde edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen modelin ekipmanların ekonomik ömürlerinin tahmin edilmesi önemli katkılar sağlayacağı vurgulanmıştır.

Cabrera vd. (2013), artan tehditler nedeniyle gelecekte suyun stratejik bir kaynak olacağı vurgulanmıştır. Aşırı su kullanımı ve yüksek kayıp oranlarının sosyal, ekonomik, kültürel ve politik nedenleri bulunduğu ve kaynaktan musluğa suyun maliyetinin önem ele alınması gereken bir konu olması gerektiği belirtilmiştir.

Deidda vd. (2013) kaçak azaltmada optimal ekonomik seviyenin belirlenmesi konusunu incelemiştir. Sızıntıları azaltmada hedefin ne olması gerektiği ve bu maliyetlerin nasıl gerçekleştirilmesi gerektiği sorusuna yanıt aranmıştır. Burada çoklu kaynak ve çok merkezli içmesuyu sistemlerinde su için doğru ve güvenilir bir maliyet hedeflenmiştir.

Atkinson vd. (2014) yaptıkları çalışmada su dağıtım sistemlerinde mekanik ve hidrolik güvenilirlik sağlanması, karşılaştırılabilir çok amaçlı maliyet optimizasyonunun sağlanması, yeni pompalama ve depolama haznelerinin yer seçiminin belirlenmesi (mevcut borular da dahil) amacıyla EPANET2 programı ve NSGAII genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır.

Gomes ve Babel (2013), kayıplar su şebeke işletmesi yapan kurum ve şirketler için büyük bir sorun olarak karşılaşılan sorunlar arasında olması nedeniyle bu alanda çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında, su kayıplarının azaltılması ve ölçülebilir ve yönetilebilir şebeke planlanması için farklı karar vericilerin görüşleri esas alınarak optimizasyon algoritması ile su şebeke sisteminin daha küçük bölgelere ayrılması amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin özellikle, basınca bağlı analiz, su talebi ve boru değiştirme sayıları gibi işletme faktörlerini dikkate almasından dolayı önemli avantajları olduğu vurgulanmıştır.

Islam ve Babel (2013), su dağıtım sistemlerinde sızıntının neden olduğu su kayıplarının yaygın olarak karşılaşılan sorunlardan olduğu ve artan şehir nüfuslarına karşın şebeke kayıpları nedeniyle su talebini karşılamanın gün geçtikçe zorlaştığı vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında, su kayıp kontrol stratejisi geliştirilmesinde en önemli bileşenin ekonomik olarak azaltılabilecek sızıntı seviyesinin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada, ölçülebilir alt bölgelerde su kayıplarının azaltılmasında ekonomik bileşenler göz önünde bulundurulmuş ve şebeke sisteminde hidrolik ve işletme koşulları farklı sızıntı ve hidrolik yöntemlerle hesaplanmıştır.

Ferrari ve Savic (2015), su dağıtım sistemlerinde ölçülebilir alanların etkili bir şekilde uygulanması ve uygulamaların sürdürülebilir olması için alternatif çözümlerin ortaya konularak analizlerin ve maliyet hesaplamalarının yapılması gerektirdiği vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında, farklı izole bölge durumları karşılaştırılarak ekonomik performansı değerlendirilmiş ve farklı çözümler arasından en iyi olanını tespit edecek yol ortaya konulmuştur. Tscheikner-Gratl vd. (2015) yaptıkları çalışmada rehabilitasyon tanımlanan bölgelerde teknik ve ekonomik açıdan tavsiye sunmak, boru bozulmalarının su ve kanalizasyon şebekeleri üzerindeki etkisini saptamak için öncelik modeli (PM) uygulanmıştır.

Campbell vd. (2016), su şebeke sistemlerinde işletme kontrolü geliştirmek için kısmi alanlar oluşturulması amaçlanmış ve bunların avantajları ile dezavantajları

incelenmiştir. Çalışma kapsamında, basınç sistemi, vana ve debimetre sistemlerinin uygun koşullarda çalıştırılması, kaçak tespiti ile talebinin azaltılması, onarım ihtiyacının azaltılması gibi sonuçlara ulaşılması planlanmıştır. Metodoloji Nikaragua başkenti Managua’da uygulanmış ve genetik algoritma optimizasyon ve Monte Carlo simülasyonu kombine edilmiştir. Çalışma sonunda 25.572 \$ yıllık net fayda elde edildiği belirtilmiştir.

Inanloo vd. (2016) yaptıkları çalışmada Florida şehrinin alt yapı sistemi ele alınmıştır. Alt yapı sistemlerinin birbirleriyle olan olası etkileşimlerinin belirlenmesi, çoklu alt yapı sistemleri için; etkili, kaliteli, kapsamlı entegre bir sistem oluşturulması amaçlanmıştır. Kanalizasyon ve su şebekesi için ARCMAP, ARCGIS ile risk tahsisi haritası boru malzemesi ve çapına göre oluşturulmuştur. Zangenehmadar ve Moselhi (2016), 21. Yüzyılda önem arz eden su dağıtım şebekelerinin halk sağlığı ve güvenliği üzerinde önemli etkileri olduğunu ve boru hatlarının faydalı ömrüyle birlikte su dağıtım şebekelerinin bozulma oranlarının tahmini için doğru ve uygun maliyet modeli uygulanması gerekliliğini belirtmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında, yapay sinir ağı modeli kullanılarak boruların faydalı ömrünün tahmin edilmesi için model geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, boru yaşı, durumu, uzunluğu, çapı, malzemesi ve kırılma oranı gibi parametrelerin faydalı ömür tahmininde etkili en önemli faktörler olduğu vurgulanmıştır.

Marchionni vd. (2016), farklı özellikte varlığa sahip su sistemleri için referans maliyet fonksiyonlarının oluşturulması ve doğrulanması hedeflenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için sisteme ait fiziksel ve hidrolik faktörler dikkate alınmıştır. Çalışma, veritabanı yapısının oluşması ve varlık yönetimi, mevcut sistem maliyeti ve maliyet fonksiyonu, model oluşturma ve kalibrasyonu gibi aşamaları içermektedir. Geliştirilen maliyet fonksiyonları rastgele seçilen verilerin % 10’u kullanılarak test edilmiş ve doğrulanmıştır. Francisque vd. (2016), su şebekelerinde yaşanan bozulmalar küçük ve orta ölçekli idare ve şirketlerde teknik ve mali eksiklikler nedeniyle sorunların artmasına sebep olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, içme suyu dağıtım sistemlerinde değiştirmede öncelikli ana boru hatlarının belirlenmesinde karar destek sistemini esas alan faydalı ömür maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu model için Kelowna şehrinde uygulama gerçekleştirilmiş ve her bir boru için yaşam döngüsü için rehabilitasyon ve değişim senaryosu karşılaştırılarak uygun bir maliyet karar sistemi oluşturulmuştur.

Senante vd. (2016), su dağıtım sistemlerinde sızıntı hesaplamalarının ekonomik seviyede olup olmadığı çoğu zaman dikkate alınmamakta ve hesaplanamamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, su dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılmasında sürdürülebilir ve ekonomik düzeyde sızıntı kavramı ile çevresel ve maliyetleri incelenmiştir. Bunun hesabını yapmak için yönlü mesafe fonksiyonu kullanılmış ve kayıpların maliyeti sızıntının ekonomik olarak değerlendirilmesinde öncü bir yaklaşım olduğu vurgulanarak Şili’de su yönetimi için ampirik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, sızıntıların maliyetinin sisteme verilen oranın %32’lik kısmına denk geldiği görülmüş ve böylece kaçakların Su İdareleri yöneticileri açısından farkındalık olması ve dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

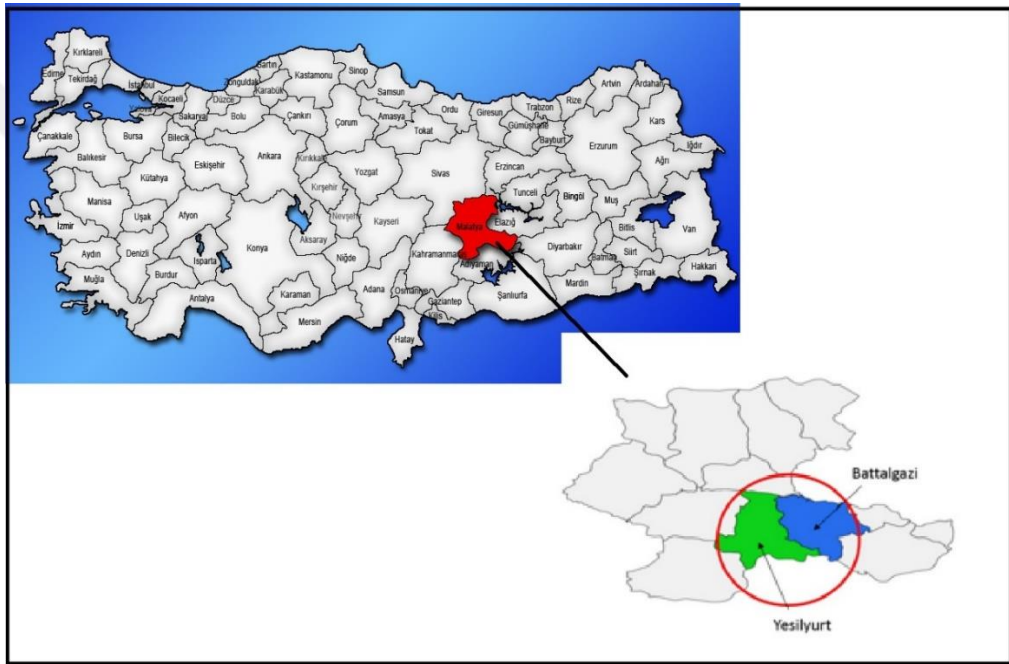
Sechi ve Zucca (2017), su temin sistemlerinde yenileme için en uygun ekonomik analiz ve kayıp azaltma stratejisini belirlemek için dengeli bir çözüm tanımlamıştır. Su kazanımı ve diğer ek faaliyetlerin sızıntı azaltma üzerindeki marjinal maliyetleri incelenmiş, yatırım önceliklerinin tanımlanması sağlanarak en uygun strateji oluşturulmuş ve Sardunya (İtalya) için uygulama gerçekleştirilmiştir.

Creaco ve Walski (2017), sızıntı ve boru patlamalarının azaltılması için basınç kontrol sistemlerinin ekonomik analizini sunmuş ve tartışmıştır. Çalışmada, basınç kırıcı vanalar (PRV) ve uzaktan kontrol sistemleri (RTC) gibi basınç kontrol sistemlerinin uygulandığı şebekelerin kontrol edilmeyen sistemlere göre daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Nardo vd. (2017), su bütçesinin hesaplanmasında şebeke sisteminin izole alanlara ayrılmasının su şebekesi yönetimini basitleştirdiğini vurgulamış ve bu tür sistemlerde debimetrelerin ve ayırım vanalarının esas planlanması gereken hususlar olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışma kapsamında, su bütçesini basit olarak hesaplamak, hidrolik performansları korumak, sermaye ve operasyon maliyetleri azaltmak için model geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışmalar için Meksika şebeke sisteminde farklı çözümler ve akıllı karar destek sistemleri kullanılmıştır.

3. ÇALIŞMA ALANI

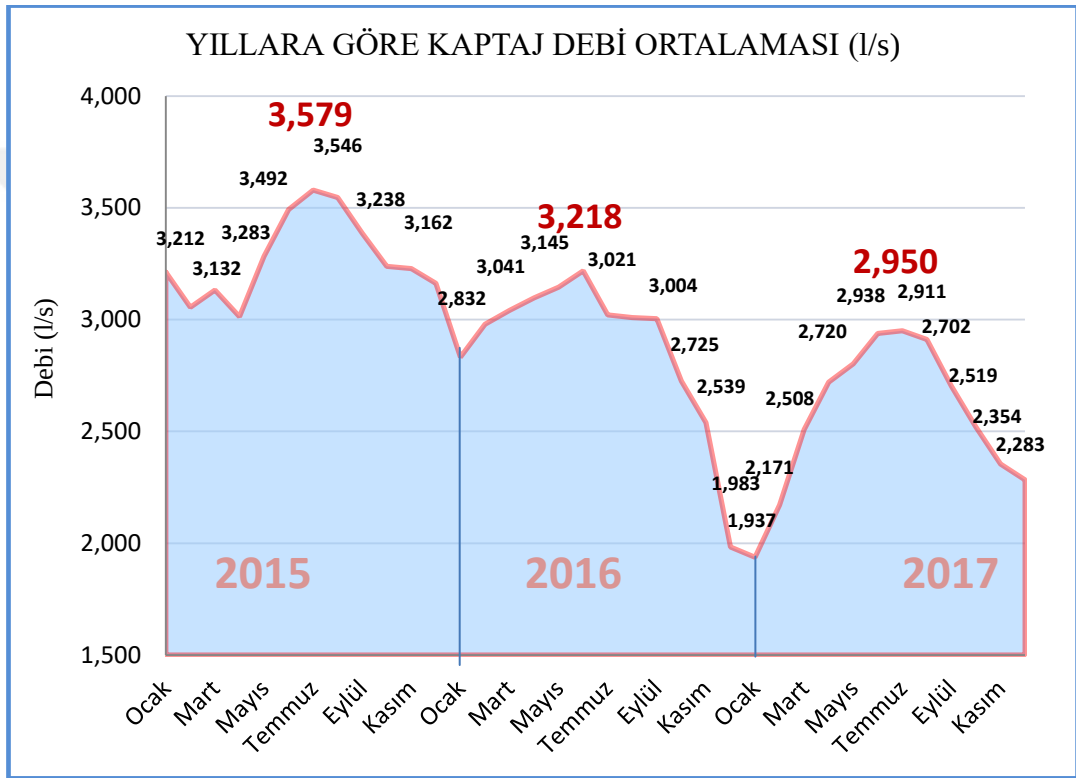
Su kayıplarının araştırılması ve azaltılmasında fayda maliyet için Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Malatya İli, kuzeyde Sivas ve Erzincan, doğuda Elazığ ve Diyarbakır, güneyde Adıyaman ve batıda Kahramanmaraş illerine komşu bulunmakla beraber, il topraklarının toplam yüzölçümü 12.412 km^2 'dir (MASKİ, 2017). Şehrin nüfusu 2017 verilerine göre 786.676 kişidir. Tez kapsamında çalışma alanı olarak Battalgazi ve Yeşilyurt merkez ilçeleri seçilmiştir. Bu iki ilçenin toplam nüfusları ise 618.831 kişiden oluşmaktadır. Uygulama alanı Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı

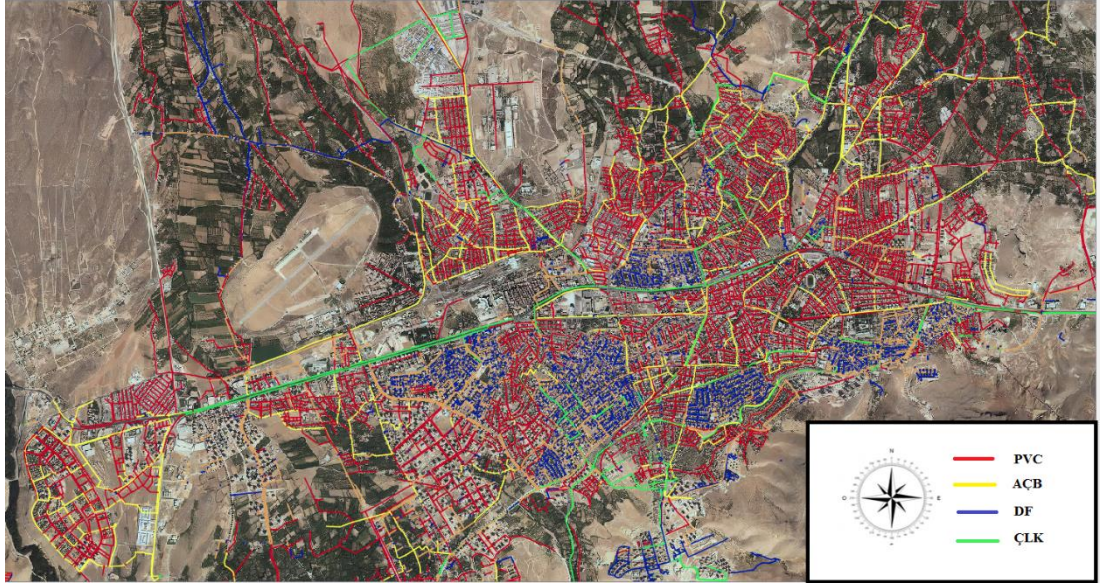
Malatya ili 2012 yılında kabul edilen 6360 sayılı Büyükşehir Yasası kapsamında, 2014 yerel seçimleriyle beraber Büyükşehir olmuştur. Bu gelişmeyi takiben Bakanlar Kurulu'nun 13.03.2014 tarih ve 2014/6072 sayılı kararı gereği Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) Genel Müdürlüğü kurulmuştur. MASKİ kuruluşunun ardından 14 farklı idare tarafından yönetilen su dağıtım sistemleri tüm il sınırını kapsayacak şekilde tek bir idare kontrolörlüğünde toplanmıştır. Bu gelişme su ve kanal idaresinin hizmet alanını 778 km^2 'den 12.412 km^2 'ye çıkarmıştır. Büyükşehir Yasasından önce su yönetiminin tek bir idare tarafından kontrol edilemiyor oluşu, beraberinde ciddi sorunlarda

getirmiştir. Her idarenin su ile havza bazlı çözümler üretmek yerine lokal çözümlere yönelmesi su yönetimini güçleştirmektedir. Malatya ili merkez ilçelerinin su ihtiyacı kaptaj kaynağından giderilmektedir. Yeşilyurt İlçesi, Gündüzbey Beldesi, Kozluk köyü sınırları içerisinde bulunan kaptaj, şehir merkezine 19 km uzaklıkta, 1.110 m yükseltide bulunmaktadır. Beydağı eteklerinden çıkan bu su kaynağı, Roma İmparatorluğu döneminden bugüne Malatya'nın içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılayan ana kaynaktır. Kaynak ortalama 3579 l/s, maksimum 2600 l/s debiye sahiptir. Kaptajın debi grafiği Şekil 3.2'de verilmiştir.

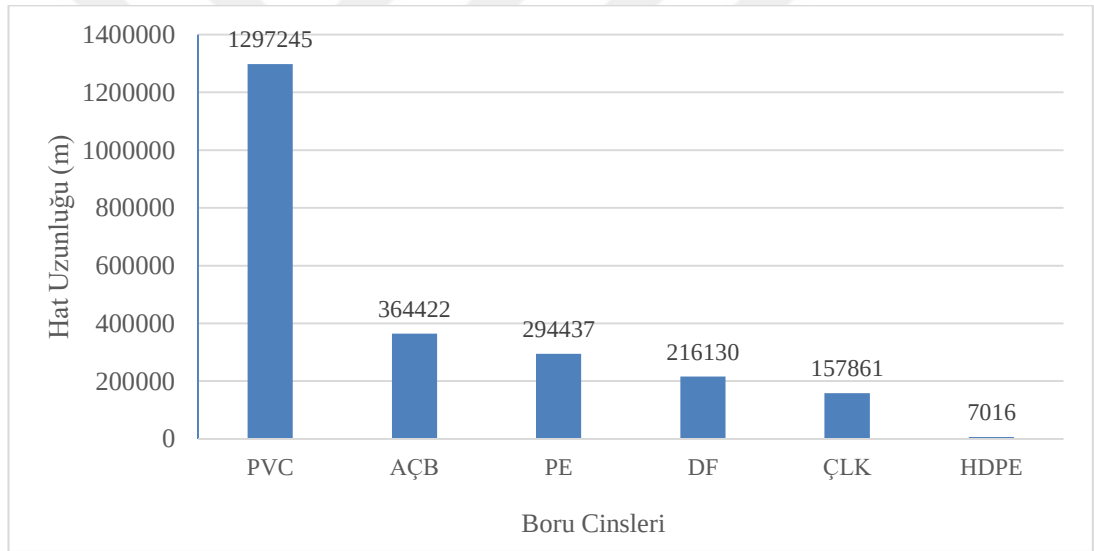


Şekil 3.2. Malatya isale hattı debi değişimleri (MASKİ, 2018)

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde iyi bir işletme performansının yakalanabilmesi için mevcut şebekenin iyi bilinmesi gerekmektedir. Sistemde bulunan boruların fiziki özellikleri, hidrolik özellikleri, içmesuyu depolarının beslenme alanları, abone bağlantılarının durumu ve vana noktaları gibi önemli bilgilere ulaşılması amacıyla tüm şebeke ve düğüm noktaları coğrafi bilgi sistemi üzerine işlenmiştir. Sayısal ortama aktarılan şebeke Şekil 3.3'te ve uygulama alanı boru malzemesine göre boru uzunluğu değişimi Şekil 3.4 'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. CBS Ortamında İçmesuyu Şebeke Planı (MASKİ, 2018)



Şekil 3.4. Boru cinsi dağılım grafiği (MASKİ, 2017)

Coğrafi bilgi sistemi üzerine işlenmiş olan şekil 3.3’de gösterilen Battalgazi ve Yeşilyurt merkez ilçeleri toplam 1.700 km şebeke uzunluğuna sahip olup, söz konusu bu bölgede 220.000 abone bulunmaktadır. İçmesuyu şebekesi ağırlıklı olarak PVC borulardan oluşurken, şebekede düktil font, asbest ve polietilen borular bulunmaktadır. Uygulama alanında eski yerleşim yerlerinde arıza oranının fazla olması, su kaynaklarının yetersiz ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle su kayıp-kaçaklarının izlenmesi ve gerekli müdahalenin yapılması zorunlu hale gelmektedir.

4. İÇMESUYU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE SU KAYIP YÖNETİMİNDE ÖLÇÜLEBİLİR ALT BÖLGELERİN OLUŞTURULMASI

Su kayıpları ile mücadele etmek, kontrol altına almak ve en uygun önleme stratejisi geliştirmek sürdürülebilir su yönetimi açısından oldukça önemlidir. Ancak bu büyük şebekelerde sistemin tamamı için bu çalışmaları yapmak zaman alıcı ve oldukça maliyetlidir. Bu nedenle son zamanlarda su kayıp yönetiminde daha etkin bir strateji ortaya koyabilmek için, sistemi daha küçük, ölçülebilir alt bölgelere ayırma yoluna gidilmektedir. “Ölçülebilir Alt Bölge (ÖAB)” olarak adlandırılan bu yaklaşımda bölge sınırları diğer şebeke elemanlarından izole edilmekte, sistemin giriş debisi, sistemdeki abone sayısı, tüketimler, sızıntılar, kaçak kullanımlar vb. bileşenler kendi içinde değerlendirilmektedir.

ÖAB oluşturmada amaçlar ve beklenen faydalar temel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Sınırları kesin bir şekilde belirlenmiş, diğer şebeke elemanlarından net bir şekilde izole edilmiş ve kontrol edilebilir bir sistem elde edilmesi,
- Etkin bir su kayıp yönetimi için sistemdeki tüm fiziksel, hidrolik, çevresel ve yapısal bileşenlerin ve faktörlerin düzenli olarak ölçülmesi,
- Standart su dengesi tablosunun daha etkin bir şekilde doldurulması, gece debisinin izlenmesi ile potansiyel sızıntı noktalarının belirlenmesi ve yeni sızıntıların önlenmesi,
- Tek veya birden fazla giriş noktası tanımlanmış, sistem giriş debisi ve hacminin anlık olarak belirlenmesi,
- Tüketime en az olduğu saatlerde sisteme giren hacmin net olarak belirlenmesi,
- Abone sayısı, türü, ve tüketim karakteristiği net bir şekilde belirlenerek gece debisi ile ilişkilendirilmesi ve kayıp analizinin yapılması,
- Daha küçük ve sınırları belirlenmiş bir sistemde anlık olarak debi ve basınç ölçümünün yapılması, değişimlerin izlenmesi, sızıntı analizinin gerçekleştirilmesi,
- Sisteme ait tüm bileşenlerin (giriş hacmi, tüketimler, tahakkuk vb.) düzenli olarak ölçülmesi ve sistem performansının doğru bir şekilde izlenmesi,
- ÖAB belirlenirken topoğrafik koşullar dikkate alındığı için bu tür sistemlerde daha etkin basınç kontrol yönetimi stratejisinin uygulanması,

- Sınırları net bir şekilde belirlenmiş bölgede sızıntı tespit ve onarım işlerinin hızlandırılması, abone sayaç yenileme programlarının öne çekilmesi.

Tez çalışmasının bu bölümünde su kayıp yönetimi için planlanan, sahada çalışmaları yapılan ve uygulanan ÖAB yaklaşımı ile ilgili aşağıdaki sorulara cevap aranacaktır.

- ÖAB oluşturmak neden gerekli?
- ÖAB oluşturmada beklenen faydalar nedir?
- ÖAB tasarım ölçütleri nelerdir?
- ÖAB oluşturmak için planlama, projelendirme ve saha çalışmaları neleri kapsar?

4.1. Su Kayıp Yönetiminde ÖAB Neden Gerekli?

ÖAB, büyük bir sistemin belli ölçütler doğrultusunda, ölçülebilir, kontrol edilebilir ve izlenebilir daha küçük alt sistemlere ayrılması şeklinde ifade edilebilir. Çünkü büyük sistemlerde sistemin işletilmesi, verilerin ölçülmesi, sistemin izlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmaları yürütmek uygulanabilir ve sonuç alınabilir değildir. Su kayıp yönetiminde ÖAB oluşturma neden gerekli olduğu, büyük sistemlere göre avantajları ve ÖAB'den beklenen faydalar temel olarak aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

a) Mevcut Şebeke Koşulları

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde, şebeke işletme çalışmaları çeşitli faktörlere bağlı olarak güçleşmekte ve önemli sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle eski şebeke boru yoğunluğunun fazla olduğu, boru karakteristiğinin (boru malzemesi farklılığı gibi) değişkenlik gösterdiği, arıza yoğunluğunun şebeke genelinde farklılık gösterdiği sistemlerde sistematik ve planlı işletme ve bakım stratejisinin geliştirilmesi oldukça zordur.

Arıza oranı, yıllık olarak sistemde meydana gelen arıza sayısının hat uzunluğuna oranı olarak ifade edilmektedir. Arıza oranı, çeşitli fiziksel (boru

malzeme türü, boru çapı, basınç dayanımı), çevresel (zemin özelliği, yer altı suyu değişimi, trafik yükü) ve işletme (sistem basıncı, su kesinti sıklığı) gibi faktörlere göre bağlı olarak bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Hat uzunluğunun fazla olduğu ve geniş bir alana dağılmış büyük şebeke sistemlerinde, sistem geneli için uygun bakım-onarım-boru değişimi stratejisinin geliştirilmesi ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Çünkü sistemin genelinde benzer arıza oranı karakteristiği çoğu durumda gözlenmemekte ve boru malzemesi kalitesi bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu nedenle sistemin geneli için ekonomik olmayan ve uygulanması güç olan bir strateji yerine, sınırları ayrılmış ve diğer bölgelerden izole edilmiş ÖAB oluşturmak ve her bir ÖAB'ye özgü çözümün getirilmesi daha uygun olacaktır. Böylece her bir bölge kendi içinde değerlendirilmekte, arızaya etki eden faktörler her bir bölge için ayrı ayrı analiz edilmekte ve bu faktörlerin etkisi azaltılarak arıza oranı düşürülebilmektedir. Arıza oranının yüksek olduğu ÖAB'de her türlü bakım ve onarım faaliyetlerine rağmen arıza oranında azalma olmaması durumunda sadece ilgili bölgede boru değişim yoluna gidilebilir. Bu da daha az boru değişimi ile sistemin iyileştirilmesi ve işletme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi anlamı taşımaktadır. Ayrıca ÖAB olarak ayrılmış bir dağıtım sisteminde sızıntıların azaltılması için şebeke rehabilitasyonuna karar vermek için, her bir ÖAB belirlenecek faktörlere göre değerlendirilip en sorunlu ÖAB'ler belirlenip şebeke rehabilitasyonunda önceliklendirme yapılabilir. Bu da daha az zamanda, daha az yatırım ile daha fazla sızıntı önleme stratejisinin ortaya konulması açısından oldukça önemlidir.

Dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların onarılması için *su kesintisinin* yapılması gerekmektedir. Özellikle eski ve büyük sistemlerde, vana yerlerinin bilinmemesinden dolayı su kesintisinin cadde veya sokak bazında yapılması çoğu durumda mümkün olmamaktadır. Bu da arıza yoğunluğunun fazla olduğu sistemlerde mahalle ya da bölge ölçeğinde sık sık su kesintisinin yaşanması, vatandaş şikayetlerinin artmasına, su kalitesinde değişimlere ve nihayetinde işletme koşullarının bozulmasına neden olmaktadır. Bu tür sistemlerde en temel sorun, sistemin çok büyük olması, sistemde vana gibi kontrol elemanlarının yerinin bilinmemesi ve bu elemanların kapsadığı cadde ve sokak bilgilerinin yetersiz olması, şebeke işletme planlarının yetersiz olması ve sayısal ortamda olmaması gibi faktörler gösterilebilir. Ancak diğer şebeke elemanlarında izole edilmiş bir ÖAB'de, sisteme

ait tüm boru ve diğer kontrol elemanlarının yerlerinin belirlenmesi, sayısal ortama aktarılması, uygun işletme planlarının oluşturulması, arıza durumunda arıza noktasına en yakın vana yerinin belirlenmesi daha kolay olmakta ve işletme anlamında önemli katkılar sunmaktadır. Bir ÖAB’de arıza meydana gelmesi durumunda sadece ilgili caddede arıza noktasına en yakın vana kapatılacağı için su kesintisinden en az abone etkilenecek ve dolayısıyla da yukarıda bahsedilen sorunlar en az oranda yaşanacaktır.

b) Verilerin Ölçülmesi

Mühendislik çalışmalarında sorunun teşhis edilmesinde, soruna yönelik çözümlerin ve stratejilerinin geliştirilmesinde, sistemi ve problemi temsil eden, problem ile ilgili verilerin doğru ve sürekli bir şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir. Su kayıp yönetiminde sistem performansının belirlenmesi, izlenmesi ve diğer sistemler ile kıyaslanması için IWA tarafından önerilen standart su dengesi tablosu önerilmiştir. Ayrıca, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından su kayıplarının kontrolü için 8 Mayıs 2014 tarihinde *“İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su kayıplarının Kontrolü”* yönetmeliği yayınlanmıştır. Yayınlanan bu yönetmelikte, su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ve su kayıplarının azaltılması ve Su İdaresinin performansının izlenmesi amaçlanmıştır. Bu yönetmelikte, *“Yönetmeliğin yayınladığı tarih esas alınarak Su İdarelerinin 5 yıl içinde su kayıp oranlarının % 30’a, takip eden 4 yıl içinde ise % 25 seviyelerine indirmesi gerektiği”* vurgulanmaktadır. Su kayıp oranının yönetmelikte verilen oranlara indirilmesi için çok ciddi yatırımların yapılması gerektiği açıktır. Bu yatırımların yapılması ile su kayıp oranının belirlenen sürede belirlene hedefe ulaşması ve en uygun stratejinin ortaya konulması için aşağıda verilen hususların yerine getirilmesi önemlidir;

- Sistemin mevcut durumunun analiz edilmesi,
- Sisteme ait hidrolik, fiziksel, çevresel ve işletme ana başlıkları altındaki bileşenlerin bilinmesi ve sürekli olarak izlenebilir olması,
- Sistemin sürekli ve doğru bir veri ile izlenmesi sayesinde su kayıp oranının net bir şekilde bilinmesi,

- Sistem performansı üzerinde etkili değişkenlere ait verilerin doğru, sürekli ve sürdürülebilir bir şekilde ölçülebilir olması,

Ancak bir dağıtım sisteminde, sistemin tamamında verilerin eş zamanlı olarak, sürekli bir şekilde ölçülmesi ve bu verilerin izlenmesi uygulanabilir olmaktan uzaktır. Yerleşim yerlerinde, şebeke özellikleri, abone profili, çevresel ve işletme koşulları, arıza oranları, boru malzemesi özellikleri vb. diğer sisteme ait bileşenler dağıtım sisteminin tümünde benzer karakteristiğe sahip olmayıp bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle sistemin tamamındaki yukarıda verilen bileşenlerdeki homojen olmayan yapıdan dolayı aşağıda verilen hususlar ortaya çıkmaktadır;

- Verilerin toplanma şekli, sıklığı, önceliğinin bölgeden bölgeye değişkenlik göstermesi,
- Arızaya sebep olabilecek, çevresel faktörlerin (zemin, trafik sıklığı, topoğrafya vb.), fiziksel faktörlerin (boru cinsi, çapı, yaşı, basınç dayanımı vb.), işletme faktörlerin (sistem basıncı, basınçtaki değişimler, tüketim oranları, su kesinti sıklığı vb.) ve hidrolik faktörlerin (projelendirmede ön görülen hız, basınç, debi vb.) etki düzeyinin farklı olması dolayı bu faktörlerin etkisinin azaltılmasında uygulanacak yöntemler için gerekli verilerin niteliğinin, ölçüm şeklinin ve sıklığının farklı olması,
- Fiziki ve idari kayıp bileşenlerine ait oranlar bölgeden bölgeye değişkenlik göstereceğinden dolayı bu oranların azaltılması ve önleminde uygulanacak stratejiye uygun verilerin toplanması, elde edilme sıklığının değişkenlik göstermesi,
- Sistem performansının izlenmesi için kullanılan IWA standart su dengesi tablosunun daha sağlıklı bir şekilde doldurulmasında tüm bileşenlere ait verilerin elde edilmesinin yanı sıra, sadece bazı bölgelere özel bileşenlere ait verilerin ölçülmesi gereksinimi,

Diğer taraftan, sınırları belirlenmiş bir ÖAB’de, sistemin gereksinimlerine veya eksik yönlerine göre, ölçülebilir, uygulanabilir ve sürdürülebilir verilen elde edilmesi daha hızlı ve etkili olacaktır. Bu şekilde ilgili ÖAB’de su kayıp analizi ve yönetimi için sisteme özel veriler toplanarak, ekipman ve teknik personel anlamında daha fazla yatırım yapılmadan sistem işletme çalışmaları gerçekleştirilebilir. Aksi

durumda, ÖAB tanımlanmamış sistemlerde her bir mahallenin karakteristiği farklı olmasına rağmen standart veriler ya da gerekli olmayan verilerin ölçümü ve izlenmesi için fazladan ekipman ve teknik personel maliyetleri ortaya çıkacaktır. Bu ise su yönetiminde temel öğelerden biri olan ekonomi ile uyuşmayan sonuçlar doğuracaktır.

c) Su Kayıp Önleme Yöntemlerinin Uygulanması

ÖAB oluşturulması ile şebeke elemanları, topoğrafik yapı, çevresel özellikler vb. değişkenlere göre benzer karakteristiğe ve homojen yapıya sahip, her bir sistemin sınırları belirlenmiş, kendi içinde değerlendirilen ve o şebekeye uygun su kayıp yönetimi stratejilerinin uygulanmasına imkan tanıyan bir bölge elde edilmiş olacaktır. Böylece, verisi doğru ve düzenli bir şekilde ölçülen, analizleri doğru yapılarak su kayıp bileşenleri açısından her bir ÖAB için eksik ve güçlü yönleri belirlenen sistem geliştirmek mümkün olacaktır.

Özellikle topoğrafik olarak çok değişkenlik gösteren bölgelerde dağıtım sisteminin tamamı için aynı *basınç kontrol yönetimi* stratejisini uygulamak oldukça zordur. Çünkü büyük dağıtım sistemlerinde sistemin tamamı için aynı anda aynı basınç koşulları oluşturmak, sistemin tamamı alt ve üst limitleri tanımlamak, sistemin genelini temsil edecek kritik nokta tanımlamak ve bu noktalara göre standart bir basınç kontrol yöntemi ortaya koymak uygulanabilirlik açısından mümkün değildir. Çünkü topoğrafik yapı çok fazla değişkenlik göstermekte, tanımlanacak bir kritik noktaya göre sınır değerler tanımlanması durumunda şehrin farklı birçok noktasına suyun iletilmemesi veya bazı noktalarda basınç üst sınırlarının aşılması gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Diğer taraftan, ÖAB oluşturmada temel ölçütlerden biri mümkün olduğunca topoğrafyanın çok fazla değişmediği ve homojen topoğrafik yapı oluşturacak şekilde sınırların belirlenmesidir. Bu koşul sağlanarak oluşturulacak ÖAB’de, basınç alt ve üst sınır değerlerinin tanımlanması, o bölgeyi temsil edecek kritik noktanın belirlenmesi ve bunlara göre en uygun basınç kontrol yönetimi stratejisinin belirlenmesi mümkün olacaktır. Böylece sadece ilgili ÖAB şartlarını temsil eden, en az yatırım ile en fazla faydayı (arıza sayısının ve su kayıp oranının azaltılması) sağlayacak ve en önemli uygulanabilir ve sürdürülebilir çözümün ortaya konulması sağlanmış olacaktır.

Fiziki kayıplar ile mücadelede sızıntıların tespitinde temel olarak “*pasif kaçak kontrolü*” ve “*Aktif kaçak kontrolü*” olmak üzere iki yol izlenmektedir. Pasif kaçak kontrolü, temel olarak kendiliğinden meydana gelen ve zemin yüzeyine çıkan arızalar ile mücadeleyi kapsamaktadır. Bu tür mücadelede yüzeye çıkmayan arızaların ve sızıntıların bulunması için sahada çalışma yapılmamaktadır. Bu şekilde izlenen yol ile su kayıplarının azaltılmasından ziyade sadece yüzeye çıkan arızaların tamiri gerçekleştirilmektedir.

Diğer taraftan aktif kaçak kontrolü yönteminde, ekiplerin çeşitli ekipmanlar yardımıyla sahada yüzeye çıkmayan arızaların ve buna bağlı oluşan sızıntıların tespit edilmesini kapsamaktadır. Aktif kaçak kontrolü yönteminin uygulanmasında potansiyel sızıntı olabilecek sokakların bilinmesi ve sadece ilgili sokakta tarama yapılması zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Aktif kaçak kontrolünde son yıllarda “*bölgesel korelatör*” olarak ifade edilen bölgeye temsil edecek şekilde vana noktalarına yerleştirilen sensörler yardımıyla sızıntı kuşkusu olan hatlar tespit edilmektedir. Kuşku duyulan hatların belirlenmesinden sonra, “*yer mikrofonu*” olarak ifade edilen lokal sızıntı noktalarının belirlenmesinde kullanılan cihazlar yardımıyla arıza noktaları aranmaktadır.

Su kayıp yönetiminde, sızıntıların farkına varılması en önemli adımı oluşturmaktadır. Çünkü farkına varılmayan ve yüzeye çıkmayan arızaların farkına varılmaması, zamana bağlı olarak sızıntı hacmini arttırmaktadır. Ancak büyük sistemlerde potansiyel sızıntı olabilecek caddenin bilinmesi veya sızıntının farkına varılması oldukça güçtür. *IWA standart su dengesi* tablosunda sisteme ait toplam gelir getirmeyen su hacminin bulunması sadece sistemin toplam kayıp yüzdesi hakkında fikir vermektedir. Ancak fiziki kayıp hacmi hakkında net bir bilgiye ulaşmak çeşitli faktörlere bağlı olarak çoğu sistemlerde mümkün olmamaktadır. Özellikle büyük sistemlerde debinin düzenli izlenmemesi, gece-gündüz değişimlerinin analiz edilememesi ya da sistemin tamamı için izlenen debiye bağlı olarak potansiyel sızıntılar hakkında değerlendirilme yapılamaması, bu tür sistemlerde etkin su kayıp yönetimi stratejilerinin uygulanmasını engellemektedir. Diğer taraftan sınırları belirlenmiş bir ÖAB’de sisteme giren su hacimlerinin anlık olarak izlenmesi, 24 saat boyunca meydana gelen değişimler, sistemdeki abone türüne bağlı olarak su tüketim karakteristikleri, sistemde kritik noktalarda bulunan basınç ölçerlerden alınan basınç değerleri dikkate alınarak *gece debisi analizi*

yapılmakta ve sistemden gece saatlerinde geçen debiler ile kıyaslanarak sistemdeki sızıntıların (yüzeye çıkmayan) farkına varılması mümkün olmaktadır.

Farkına varılan sızıntıların tespit edilmesinde daha küçük alanda tarama yapılacağından ve daha kısa sürede sızıntı yeri tespit edileceğinden dolayı, zaman, teknik personel ve maliyet açısından önemli kazanımlar sağlanacaktır. Ayrıca, sızıntıların tespit edilmesi ile sisteme daha az su girişinin sağlanması, tespit edilen arızaların onarımı ile ani basınç düşmelerinin engellenmesi, su kaynağının daha verimli kullanılması, vatandaş şikayetlerinin azalması gibi diğer faydaları da ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak bir ÖAB’de, abone tüketimlerinin ve tahakkuk verilerinin, sisteme giren hacimlerin, gece tüketim değişimlerinin, basınç değişimlerinin sistemdeki kaçak kullanım ve fiziki kayıpların eş zamanlı olarak belirlenmesi ve sürekli olarak izlenmesi ve kontrol altında tutulması büyük sistemlere göre daha kolay ve uygulanabilir olduğu için sistem performansındaki değişimler ve iyileşmelerin sürekli olarak takip edilmesi de mümkün olacaktır.

4.2. Alt Ölçüm Bölgelerinin Tasarımı ve Sahada Uygulanması

Bir önceki bölümde (4.1'de) detaylı bir şekilde verilen amaçlara ulaşmak ve beklenen faydaları elde etmek ve etkin bir su kayıp yönetimi stratejisi ortaya koymak için ÖAB'nin doğru bir şekilde tasarımı ve sahada gerekli testleri yaparak uygulanması oldukça önemlidir.

Tez çalışmasının bu bölümünde etkin bir su kayıp yönetimi için boru elemanları değiştirilmeden, yani, şebeke rehabilitasyonu yapılmadan, su kayıplarının azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi için ÖAB oluşturulması hedeflenmiştir. Bunun için mevcut şebeke koşullarında, sınırları izole edilmiş, giriş ve çıkış noktaları tanımlanmış bir ÖAB oluşturmak için yapılan çalışmalar adım adım anlatılmış ve Malatya merkez içme suyu dağıtım sistemi için uygulama gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Alt Ölçüm Bölgelerinin Oluşturulması için Tasarım Ölçütleri

Su kayıp yönetiminde ÖAB oluşturulması yukarıda verilen amaçların gerçekleştirilmesi ve faydaların elde edilmesi noktasında önemli bir araç olarak gösterilebilir. Son yıllarda etkin bir su kayıp yönetimi için ÖAB uygulamaları, tasarımı, faydaları ve saha çalışmaları kapsamında çeşitli araştırmacıların yaptığı çalışmalar yapılmaktadır (Farley vd., 2008; Simbeye, 2010; Wu vd., 2010; Fallis vd., 2011; Gomes vd., 2012; Gilbert vd., 2017; Laucelli vd., 2017; Hajibandeh ve Nazif, 2018).

Bir dağıtım sisteminde, ÖAB oluşturulması için literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı yöntemlerin izlendiği, göz önüne alınması gereken tasarım ölçütlerinin önerildiği ve proje ve saha uygulamalarında dikkate alınması ve uygulanması gereken analiz ve testlerin önerildiği görülmektedir.

Su kayıp yönetiminde, enerji, su, personel ve ekonomik parametreler kapsamında verimliliğin artırılması için kullanılan ÖAB'nin tasarımında ve saha çalışmalarında temel olarak aşağıdaki sorulara cevap aranması gerekmektedir (Farley vd., 2008; Simbeye, 2010; Fallis vd., 2011; Gomes vd., 2012);

- Mevcut şebeke koşullarında ÖAB oluşturmaya ihtiyaç var mı? ÖAB uygulanabilir mi?
- Su kayıpları, enerji ve işletme kapsamında mevcut durum analizi yapıldı mı?
- Mevcutta hizmet veren şebekeye ait fiziksel, çevresel, hidrolik ve işletme verileri mevcut mu? Ya da ölçüm için yeterli imkân var mı?
- Mevcut şebeke koşullarında şebeke hidrolik modeli yapıldı mı? Hidrolik model saha verileri ile kalibre edildi mi?
- Mevcut şebeke koşullarında ÖAB tasarlamak, sahada gerekli testleri yapmak ve uygulamak için teknik alt yapı, personel, cihaz ve teknoloji, ekonomik imkânlar yeterli mi?
- Oluşturulacak ÖAB sınırları ne olmalıdır?
- Oluşturulacak ÖAB'nin coğrafi alan olarak büyüklüğü ne olmalıdır?
- Oluşturulacak ÖAB'de şebeke hat uzunluğu ne olmalıdır?
- Oluşturulacak ÖAB'de servis bağlantı sayısı ve abone sayısı ne olmalıdır?
- ÖAB giriş sayısı ne olmalıdır?
- Oluşturulacak ÖAB içerisinde, özel yapılar (Hastane, okul kampüsü, askeri alan, büyük sanayi tesisi, kritik öneme sahip büyük veya özel ihtiyacı olan tesisler vb.) var mı? Bu yapıların olması durumunda, verilecek debi, yangın debisi, gerekli basınç sınırları ne olmalıdır?
- ÖAB oluşturulacak bölgede demiryolu, ana yol, akarsu ve doğal kanal vb. yapılar mevcut mu? Bu yapılar doğal ÖAB sınırı olarak tanımlanabilir mi?
- Oluşturulacak ÖAB içerisinde abone profili (konut ve ticari abone oranları) ve bunların su tüketim karakteristikleri hakkında yeterli bilgi var mı?
- Mevcut şebeke koşullarında oluşturulacak ÖAB'nin diğer şebeke elemanlarından yeterince izole edebilmesi için izole vanalarının yeri ve sayısı ne olmalıdır?
- Topoğrafik koşullar ve imar uygulamaları göz önüne alınarak bölge için basınç gereksinimi ve sınırları ne olmalıdır?

- Oluşturulacak ÖAB içinde, basınç ölçümü yapılacak ve izlenecek kritik noktaların yeri ve sayısı?
- Oluşturulacak ÖAB için kısa, orta ve uzun vadede yaklaşık yatırım maliyetleri ve belirlenen amaçlar için beklenen faydalar için ekonomik analiz gerçekleştirildi mi?

Bir su dağıtım sisteminde ÖAB'nin planlanması, tasarımı ve sahada uygulanması zaman alıcı ve maliyetli olduğu yukarıda detaylı bir şekilde verilen hususların göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Literatürde ÖAB tasarımı ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı sınır değerlerin önerildiği ve kullanıldığı görülmektedir (Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011; Gilbert vd., 2017; Laucelli vd., 2017). ÖAB tasarımına karar vermek için mevcut durum analizinin yapılması, hali hazırdaki sistemin dezavantajları ve sorunları, ihtiyaçlar, ÖAB tasarımında hedefler, beklenen faydalar ve karşılaştırmalı maliyet analizi yapılması önemlidir. Bunun için arıza oranı, su kayıp oranı, sistem işletme maliyeti, su kesinti sıklığı, vatandaş memnuniyeti vb. bileşenler saha verileri desteklenerek analiz edilmelidir. Ayrıca bu hesaplar yapıldıktan sonra, yapılması planlanan ÖAB'nin sahada uygulanabilir olup olmadığı, sahada test ve çalışmaların yapılıp yapılamayacağı analiz edilmelidir.

Diğer taraftan ÖAB'ye ait hidrolik modelin oluşturulması, cadde ve sokaklarda mevcutta hizmet veren boruların hidrolik analizinin ve saha verileri kalibrasyonunun yapılması işletme planının oluşturulması, izolasyon vana noktalarının yerinin belirlenmesi, basınç ve işletme açısından kritik noktaların belirlenmesi açısından oldukça önemlidir (Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011). ÖAB tasarımında en önemli çalışmalardan biri sınırların belirlenmesi veya kolay belirlenebilir olması gösterilebilir. Eğer uygulama alanında, nehir, doğal kanal, ana karayolu, demiryolu vb. özel yapıların olması durumunda bu yapılar ÖAB için doğal sınır olarak tanımlanabilir (Morrison vd.,2007).

Rahman ve Wu (2018) tarafından yapılan çalışmada bir dağıtım sisteminde ÖAB tasarımı ile uygulama gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, oluşturulacak ÖAB'de su kayıp yönetiminde beklenen faydaların elde edilmesi, etkin şebeke yönetiminin sağlanması, gece tüketimini kabul edilebilir seviyede tutulabilmesi için

ÖAB boyutunun çok büyük seçilmemesi önerilmiştir. Bir dağıtım sisteminde ÖAB tasarımı sırasında, ÖAB'nin büyüklüğü bağlantı sayısı, hat uzunluğu, yaşayan kişi sayısı gibi durumlara ve ilk yatırım ve işletme maliyetlerine bağlı olarak belirlenmelidir. ÖAB boyutuna karar verirken bu değişkenler bir veya daha fazla aynı anda göz önünde bulundurulabilir. Özellikle şehir merkezinin kenar bölgelerinde abone yoğunluğu veya servis bağlantı sayısının az olması durumunda ÖAB boyutunu belirlemede şebeke uzunluğu ölçüt olarak dikkate alınabilir. Diğer taraftan şehir merkezinde servis bağlantı sayısının çok olduğu bölgelerde ÖAB boyutuna karar vermede, şebeke uzunluğundan ziyade servis bağlantı sayısı temel ölçüt olarak kullanılması daha uygun olmaktadır (Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bir dağıtım sisteminde ÖAB tasarımı, servis bağlantı (bina bağlantı) sayısının 500 ile 3000 arasında alınması önerilmiştir (Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011). Yapılan çalışmalarda ÖAB'de servis bağlantı sayısının 5000'den fazla olması durumunda, idari kayıplar ile mücadelenin yanı sıra boru hatlarında meydana gelen ve yüzeye çıkmayan sızıntıların tespit edilmesi, önlenmesi ve kontrol edilmesinin zorlaşacağı belirtilmiştir. Bunun sonucu olarak da etkin bir su kayıp yönetimi ve ÖAB'den beklenen faydaların gerçekleşmesi güçleşecektir.

Diğer taraftan, ÖAB boyutunun çok küçük seçilmesi yeni sızıntıların daha erken ve kolay bir şekilde belirlenmesinde büyük bir avantaj sağlasa da, bölgedeki basınç, debi vb. bileşenlerin izlenmesi için kurulacak cihazların sayısı ve şebekeyi diğer şebekelerden izole etmek için kullanılacak izole vanalarının sayısı artacağından dolayı ilk yatırım ve sistemin işletme maliyetleri artacak ve ekonomik olmayan bir yapı ortaya çıkacaktır (Lauccelli vd., 2017; Rahman ve Wu, 2018).

Ancak mevcut şebekenin çok kötü olduğu sistemlerde, boru malzemesinin dayanımı azalacağından arıza yoğunluğu ve sıklığı artacaktır. Bu tür sistemlerde arızalarla ve sızıntılarla daha etkin bir mücadele gerçekleştirmek için servis bağlantı sayısının küçük tutulabileceği (bağlantı sayısı 500'den daha az şeklinde) ifade edilmiştir. Diğer taraftan literatürde yapılan çalışmalarda ÖAB büyüklüğünü ifade etmede kullanılan diğer bir parametre olan hat uzunluğunun 4 km ile 30 km arasında alınabileceği ancak ortalama 15 km civarında olabileceği vurgulanmıştır

(MacDonald ve Yates, 2005; Farley vd., 2008). ÖAB tasarımı, sisteme giren su hacminin izlenmesi ve gece debisi analizleri ve su dengesinin oluşturulması için kullanılan debimetrelerin kurulum maliyetini düşürmek için ÖAB giriş sayısının mümkün olduğunca bir giriş noktası ile sınırlandırılması önemlidir (Rahman ve Wu, 2018).

Ayrıca, ÖAB tasarımı, bölge içinde kalabilecek sanayi tesisleri, büyük hastane kampüsü, askeri alan vb. özel yapılar bilinmesi, bunların su ihtiyaçlarının belirlenmesi ve buna göre özel tüketim debilerinin hesaplanması, özellikle gece tüketimi olabilecek tesislerin belirlenmesi ve bu tesislerin sistemin işletme basıncı üzerindeki etkisinin göz önüne alınması gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Çünkü, ÖAB’de uygulanacak su kayıp azaltma yöntemlerinin analizinde abone profili, su tüketim karakteristikleri, gece su kullanımının bilinmesi sonuçların doğruluğu üzerinde etkilidir (Gomes vd., 2012).

Daha önceden de bahsedildiği gibi, bir içme suyu dağıtım sisteminde arızaların oluşmasında, arızadan dolayı birim zamanda kaybolan su hacmi basınç ve basınçtaki dalgalanmalara bağlı olarak değişmektedir. Sınırları belirlenmiş bir ÖAB’de basıncın etkisinin azaltılması ya da etkin bir basınç kontrol yönetimi için sistem içinde topoğrafyanın çok fazla değişmemesi önemlidir. Bu nedenle ÖAB tasarımı yapılırken ve bölge sınırları belirlenirken bölge içindeki arazi seviye değişimleri göz önünde bulundurulmalıdır (Farley vd., 2008). Çünkü eğer oluşturulan ÖAB içinde Topoğrafik yapı göz önüne alınmaz ise, basınç yönetiminde kritik noktanın tanımlanması, basınç minimum ve maksimum sınırlar içinde tutulması oldukça güç olacaktır. Böylece, oluşturulan ÖAB ve basınç kontrol yönetimi uygulamalarından beklenen faydalar elde edilemeyecek ve ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkacaktır.

Yukarıda detaylı bir şekilde verilen ölçütler göz önüne alınarak ÖAB büyüklüğü, sınırları, abone sayıları, giriş noktası, kritik noktalar ve izole vanalarının sayısı ve yeri belirlendikten sonra saha çalışmalarının yapılması ve ÖAB’nin diğer şebekelerden tam olarak izole edilip edilmediğinin testinin yapılması gerekmektedir (Farley vd., 2008;). Bunun için sahada uygulanan en temel yöntem, «*Sıfır Basınç Testi*» olarak tanımlanan ve sistem girişi kapatılarak sisteme su girişinin engellenmesi ve buna bağlı olarak basıncın sıfır olması esasına dayanan yöntem

uygulanmaktadır (Farley vd., 2008; Simbeye, 2010; Fallis vd., 2011). Sistem girişi kapatıldığı için sisteme su girişi olmadığı için sistemde basıncının sıfıra yakın bir değer alması beklenen bir durumdur. Bunu sağlamak için ÖAB sınırları çok iyi tanımlanmış olmalı, sisteme başka noktalardan su girişinin olmaması, izole vana yerlerinin ve sayısının çok belirlenmiş olması, sistemin diğer şebeke elemanlarından tam olarak izole edilmiş olması, izole vanalarının olduğu noktalar izlenerek sızdırmazlığın sağlandığının kontrol edilmesi ve basıncın sıfıra yakın bir değere sahip olduğunun izlenmesi gerekmektedir (Gomes vd., 2012; Rahman ve Wu, 2018).

Eğer verilen bu testlerin ve kontrollerin yapılmaması durumunda, ÖAB diğer şebeke elemanlarından tam izole edilmemiş olacak, başka noktalardan da su girişi olması durumunda sistem giriş hacmi yanlış hesaplanacak, buna bağlı olarak standart su dengesi ve gece debisi analizi doğru hesaplanmamış olacak ve sonuç olarak oluşturulan ÖAB'den beklenen fayda elde edilmemiş olacaktır. Sahada yapılan ölçümler sonucunda sistem sıfır basıncının sağlanmaması durumunda, kuşku duyulan noktalar gözden geçirilmeli, sorunlu izolasyon vanaları değiştirilmeli ve gerekli kontrollerden sonra sıfır basınç testi tekrarlanmalıdır. Sıfır Basınç Testi aşağıdaki işlem adımlarından oluşmaktadır (Farley vd., 2008; Simbeye, 2010; Fallis vd., 2011);

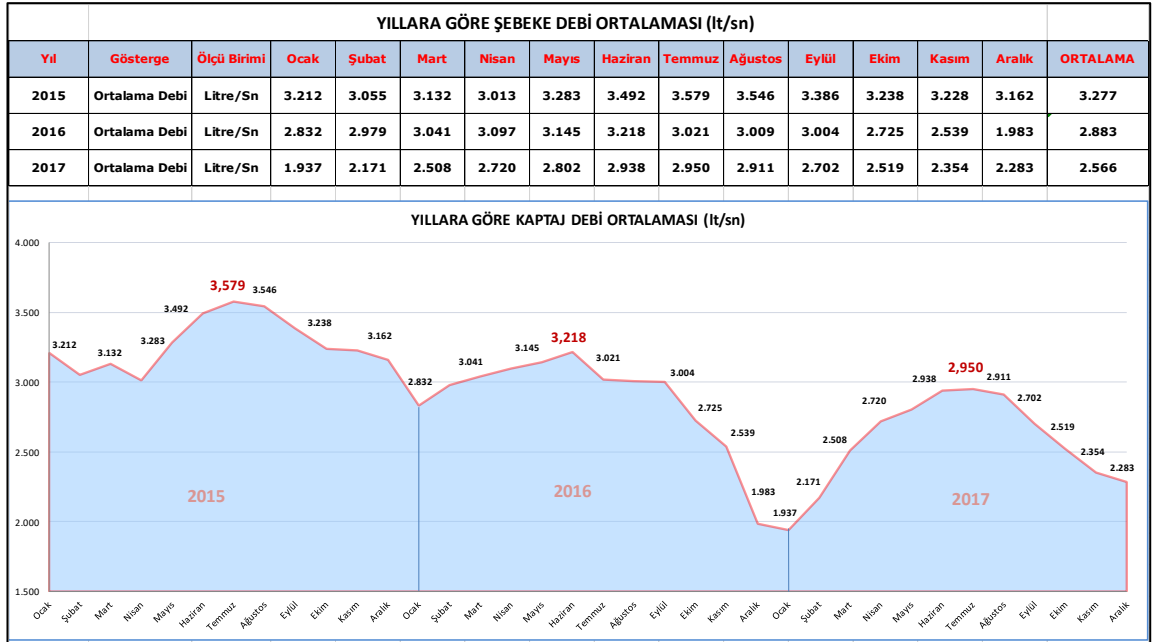
- ÖAB içinde giriş noktası veya noktaları ve izolasyon vanalarının olduğu yerlere ait planların hazırlanması, sahada işaretlenerek yerlerinin belirlenmesi,
- ÖAB'de su kesintisinden uygulanacağından dolayı abonelerin etkilenmemesi için test işleminin gece 01:00-05:00 saatleri arasında gerçekleştirilecek şekilde bölgenin düzenlenmesi,
- ÖAB içerisinde hastane vb. tesislerin olması durumunda, su kesintisi uygulanacak saatlerde bu tesislerin en az etkilenmesi için bilgilendirilmesi,
- ÖAB içerisinde kritik noktalara basınç ölçerler ve data loggerların yerleştirilmesi,
- ÖAB giriş vanası kapatılarak su girişinin engellenmesi, su kesintisinden sonra basınç ölçerlerden elde edilen basınç verilerinin analiz edilmesi,

- Yapılan basınç ölçümleri sonucunda basınç değerleri sıfır düşerse ya da çok yaklaşırsa ÖAB’de izolasyon ve sınırlarından sızdırmazlık sağlanmış koşulu sağlanmış olur.
- Eğer ÖAB içerisinde bilinmeyen bir bağlantı var ise bu durumda basınç çok küçük olabilir.
- Eğer 10 dk. sonra basınç hala sıfıra düşmemişse, yangın hidrantı açılarak ikinci bir kontrol yapılmalıdır. Eğer bilinmeyen bağlantı yok ise, yangın hidrantı kapalı durumda iken basıncın düşük seviyede kalması gerekmektedir.
- Basınç testi başarısız olursa, ÖAB bölgesinde bilinmeyen bağlantı olduğu düşünülebilir. Bu durumda, her bir izleme noktasında basınç kontrolleri yapılarak potansiyel su giriş bölgesi belirlenebilir.
- Bilinmeyen su giriş bölgesini belirlemek için daha detaylı bir inceleme yapılması gerekmektedir. Sıfır basınç testi tamamlandıktan sonra DMA giriş vanaları yeniden açılır. Basınç izlemesi yapılarak ÖAB içerisinde su geçişi kontrol edilir.

4.2.2. Ölçülebilir Alt Bölgelerin Oluşturulmasında: Malatya ili Örneği

Çalışmanın bu bölümünde yukarıda detaylı bir şekilde verilen ÖAB tasarım ölçütleri esas alınarak Malatya ili merkez içme suyu dağıtım sisteminde ÖAB planlama ve saha uygulama çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmaların saha uygulaması MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı ve ekipleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

Malatya ili Yeşilyurt ve Battalgazi ilçerinde bulunan toplam 179 adet mahallenin yaklaşık % 65 lik bir kısmı Pınarbaşı Kaptajdan beslenmektedir. Mevcut kaynak 1210 m kotunda ve yer altı suyudur. Merkez iki ilçenin bu kaynaktan beslenen mahallerine su kendi cazibesi ile gelmektedir. Şehir merkezinde yaklaşık 1.700 km içmesuyu şebeke hattı bulunmaktadır. Mevcut şebekede 1960'lı yıllarda döşenmiş ve halen aktif olarak kullanılan içmesuyu hatları mevcuttur. Kaynaktan şehre son 3 yılda (2015-2017) ortalama 2.900 l/s su verilmiştir. İhtiyaç debisi kayıp kaçak oranlarının %25'lere düşürüldüğü takdirde maksimum tüketim gününe göre 1.700-1.800 l/s olarak hesaplanmaktadır (MASKİ, 2018).



Şekil 4.1. Şehre verilen su miktarının değişimi (MASKİ, 2018).

Uygulama alanına veriler kullanılarak geçmiş yıllarda araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Aydoğdu (2014) yaptığı çalışmada Malatya

ili merkez içme suyu dağıtım sistemindeki 2007-2012 yılları arasındaki arıza kayıtlarını incelemiş ve konumsal olarak dağılımını değerlendirmiştir (Şekil 4.2). Çalışma sonucunda, dağıtım sistemindeki arızaların önemli bir kısmının eski boru malzemesine sahip şehir merkezindeki eski yerleşim yerlerinde gözlemlendiği vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Kılınç (2017) tarafından yapılan çalışmada Malatya il merkezinde PVC (uygulama alanında en fazla kullanılan boru elemanı) ve AÇB borularında 2006-2017 tarihleri arasında gözlenen arızaların önemli bir kısmının şehir merkezinde yoğunlaştığı vurgulanmıştır.

Ayrıca Boztaş (2017) Malatya ili merkez içme suyu dağıtım sisteminde 2007-2016 yılları arasında gözlenen “servis bağlantısı (abone bağlantısı)” arızalarını analiz etmiştir. Arıza kayıtlarının konumsal olarak dağılımı sayısal harita üzerinde incelemiş ve benzer şekilde şehir merkezinde eski yerleşim yerlerinin olduğu bölgelerde arıza yoğunluğunun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında eski boruların olduğu bölgelerde yıllık servis bağlantısı arıza yoğunluğunun 0.0417 arıza/bağlantı/yıl olduğu bunun da her yıl ortalama 24 servis bağlantısından birinin arıza verdiği vurgulanmıştır. Çalışmada, Malatya genelinde her yıl ortalama 50 bağlantıdan biri arıza olduğu belirtilmiştir (Boztaş, 2017).

MASKİ 2015 yılı raporlarına göre Malatya içme suyu dağıtım sisteminde yıllık kayıp-kaçak oranının % 60-65 aralığında olduğu belirtilmiştir (MAKSİ, 2015). Ayrıca, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından su kayıplarının kontrolü için 8 Mayıs 2014 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su kayıplarının Kontrolü” yönetmeliği yayınlanmıştır.

Yapılan araştırmalar ve raporlara göre özellikle eski boru malzemesinin çoğunlukta olduğu sistemlerde su kayıplarının azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmalarının yapılması oldukça önem arz etmektedir. Ancak yukarıda detaylı bir şekilde verildiği, arıza yoğunluğunun değişkenlik gösterdiği büyük sistemlerde sistemin geneli için aynı su kayıp yönetimi stratejisinin ve yönteminin uygulanması oldukça güç, zaman alıcı ve maliyetlidir.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında uygulama alanında su kayıplarının kontrol edilmesi ve azaltılması amacıyla ÖAB oluşturulması amaçlanmış, planlama çalışmaları yapılmış ve saha uygulaması MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı ve ekipleri tarafından gerçekleştirilmiştir.

Uygulama alanında ÖAB oluşturulurken, boru malzemesi tamamen değiştirilmiş bölgeler ve boru malzemesi değiştirilmeden sadece dış sınırları belirlenerek izole edilmiş bölge oluşturma şeklinde iki farklı yol izlenmiş ve MASKİ Genel Müdürlüğü ile birlikte sahada uygulanmıştır.

ÖAB planlama çalışmalarında özellikle boru malzemesi değiştirilmeyen bölgelerde, bölge sınırlarının belirlenmesi, izolasyon vanalarının sayısı ve yerinin tespit edilmesi ve bölgenin diğer bölgelerden tamamen izole edilmesi en önemli ve en zor çalışmaları oluşturmaktadır. ÖAB sınırı belirlenirken ana kara yolu ve demir yolu gibi bileşenler doğal sınır olarak kabul edilmiştir. Uygulama alanında planlanan ÖAB'ler için sahada yapılan çalışmalara ait görseller Şekil 4.2'de verilmiştir (MASKİ, 2018).





Şekil 4.2. Planlanan ÖAB'ler için sahada yapılan çalışmalar (MASKİ, 2018)

ÖAB tasarımında ve planlamasında servis bağlantı sayısı, abone sayısı, hat uzunluğu, topoğrafik değişim değeri yukarıda verilen sınır değerler içinde kalacak şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda ÖAB'lerden 15 adedi mevcut şebekenin kapalı bir sistem haline getirilmesiyle oluşturulurken, 18 adedi ise mevcut şebeke ve abone bağlantılarının yenilenmesiyle oluşturulmuştur (MASKİ, 2018). Çalışma kapsamına oluşturulan ÖAB'lerin sayısal haritada konumsal dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir (MASKİ, 2018).

Uygulama alanında şebeke borusu değiştirilmeden (rehabilitasyon yapılmadan) oluşturulan ve diğer şebeke elemanlarından izole edilen 15 adet ÖAB'ye ait açıklayıcı bilgiler Çizelge 4.1'de verilmektedir (MASKİ, 2018). Uygulama alanında su kayıplarının azaltılması amacıyla bazı bölgeler şebeke boruları tamamen değiştirilmiş olup bu bölgelerde de benzer şekilde ÖAB uygulaması yapılmış ve açıklayıcı bilgiler Çizelge 4.2'de verilmiştir (MASKİ, 2018). Ayrıca bu bölgeler hakkında daha detaylı değerlendirme yapabilmek adına işletme parametrelerine ait veriler toplanmış ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Şebekesi değiştirilmeyen ÖAB'lere ait bilgiler (MASKİ, 2018)

DMA	Giriş sayısı	Hat Uzunluğu (km)	Servis bağlantı sayısı	Abone Sayısı	Konut Abone % si	İzole vana Sayısı
DABAKHANE	2	5.65	510	2.872	35	2
KAVAKLIBAĞ	2	8.70	522	2.832	58	-
İSTİKLAL	2	14.00	1.179	5.655	79	3
AKPINAR	2	9.61	678	4.507	62.25	1
SARAY	2	3.227	454	2.515	47.99	1
HİDAYET	1	3.413	301	1.405	64.55	-
SARICIOĞLU	2	4.58	315	1.321	70.77	-
AŞAĞI ÇÖŞNÜK	1	15.62	526	1.300	82.6	-
GÖZTEPE	1	19.48	1.467	2.836	85.78	1
NURİYE	1	4.68	384	2.446	73.95	-
SANAYİ	1	20.91	1.054	1.510	3.04	2
KİLTEPE	1	6.94	697	760	78.94	1
MELEKBABA 1	1	12.63	949	1.183	78.02	-
MELEKBABA 2	1	11.11	575	604	88.41	-
YEŞİLKAYNAK	1	7.43	537	770	80.77	-
TANDOĞAN	1	11.094	829	2.382	97.24	-

Çizelge 4.2 Şebekesi değiştirilen ÖAB'lere ait bilgiler (MASKİ, 2018)

DMA	Giriş sayısı	Hat Uzunluğu (km)	Servis bağlantı sayısı	Abone Sayısı	Konut Abone % si	İzole vana Sayısı
ÇAVUŞOĞLU	1	11.20	834	3.067	90	-
ÇÖŞNÜK_VENK	1	17.75	980	5.603	96	-
ZAVİYE_2	1	5.60	428	3.049	97	1
ZAVİYE_3	1	12.974	1.030	7.650	96.29	1
ZAVİYE_4	1	2.59	251	3.140	71.87	1
AŞAĞIBAĞLAR	1	9.810	517	2.695	78.59	1
BAŞHARIK	1	8.896	774	4.470	82.59	2
YAKINCA_1	1	17.616	367	2.451	88.75	1
YAKINCA_2	2	4.752	99	1.090	95.81	1
YAKINCA_3	1	13.723	286	2.213	97.92	1
BOSTANBAŞI	2	9.840	205	3.364	96.97	1
FIRAT	1	3.000	152	1.640	94.58	-
İNÖNÜ	1	3.655	413	2.891	95.33	-
KONAK	1	21.150	1.119	5.040	98.95	-
YEŞİLYURT	2	14.015	1.062	1.198	94.82	1

Yukarıda bahsedildiği üzere, uygulama alanında ÖAB oluşturulurken literatürde verilen tasarım ölçütlerinin sınır değerleri referans alınmış ve buna göre planlanmıştır. Çizelge 4.1 ve 4.2'deki verilere göre, bazı ÖAB'lerde giriş sayısı 1 olarak belirlenmiş iken bazı bölgelerde şebeke beslenim şeklinden dolayı zorunlu olarak 2 giriş noktası oluşturulmuştur. Eski sistemlerde mevcut şebeke koşullarını koruyarak ve en az ilk yatırım maliyeti ile ÖAB oluşturulurken sahadaki mevcut şebeke planının göz önüne alınması gerekebilir. İki girişe ait sistemlerde daha önceden de bahsedildiği gibi ölçüm cihazlarının ilk yatırım maliyeti ortaya çıkmakla birlikte, boru malzemesi değiştirme maliyeti ile kıyaslandığında bu maliyetin çok düşük kalacağı görülmektedir.

Diğer önemli bir tasarım ölçütü olan şebeke uzunluğu için değerlendirme yapmak gerekirse ÖAB'lerde şebeke uzunluğunun 3 ile 21 km arasında olduğu ve literatürde verilen 30 km üst sınırın aşılmadığı görülmektedir. Çizelge 4.2'de şebeke boru değiştirilen ÖAB'ler içinde şebeke uzunluğu en fazla olan Sanayi ÖAB genelde sanayi tesislerinin olduğu ve bölgenin çok geniş bir alana yayıldığı alan olup burada hat uzunluğu esas alınarak tasarım yapılmıştır. Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi, bu bölgede konut abone oranı % 3 mertebesinde. Bu durum özellikle minimum gece debisi analizinde göz önüne alınması gereken önemli bir veri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebekesi değiştirilen ÖAB'ler içinde Konak ÖAB benzer şekilde geniş bir alanı kapsadığı için hat uzunluğu yüksek çıkmıştır.

Diğer taraftan literatürde AÖB tasarımında servis bağlantı sayısı ile abone sayısının oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada şebekesi değiştirilmeden oluşturulan ÖAB'lerde servis bağlantı sayısının 300 ile 1450 arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca abone sayılarına bakıldığında, genelde sınır değerler içinde olduğu sadece İstiklal ÖAB'nin 5655 aboneye sahip olduğu görülmektedir. Bu ÖAB'de abone sayısının fazla olması, bu AÖB'nin konut sayısının yoğunlukta olduğu şehrin eski yerleşim bölgesini içermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak şebekesi değiştirilen bölgelerden, Yakınca-2 bölgesinde servis bağlantı sayısı çok düşük görünse de abone sayısının ve hat uzunluğunun sınır değerler içinde kaldığı görülmektedir. Bu bölgede coğrafi yapıdan kaynaklanan bölgenin gelişim özelliğinden ve yüksek katlı binaların sayısının çok olmasından dolayı bu durum ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.3 Şebekesi değiştirilmeyen ÖAB’lerde işletme bilgileri (MASKİ, 2018)

DMA	Kot Farkı	Zemin Kotu	Kritik nokta	Geçmiş Arıza sayısı	Su kayıp oranı %		Boru Değişimi (%)	Şebeke Ort. Yaşı (yıl)
					Önce	Sonra		
DABAKHANE	1.6	957- 973	1	47	52.26	36.87	0	18.7
KAVAKLIBAĞ	2.5	946- 970	1	52	64.43	39.00	2	25.1
İSTİKLAL	3.5	966-1001	1	143	61.63	56.44	0.5	19.5
AKPINAR	2.1	956-977	1	138	42.8	34.69	4.89	14
SARAY	2.4	960-984	1	55	62.05	45.29	12.14	11.02
HİDAYET	0.9	943-952	1	19	44.86	33.29	8.17	16.7
SARICIOĞLU	1.2	948-960	1	14	82.69	76.27	3.8	18.2
AŞAĞI ÇÖŞNÜK	6.1	938-999	1	21	63.09	60.12	7.2	12.5
GÖZTEPE	3.8	933-971	1	91	27.91	13.69	6.15	15.4
NURİYE	3.8	953-991	1	129	49.82	35.42	4.54	16.9
SANAYİ	1.6	922-938	1	40	71.24	57.24	0	18.2
KİLTEPE	2.6	914-940	1	5	56,32	29.48	0	18.3
MELEKBABA 1	6.6	928-994	1	8	78.52	68.29	3.32	10.9
MELEKBABA 2	4.3	924-977	1	19			7.25	11.9
YEŞİLKAYNAK	2.9	917-946	1	25	65.34	56.22	6.17	14.4
TANDOĞAN	2.6	964-990	1	39	61.6	32.81	22.54	6
ÇAVUŞOĞLU	2	936- 953	1	108	90.05	15.22	100	2
ZAVİYE_2	3	970-1004	1	83	-	15.24	100	1
ÇÖŞNÜK_ VENK	5	998-1050	1	141	-	32.79	100	1
ZAVİYE_3	4.0	963-1003	1	70	-	20.03	100	1
ZAVİYE_4	2.8	999-1027	1	42	-	26.87	100	1
AŞAĞIBAĞLAR	3.0	992-1022	1	71	-	25.62	100	1.5
BAŞHARIK	3.8	993-1031	1	49	-	25.31	100	1
YAKINCA_1	2.5	938-963	1	17	-	-	100	1
YAKINCA_2	3.4	932-966	1	26	-	-	100	1
YAKINCA_3	2.9	964-993	1	35	-	-	100	1
BOSTANBAŞI	4.6	926-972	1	28	-	-	100	1
FIRAT	3.0	1019-1049	1	14	-	17.37	100	1
İNÖNÜ	0.7	935-942	1	36	54.31	18.74	100	1
KONAK	13.8	1058-1196	3	35	-	-	100	1
YEŞİLYURT	8.2	977-1059	3	40	83.2	-	100	1

Su kayıplarının azaltılmasında uygulana en önemli araçlardan biri basınç yönetimi gösterilmektedir. Basınç yönetiminin gerekliliği, uygulanması ve başarıya ulaşmasında bölgenin topoğrafik yapısı, bölgedeki kritik nokta sayısı, topoğrafyaya bağlı olarak maksimum ve minimum zemin kotları arasındaki fark gibi parametrelerin bilinmesi, ÖAB tasarımı yapılırken bunların göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından su kayıplarının kontrolü için 8 Mayıs 2014 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su kayıplarının Kontrolü” yönetmeliğinde işletme basıncı için 2.5 ile 6.5 bar arasında sınırlama getirmiştir. Bu bilgiler ışığında uygulama alanında planlanan ve uygulanan ÖAB’lerde topoğrafya göz önünde bulundurulmuş ve kot farkının bu sınır değerleri aşmamasına dikkat edilmiştir.

Uygulama alanında şebeke boru yaşının genel olarak 10 yıldan daha fazla olduğu görülmektedir. Boru yaşının arıza oranı üzerinde etkisi göz önünde bulundurulursa, mevcut şebeke koşulları korunarak ve en az boru malzemesi değiştirilerek şebeke işletme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Çizelge 4.3’te görüldüğü gibi, şebeke borusu değiştirilmeyen ve boru yaşının 10 yıldan fazla olduğu bölgelerde su kayıp oranları oldukça yüksek seviyededir.

Çizelge 4.3’ten de görüldüğü gibi, ÖAB olarak planlanmış bölgelerde ilk ölçüm döneminde su kayıp oranları genelde % 40-80 aralığında değişmektedir. ÖAB tasarımı yapıldıktan ve MASKİ tarafından saha çalışmaları bittikten sonra belli bir dönem izlenen bölgelerde su kayıp oranlarının azaldığı görülmektedir. Su kayıp oranlarındaki azalma üzerinde her bir ÖAB için uygulanan su kayıp azaltma yönteminin etkili olduğu söylenebilir. Uygulama alanında her bir ÖAB’deki su kayıp oranı, boru yaşı, basınç dayanımı, zemin özelliği, su tüketim özelliği değişkenlik göstereceği için ÖAB tasarımı ile her bölgeye özel su kayıp stratejisinin uygulanması mümkün olmaktadır.

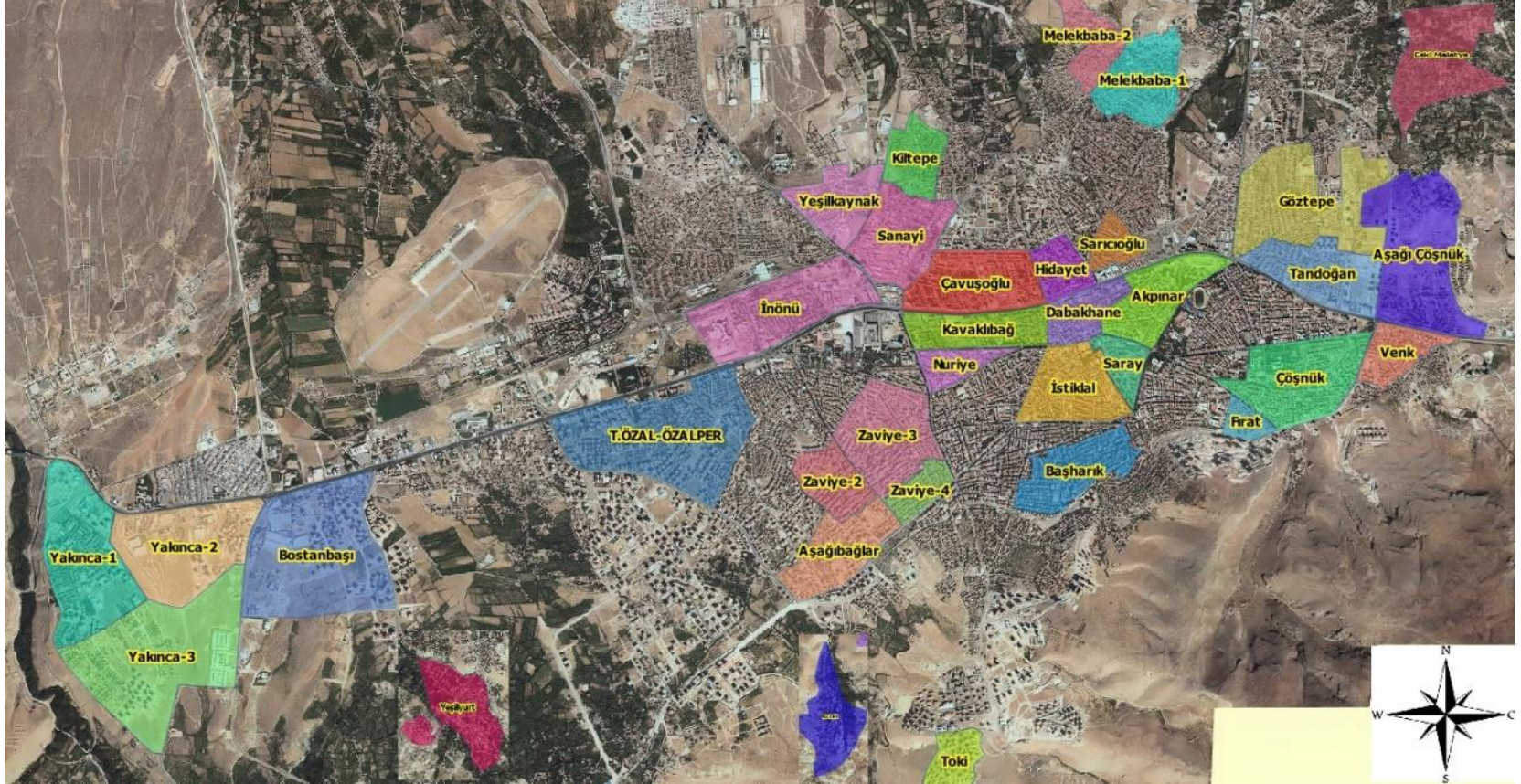
Örneğin şebeke boru değiştirilen Konak ve Yeşilyurt ÖAB’lerin bulunduğu bölgelerde topoğrafya oldukça değişken olup kot farkı sırasıyla 14 ve 8 bar civarındadır. Bu bölgelerde su kayıp yönetimi için basınç yönetimi stratejisinin uygulanması gerektiği görülmektedir. Bu bölgelerin sınırlar belirlendiği ve diğer bölgelerden izole edildiği için bölgeye özel en uygun basınç yönetiminin

geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Böylece daha kısa zamanda daha az maliyetle çözüm ortaya konulmuş olacaktır.

Diğer taraftan basınç farkının az olduğu bölgelerde ya da basınç yönetimi uygulanması ihtiyacı olmayan bölgelerde sadece aktif kaçak kontrolü yöntemi uygulanarak su kayıp oranları tabloda verilen oranları düşmüştür.

Çizelgede verilen rakamlar, bir içme suyu dağıtım sisteminde sistemin genelinde gerek fiziksel parametrelerin gerekse de işletme parametrelerinin bölgeden bölgeye farklı olduğunu göstermektedir. Farklı değerlere sahip olan bu parametrelerin, arıza oranı ve gelir getirmeyen su oranı üzerinde etkili olduğu bilinmekte ve tablodaki rakamlardan da görülmektedir. Daha önceden de bahsedildiği, arıza ve gelir getirmeyen su oranının farklı olduğu ve bunlar üzerinde etkili faktörlerin değişkenlik gösterdiği sistemlerde ilgili bölgeye özel çözüm stratejisinin geliştirilmesi oldukça önemli ve etkili bir yol olacaktır. Bu nedenle ÖAB tasarımı, planlanması ve sahada uygulanması su kayıp yönetiminde kısa sürede daha etkili sonuç alma adına önemli kazanımlar sağlaması beklenmektedir. Bu amaçla Malatya ili içme suyu dağıtım sisteminde MASKİ İçmesuyu Daire Başkanlığı ile birlikte planlanan ve MASKİ ekiplerince sahada uygulanan ÖAB'ler su kayıp yönetiminde kısa bir zaman aralığında aşağıda verilen kazanımlar elde edilmiştir;

- Rapor edilmeyen sızıntıların tespit edilmesi,
- Basınç sorunu olan bölgelerde en uygun basınç yönetimi stratejisinin uygulanması,
- Gelir getirmeyen su oranının düşürülmesinde her bir bölgeye özel yöntemin uygulanması,
- Arıza onarımı için su kesinti programının sokak bazında uygulanması,
- Boru yenileme veya değiştirme stratejisi için öncelikli bölgelerin belirlenmesi,
- İdari kayıp oranının düşürülmesi için sayaç kontrol ve değiştirme politikasının geliştirilmesi ve öncelikli bölgelerin belirlenmesi,
- Aktif kaçak kontrolünün daha dar bölgede uygulanması, sahada sızıntıların yüksek doğruluk oranları ile yerinin tespit edilmesi.



Şekil 4.2. Uygulama alanında ÖAB'lerin dağılımı (MASKİ, 2018)

5. MİNİMUM GECE DEBİSİ

Su kayıpları, su yönetimi sağlayan kurumlar için yönetim stratejisini belirleyen önemli bir sorundur. Su dağıtım sistemlerinde sisteme verilen suyun belli bir kısmı fiziksel kaçaklar ve boru patlamaları nedeniyle kaybolmaktadır. Su temini sistemleri ile abonelere iletilen ve aboneler tarafından kullanılan suyun parası ödenmeyen kısmı “*gelir getirmeyen su ya da su kaybı*” olarak ifade edilmektedir (Farley vd., 2008).

Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranının belirlenmesi için sisteme ait tüm bileşenlerin (sisteme giren hacim, faturalandırılan, fiziki kayıplar, kaçak kullanım, sayaç hataları vb.) düzenli ve doğru bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi büyük sistemlerde bu bileşenlerin eş zamanlı olarak, aynı periyotta, sürekli ve doğru bir şekilde ölçülmesi ve izlenmesi çok zor olup zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenle, daha doğru bir değerlendirme yapmak, daha kısa sürede daha doğru sonuçlar almak için, sistemin ÖAB olarak planlanması ve sahada uygulanması önemli kazanımlar sağlamaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde daha önceki bölümlerde anlatılan ve detayları verilen ÖAB’lar için analiz ve değerlendirmeler yapılacaktır.

GGS oranının belirlenmesinde verilerin ölçülmesi oldukça önemlidir. Sisteme giren hacmin düzenli olarak tutulması, sahadaki ve kurum abone yönetim sistemindeki abone bilgilerinin doğrulanmış olması, abone sayaç okumalarının düzenli olarak yapılması, ÖAB içinde yasal kullanıcı olduğu halde fatura kesilmeyen abone tüketimlerinin bilinmesi (cami, park-bahçe vb.) GGS oranının doğru bir şekilde belirlenmesinde kullanılan en temel verilerdir. Bu veriler kullanılarak ÖAB’de aylık ya da yıllık bazda GGS oranı belirlenebilir ve buna göre azaltma, izleme ve kontrol stratejisi geliştirilebilir.

Ancak ÖAB içinde yer alan borulardan çeşitli sebeplerden dolayı arızalar meydana gelmekte, bu arızaların bir kısmı yüzeye çıkarken (rapor edilen sızıntılar) geri kalan kısmı (rapor edilmeyen sızıntılar) çeşitli sebeplerden dolayı yüzeye çıkamamaktadır. ÖAB’de rapor edilmeye yani yüzeye çıkmayan sızıntıların farkına varılması ve yerinin tespit edilmesi için sistemin sürekli olarak izlenmesi ve özellikle de tüketimin en az olduğu gece saatlerinde sisteme giren debinin ve hacmin izlenmesi gerekmektedir.

Bilindiği üzere bir dağıtım sisteminde su tüketimi gece saatlerinde (özellikle 02:00-04:00 arası) minimum seviyeye inmekte ve bu saatlerde sisteme fazla su girişi gözlenirse sızıntı veya kaçak kullanım ihtimali göz önüne alınmalıdır. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde genellikle saat 02.00 ile 04.00 arasında tüketimler en az ve basınç da en yüksek seviyede olduğu için minimum gece debisi analizi daha sağlıklı yapılabilir.

Literatürde gece tüketiminin izlenmesi bir dağıtım sisteminde su kayıplarının kontrolü ve saptanması için uygulanan ana yöntemlerden biridir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için giriş noktası ve giriş debisi bilinen ÖAB oluşturularak abonelerin izlenmesi gerekmektedir. ÖAB içerisinde abone profilinin (konut, ticari, sanayi, askeri bina, hastane vb. gece tüketimi olan aboneler) saha çalışması ile net bir şekilde belirlenmeli ve bunların gece tüketimlerinin izlenmesi, abone kullanımlarının sürekli izlenerek tüketici profillerine ait değerlendirmeler yapılması uzaktan okumalı hassas sayaçların kullanılması, minimum gece debisi analizinin sağlıklı bir şekilde uygulanması açısından oldukça önemlidir. Minimum gece debisi çizgisi tespitinde önemli olan hususlardan biri, gece tüketimlerinin en doğru şekilde tespit edilebilmesidir.

Minimum gece debisi çalışma mantığı şu şekildedir; tüketicilerin en düşük kullanımı sırasında, kayıpların şebekedeki toplam akış miktarına oranı maksimum düzeyde seyreder. Burada dikkat edilmesi gereken unsur, yasal gece kullanımlarının şebekedeki net akıştan düşülerek net gece akışı değerinin tespiti ve kayıpların net gece akışına oranının dikkate alınmasıdır.

$$\text{Net Gece Debisi (sızıntı)} = (\text{Minimum Gece Debisi}) - (\text{İzin Verilen Gece Tüketimi}) \quad (5.1)$$

Ölçülen minimum gece debisi özel bir referans değerinin çıkarılmasıyla elde edildiğinden tahmini bir yöntemdir. Sızıntının özel referans değeri; şebekenin uzunluğuna, kullanıcı tipine ölçümün yapıldığı yılın zamanına ve periyoduna göre tahmin edilir. İki değer arasındaki pozitif fark bölgedeki potansiyel sızıntıyı temsil etmektedir.

Gece debisi analizinde farklı yaklaşımlar ve denklemler önerilmiş olup bu çalışmada denklem (5.2)'de verilen eşitlik dikkate alınmıştır. Burada temel mantık, minimum gece debisinin iki kısma bölünmesine dayanır: QCONS (l/sa) antropik

tüketim ile ve QLEAK (l/sa) kaçınılmaz sızıntı ile ilgilidir. Kaçınılmaz sızıntı, boru hatlarının ve altyapıların durumlarına bağlı bir arka plan gürültüsüne ile benzerdir ve düşük, orta ve yüksek seviyelerde olabilir.

$$MNF = Q_{CONS} + Q_{LEAK} \quad (5.2)$$

QCONS tüketimi aşağıdaki faktörlerin eklenmesi ile verilmiştir:

- Sivil ve endüstriyel aboneler nedeniyle önde gelen gece tüketimi (500 lt/saat).
- İstatistiksel analiz sonuçlarından 1.7 l/kullanıcı/saat sivil tüketim.
- Ortalama değeri 8 l/kullanıcı/saat olarak varsayılan endüstriyel tüketim.

Kaçınılmaz sızıntı QLEAK (l/sa) değerinin hesaplanması için kullanılan formül aşağıdaki ampirik ifadeye göre bazı faktörlere bağlıdır:

$$Q_{LEAK} = [C_1 \cdot L + C_2 \cdot N] \cdot PCF \quad (5.3)$$

Burada, L; şebeke uzunluğu [km], N; abone bağlantı sayısı, C1 ve C2; sırasıyla boru ve özel bağlantı sızıntısı düzeltme katsayısı olup Çizelge 5.1'e göre şebeke verimlilik seviyesine bağlıdır. Buradaki referans değerler İngiliz standartlarındaki sızıntı ile ilgili olduğundan, Malatya su dağıtım sistemi için düşük seviye ile ilgili katsayıların kullanılmasını daha uygun olacaktır. Ayrıca, PCF; ortalama basınca bağlı boyutsuz basınç faktörü olup aşağıdaki denklem ile elde edilir.

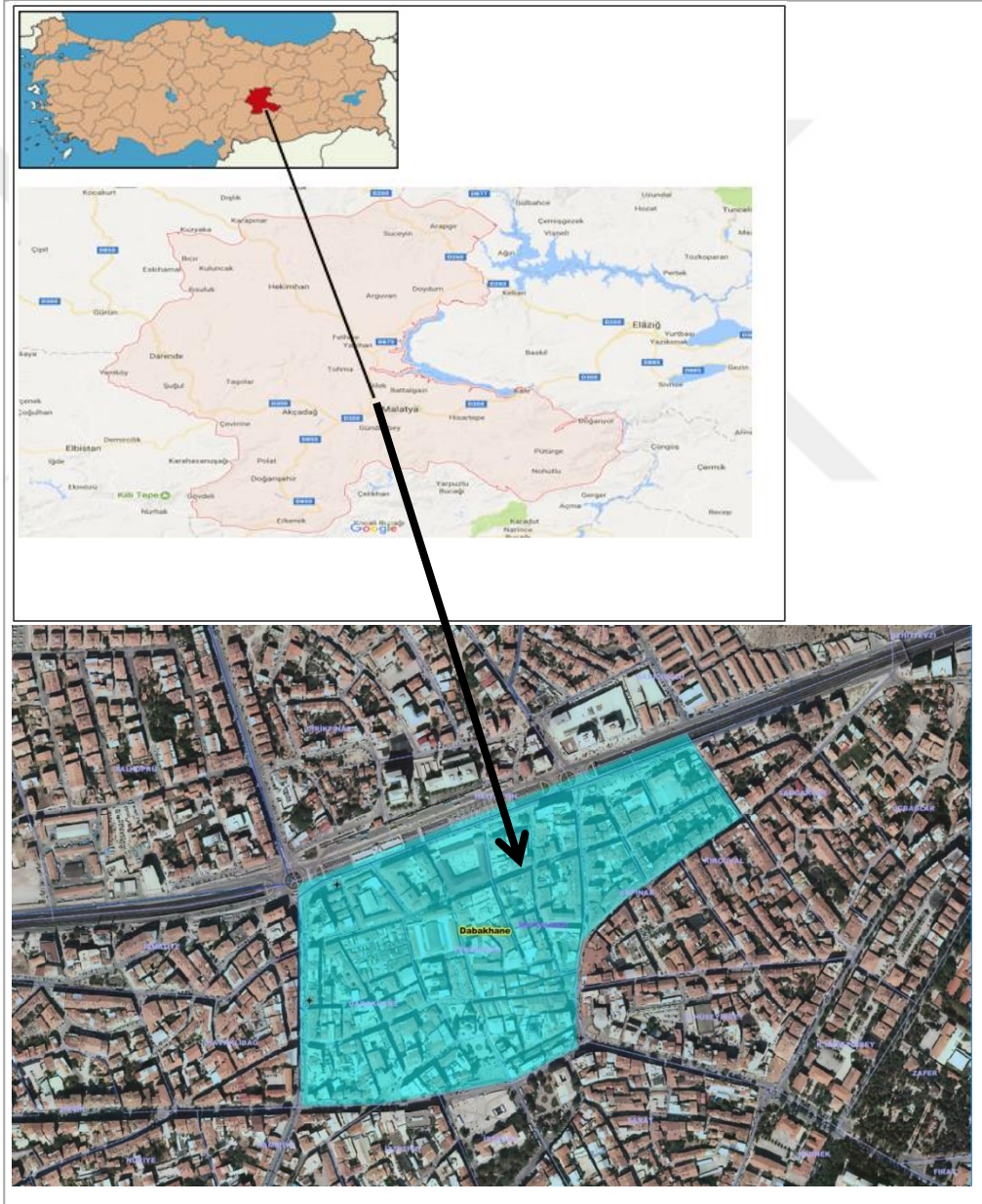
$$PCF = 0,028 \cdot p - 0,347 \quad (5.4)$$

Çizelge 5.1. QLEAK değerlendirmesi için düzeltme katsayısı

Düzeltilme katsayısı	Şebeke verimlilik seviyesi		
	İyi	Orta	Düşük
C1 [l/km/sa]	20	40	60
C2 [l/km/sa]	1.5	3.0	4.5

5.1. Minimum Gece Debisi Analizinde: Dabakhane ÖAB Örneği

Minimum gece debisinin analizi için Malatya ili Dabakhane ÖAB uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 5.1). Doğu Anadolu Bölgesinin batısında bulunan Malatya ili doğuda Elazığ ve Diyarbakır, güneyde Adıyaman, batıda Kahramanmaraş, kuzeyde Sivas ve Erzincan illeri ile çevrilidir. İl topraklarının yüz ölçümü 12.313 km^2 'dir. 2016 yılı nüfus kayıt sistemine göre toplam nüfusu 781.305 kişidir. Seçilen uygulama alanı içerisinde alt ölçüm bölgeleri oluşturulmuş ve bu bölgelerden giriş debileri sürekli olarak ölçülmeye başlanmıştır.



Şekil 5.1. Dabakhane bölgesi

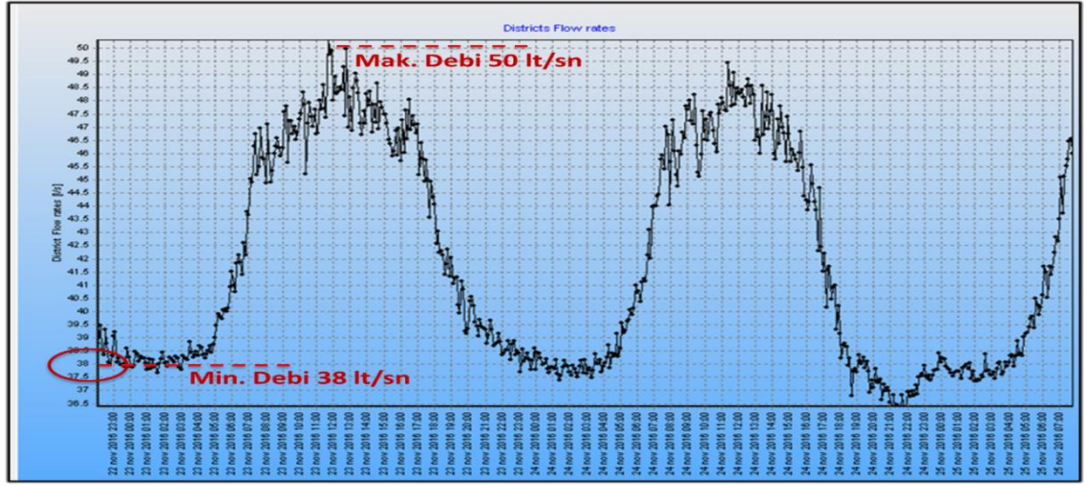
Seçilen Dabakhane b6lgesi toplam 3.364 aboneden oluşmaktadırdır. şebeke ve abone bağlantıları dahil olmak 6zere toplam 7.9 km hat bulunmakta ve b6lgenin ortalama basıncı 45 m su seviyesindedir. Dabakhane b6lgesi için optimum minimum gece debisi aşağıdaki verilerin g6z 6n6ne alınması ile açıklanan y6nteme g6re değerlendirilmiştir (MASKİ, 2018):

- Sivil t6keticisi sayısı (NCIV) = 3.364 abone
- End6striyel t6keticisi sayısı (NIND) = 0
- 6zel bağlantıları kapsayan şebeke uzunluğu (L) = 5.8 (genel şebeke) + 2.1 (6zel bağlantı) = 6.9 km (toplam şebeke)
- Ortalama basınç (p) = 45 m
- Boru hattı katsayısı: C1 = 60 ve C2 = 4.5

Dabakhane b6lgesi için C1 katsayısı 60 C2 katsayısı 4.5 seçilmiştir. Bunun nedeni mevcut b6lgenin şebeke hattının genellikle eski pik borulardan oluşması nedeniyle şebekelerden maksimum verimin beklenilmemesidir.

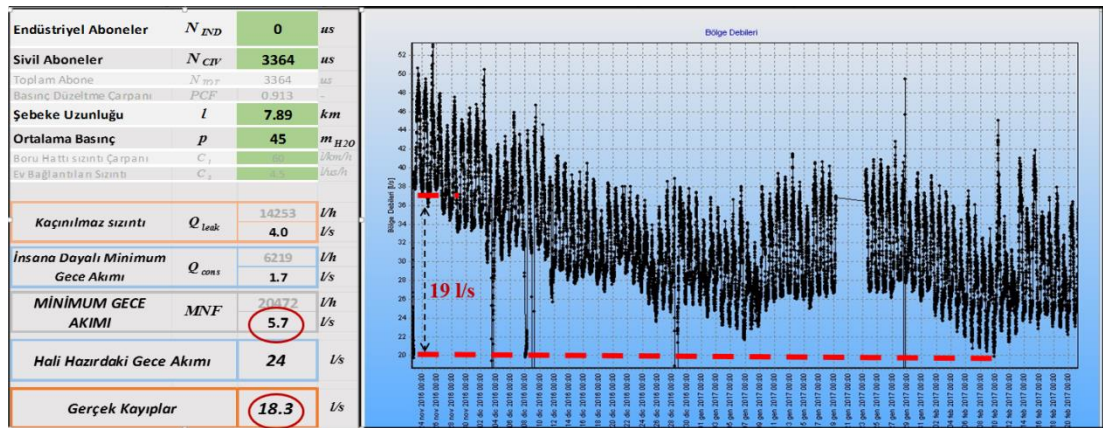
Dabakhane 6AB için optimum minimum gece debisi 5.7 l/s olarak hesaplanmıştır. İzole b6lge içindeki su dengesini g6steren şekil 5.2’de verildiği gibi 6l6len minimum gece akımı (MNF) 38 l/s’dir. Bu değer oldukça y6ksektir ve aşağıdaki durumlar ile ilişkili olabilir;

- 6nemli sızıntıların varlığı,
- Gece boyunca y6ksek su ihtiyaı olan 6zel aboneler (ticari ve ekonomik faaliyetler),
- Gece boyunca doldurulması için 6zel depoların varlığı,
- Alt B6lge izole olmama olasılığı.



Şekil 5.2. Dabakhane bölgesi ölçülen gece debileri

Dabakhane ÖAB’de akustik dinleme cihazları ile taramalar yapılarak toplam 71 adet muhtemel arıza noktası işaretlenmiştir. İşaretlenen bu noktaların 44 tanesinde kaçak tespit edilerek giderilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda bölge içerisinde bulunan eski pik hatlara yer yer bağlantılar olduğu tespit edilmiş bu bağlantılar iptal edilerek eski hatların iptali yapılmıştır. Eski hat üzerinde bulunan 6 adet abone yeni hatlara taşınmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında gece debisi 18.66 l/s’ye düşürülmüş olup toplamda 19.34 l/s su sisteme kazandırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrası gece debisinde ki değişim Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



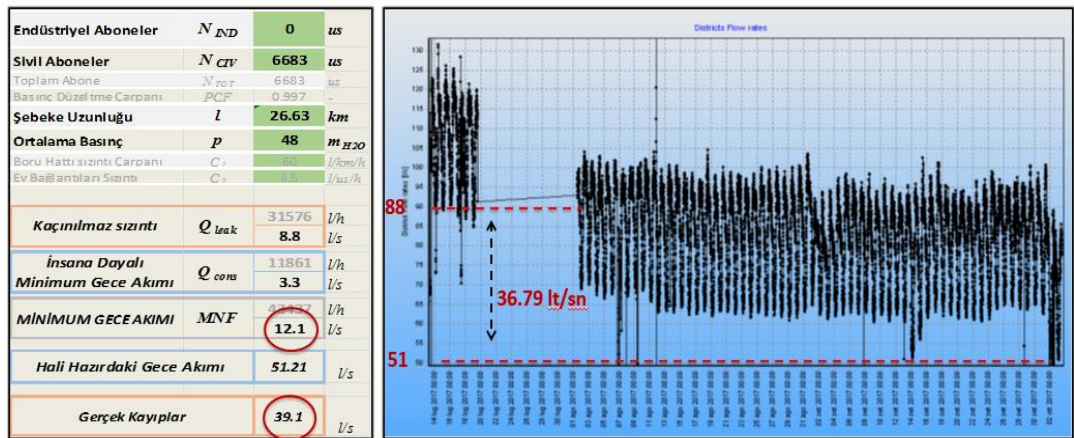
Şekil 5.3. Çalışma sonrası Dabakhane bölgesi ölçülen gece debileri (MASKİ, 2018)

5.2. Minimum Gece Debisi Analizi: Diğer ÖAB Uygulamaları

Minimum gece debisi analizleri içmesuyu sistemlerinde şebeke performansının değerlendirilmesi için önemli ölçütlerden biridir. Oluşturulan ölçüm bölgelerinde gerek kayıp miktarının belirlenmesinde, gerekse aktif sızıntı kontrolü yapılacak bölgelerin seçilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle gece debisi analizi diğer izole bölgeler içinde uygulanmış ve ölçülen değerler aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4. İstiklal izole bölgesi



Şekil 5.5. Çalışma sonrası İstiklal bölgesi ölçülen gece debileri

İstiklal izole bölgesinde çalışma öncesi olması gereken minimum gece akımı 12.1 l/s olarak hesaplanmıştır. Yapılan debi ölçümleri neticesinde minimum gece akımının 88 l/s olduğu görülmüştür. Bu bölgeye aktif sızıntı kontrolü uygulanmış ve bu kapsamda dinleme ekipleri ile tespit edilen 34 noktaya müdahale edilmiş ve 36.79 l/s su sisteme kazandırılmıştır. Son durumda ölçülen gece debisi 51.2 l/s olmakla beraber sistemde hala 39 l/s kaçak olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.6. Kavaklıbağ izole bölgesi

İzole bölgelerden bir diğeri olan Kavaklıbağ bölgesinde ölçülen gece debisi 22.4 l/s'dir. Bölgede yapılan çalışmalar neticesinde birbirine paralel çalışan birden çok hat tespit edilmiştir. Bu kapsamda eski hatlar iptal edilerek gece debisi 2.4 l/s'e kadar düşürülmüştür. Söz konusu bölgede 19.8 l/s su sisteme kazandırılmıştır.

Çizelge 5.2 Rehabilitasyonu yapılmamış pilot ÖAB için gece debileri

DMA	Gece Debisi (Hesap)	Gece Debisi Okunan (son)
Sanayi	6.1	22
Nuriye	3.3	7.5
Akpınar	10.5	38
Taştepe	1.1	7.6
Sarıcoğlu	2.3	5
Hidayet	2	8

Çizelge 5.3 Rehabilitasyonu yapılmış pilot ÖAB için gece debileri

DMA	Gece Debisi (Hesap)	Gece Debisi Okunan (son)
Fırat	1.7	0.8
Çöşnük	4.7	8.5
Çavuşoğlu	3.8	9
İnönü		2.8

Çizelge (5.2 ve 5.3) de görüldüğü gibi ÖAB’lerde hesap ile belirlenen gece debileri ile debimetrelerden gece saatlerinde okunan debiler arasında farklılıklar söz konusudur. Bu aradaki fark bir çok durumda sistemde sızıntı olabileceği şüphesi ortaya çıkarmaktadır. Ancak buna karar verebilmek için daha önceden de bahsedildiği gibi ÖAB içinde abone türünün iyi bir şekilde saha verisi ile belirlenmesi, gece tüketimi olabilecek aboneler (hastana, vardiyalı çalışan işyeri vb.) belirlenmeli ve bunların tüketimleri bu okunan değerden çıkarılmalıdır.

Minimum gece debisi, su tüketiminin en az olduğu saatlerde potansiyel sızıntıların farkına varılması ve bunların yerinin tespit edilerek sisteme kazandırılması noktasında önemli katkılar sunduğu söylenebilir.

6. ÖLÇÜLEBİLİR ALT BÖLGELERDE SU KAYIPLARININ AZALTILMASI VE FAYDA MALİYET ANALİZİ

Uygulama alanında su kayıplarının azaltılması, izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla ÖAB planlanması yapılmış ve MASKİ Genel Müdürlüğü İçme Suyu Daire Başkanlığı tarafından Malatya ili Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde sahada uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde oluşturulan ÖAB'lerde su kayıplarının azaltılması ve önlenmesi amacıyla planlanan ve saha uygulanan çalışmaların sonuçları analiz edilmiş, sahadaki farklı uygulamaların maliyet açısından karşılaştırılmış ve ekonomik olarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma alanında su iletimi büyük oranda cazibeli hatlar ile yapıldığından maliyet hesaplamalarında kazanımlar hesaplanırken sızıntıların önlenmesi ile tasarruf edilen suyun ekonomik karşılığı, birim metreküp suyun fatura bedelinin %15'i olarak göz önünde bulundurulmuştur. Çünkü, tespit edilen sızıntı suyu sisteme kazandırıldığında bunun aboneler tarafından kullanılmış su olarak göz önüne alınması yanlış bir değerlendirme olacaktır. Sızıntıların önlenmesi sonucunda ilgili ÖAB'ye daha az su verilecek ve dolayısıyla abone tüketimi üzerinde etkisi olmayacaktır. Diğer taraftan kaçak kullanım veya sayaç hatalarından kaynaklanan İdari kayıplarda su aboneler tarafından tüketildiği için, bu tür gelir getirmeyen su bileşeninin ekonomik analizinde birim metreküp suyun ekonomik karşılığı dikkate alınmalıdır. 2017 yılı için MASKİ ücret tarifesine göre 1. Bölgede 1 m³ su ücreti mesken türü abonelikler için 2.98 TL'dir. Hesaplamalar bu bedel üzerinden yapılacaktır. Bu amaçla temel olarak aşağıda verilen çalışmalar için değerlendirmeler yapılmıştır;

- İçmesuyu dağıtım sistemlerinde eski hat iptallerinin su kayıplarının azaltılmasındaki önemi ve fayda-maliyet analizi
- Şebeke rehabilitasyonu yapılmadan oluşturulan izole alt ölçüm bölgelerinin "Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Fayda-Maliyet Analizi"
- Şebeke rehabilitasyonu yapılarak oluşturulan izole alt ölçüm bölgelerinin "Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Fayda-Maliyet Analizi"

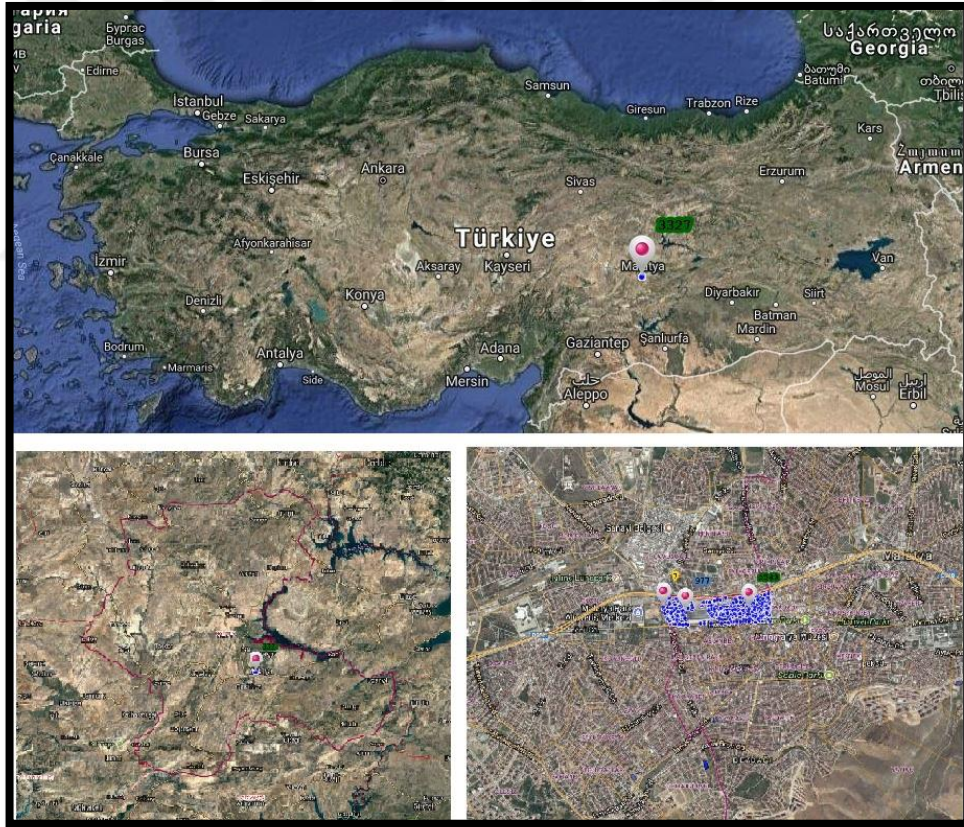
6.1. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Eski Hat İptallerinin Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Fayda-Maliyet Analizi

Çalışmanın bu bölümünde mevcut içmesuyu dağıtım sisteminde hizmet veren boru hatlarının su kayıpları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla Malatya içmesuyu dağıtım sisteminde oluşturulan pilot alt ölçüm bölgelerinde yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Eski yerleşim yerlerinde farklı zamanlarda boru hatları döşenmiş, eski hatlar iptal edilmemiş olup bunlara ait sayısal haritalar oluşturulmadığından dolayı aynı cadde veya sokakta birden fazla hat hizmet verir duruma gelmiştir. Bu durum özellikle şebeke işletme çalışmasında abonelere suyun zamanında iletilememesi, su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmaması ve çoğu durumda kurum için gelir getirmeyen su oranının artması gibi sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle özellikle çok eski şebekelerde kısa veya orta vadede şebeke işletme veriminin arttırılması için cadde sokak bazında tek hat ile hizmet verilmesi çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu söylenebilir.

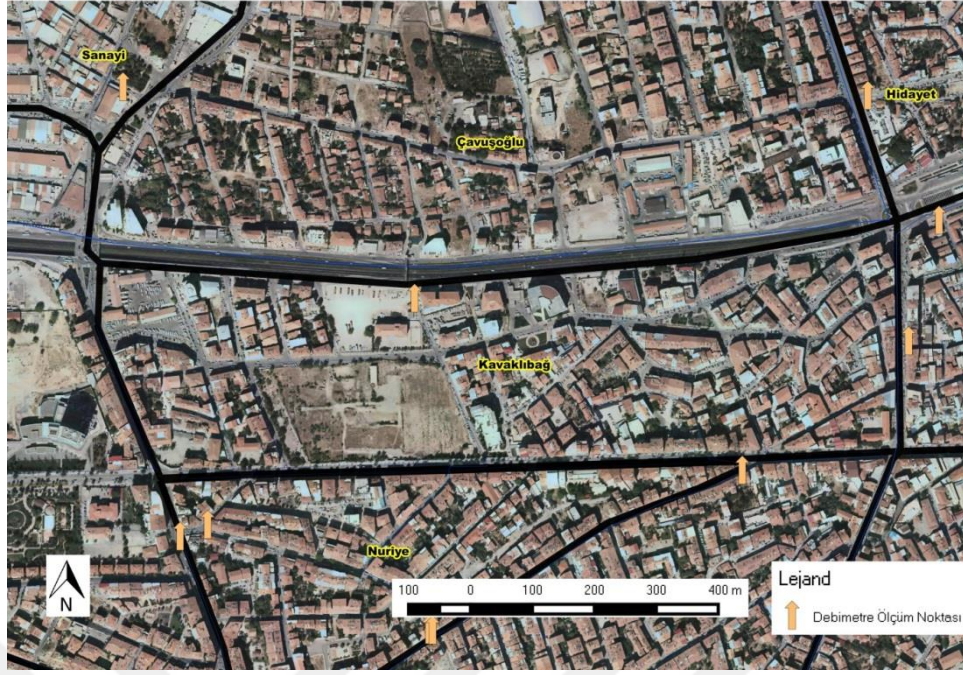
Mevcut şebekede aynı caddede mükerrer olarak yer alan ve hizmet veren hatların iptal edilmesi çalışması, izlenen yol, ofis ve saha çalışmaları, sahada hat iptali sonucunda açığa çıkan ve su verilemeyen abonelerin belirlenmesi ve bu abonelere su verilmesi için abone bağlantı çalışmaları, hat iptalinden sonra izole alt ölçüm bölgesinde giriş debisindeki değişimin izlenmesi vb. çalışmalar yürütülmüş ve detayları aşağıdaki verilmiştir.

6.1.1. İzole Alt Ölçüm Bölgesinde Mükerrer Hat İptalleri: Kavaklıbağ ÖAB Örneği

Uygulama alanı olarak seçilen Şekil 6.1’de haritası verilen bölgede toplamda 3 adet izole alt ölçüm bölgesi (şebeke rehabilitasyonu yapılmadan) ve 3 adet şebeke rehabilitasyonu yapılarak ve boru malzemesi tamamen değiştirilerek alt ölçüm bölgeleri oluşturulmuştur. Bu bölümde şebeke rehabilitasyonu yapılmayan, boru malzemesi değiştirilmeyen ve sadece izole vanalarıyla diğer şebeke bölgelerinden izole edilmiş Kavaklıbağ DMA pilot çalışma alanı olarak seçilmiş (Şekil 6.2) ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Seçilen Kavaklıbağ DMA pilot bölgesinde toplam şebeke uzunluğu 6233 m, toplam servis bağlantı uzunluğu (bina bağlantı uzunluğu) ve toplam abone sayısı 3384 olarak belirlenmiştir. Bölgede ortalama basınç değeri 41.2 mss olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.1. Mükerrer hat iptali yapılan çalışma alanı

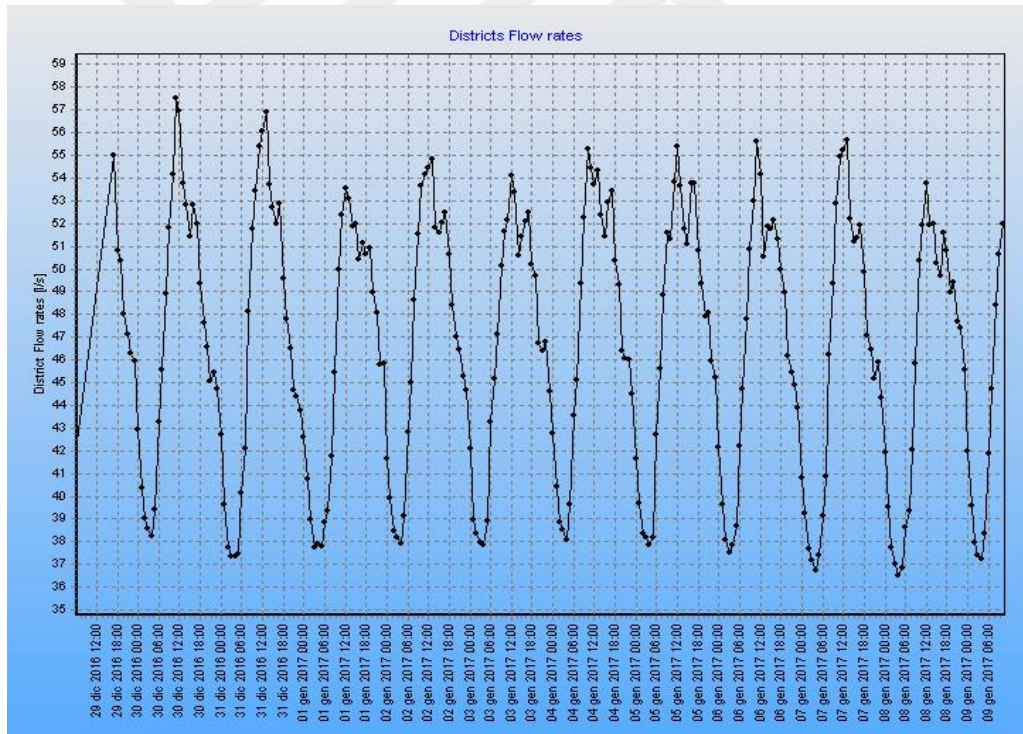


Şekil 6.2. Kavaklıbağ ÖAB ve debimetre noktaları

Kavaklıbağ bölgesinin izole edilmesi çalışmalarına Aralık-2016 tarihinde başlanmış ve bu amaçla 28 Aralık 2016 tarihinde bölgeye giren ve çıkan debiler izlenmeye başlanmıştır. Debimetre odası ve debimetre cihazı Şekil 6.3'te gösterilmiştir. İlk ölçümlerde minimum gece debisi 38 l/s olarak ölçülürken bölgeye giren ortalama debinin 47 l/s olduğu pik tüketim saatinde ise debinin 57 l/s olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.4).



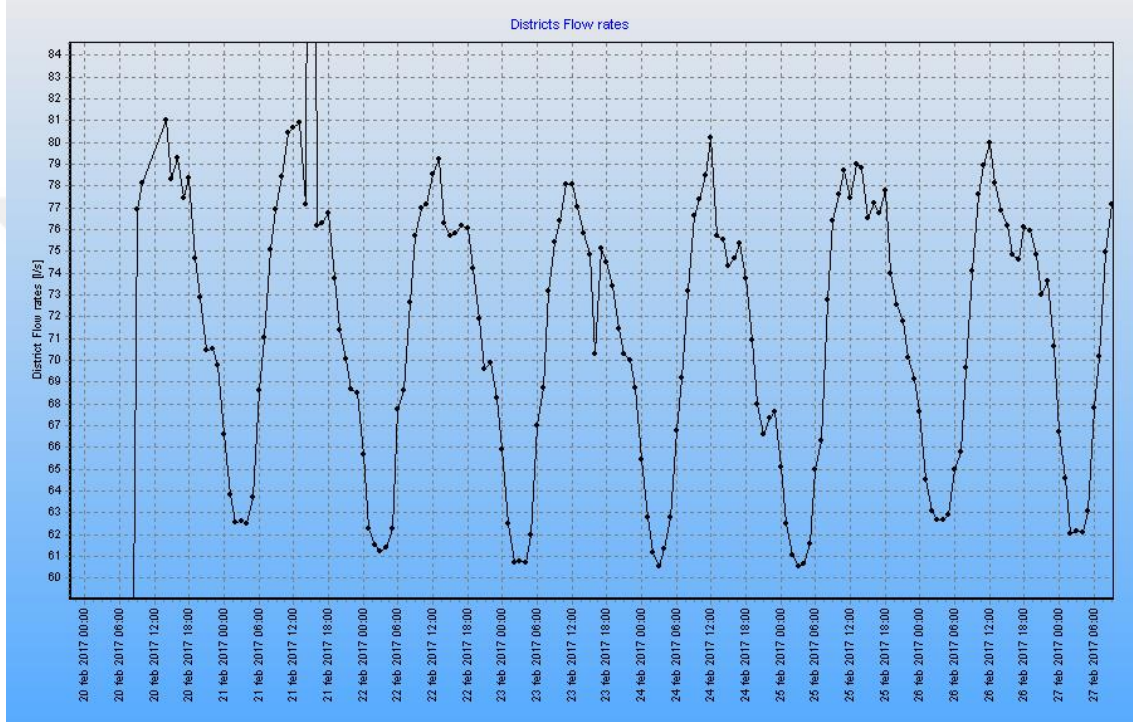
Şekil 6.3. Debi ölçüm noktası



Şekil 6.4. Kavaklıbağ DMA bölgesi ilk ölçüm verileri

Bölge debisi izlenmeye başladıktan sonra yapılan analizler ve saha çalışmaları sonucunda bölgede ölçülmeyen başka bir girişin de mevcut olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen giriş 200 mm çapındaki pik boru üzerine de debimetre yerleştirilmiş ve bölgenin toplam giriş debisi belirlenmiştir.

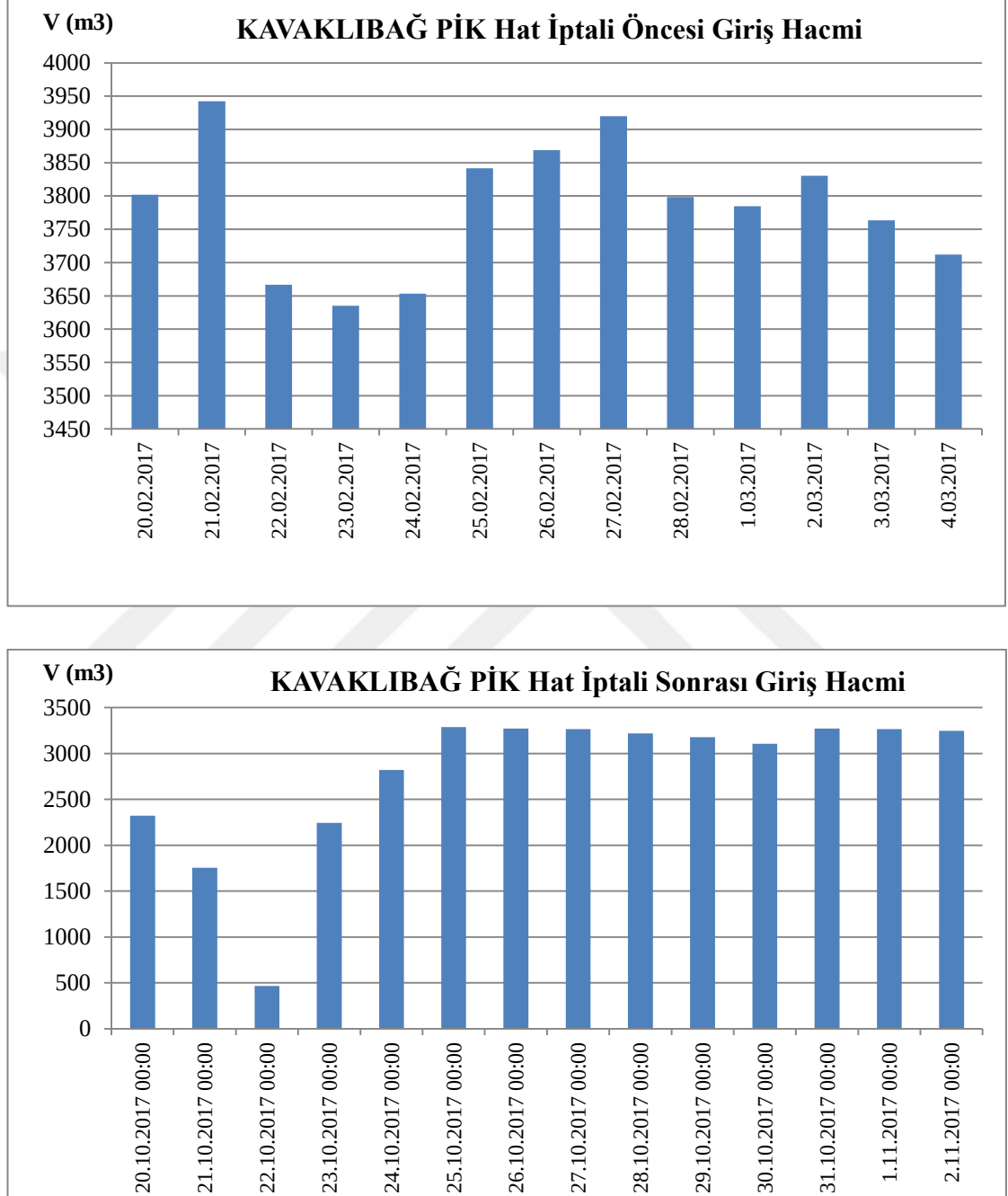
Bahsi geçen 200 mm çapındaki pik borunun bölge izole edilirken ilk etapta fark edilememesinin sebebi, o borunun bölgedeki tüm sistemden ayrı çalışıyor olmasıdır. Çok önceden iptal edilmiş olması gereken eski hat, üzerindeki birkaç abone aktarılamadığından dolayı bölgedeki diğer borulardan tecrit bir şekilde çalışmaya devam etmiş ve sadece sınırlı sayıdaki aboneye su iletmiştir. Pik boru hesaplamalara dahil edildiğinde ise minimum gece debisi ortalama 62 l/s olurken pik tüketim saatinde maksimum debi 82 l/s olarak ölçülmüştür (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Kavaklıbağ DMA pik boru tespiti sonrası debi

Sadece birkaç abone göreceli olarak daha yeni şebekeye zamanında aktarılmamış olduğundan dolayı çalışmaya devam eden bir boru üzerinde kaba bir hespla 25 l/s civarında bir debi geçmektedir. Bu durum fark edilince zaman kaybetmeksizin pik boru iptal edilmiş ve durumdan etkilenen 6 adet abonenin bağlantıları yeni şebekeye aktararak kısa sürede büyük bir su kaybının önüne geçilmiştir. Sahada hat iptalleri için yapılan çalışmalardan sonra sisteme giriş debileri izlenmiş ve özellikle gece debisindeki değişimler analiz edilmiştir. Ayrıca, Kavaklıbağ DMA bölgesinde hat iptalinden önce ve sonraki dönemlerde sisteme verilen su hacmindeki değişimler izlenmiş ve Şekil 6.6'da verilmiştir. Kavaklıbağ

bölgesinde pik hat iptal öncesi ve sonrası hacim değişimleri (Şekil 6.6) da grafiklerde görüldüğü gibidir.



Şekil 6.6. Kavaklıbağ pik hat iptali öncesi ve sonrası sisteme giriş hacim değişimleri

6.1.2. Kavaklıbağ DMA Mükerrer Hat İptalleri: Fayda-Maliyet Analizi

Kentsel su yönetiminde temel prensip, kaliteli suyun vatandaşa zamanında iletilmesi şeklinde yazılabilir. Diğer taraftan Kurum için yatırım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi, vatandaşa zamanında hizmet götürülebilmesi için işletme maliyetin en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Çalışmanın bu bölümünde pilot alt ölçüm bölgesinde hat iptalleri sonucunda ortaya çıkan maliyetler ve bu iptaller sonucunda Kurum açısından beklenen faydalar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Hat iptallerinde işletme maliyetinin artmasında etkili bileşenler temel olarak;

- Sistemin izlenmesi için yerleştirilen ölçüm cihazları maliyetleri (Çizelge 6.1)
- Sistemde meydana gelen arızaların tamir ve onarımı için ortaya çıkan tüm maliyetler
 - Kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (217.60 TL/kazı)
 - Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Asfalt / kaplama maliyeti (500 TL/kazı)
 - Boru malzemesi ve ekipmanlarının maliyeti (Çizelge 6.2)
- Sistemde meydana gelen arızalardan kaynaklan sızıntı su maliyeti
- Hat iptali maliyeti
 - Mükerrer hattın yerinin belirlenmesi (Çizelge 6.1)
 - Hat iptali için kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - Hat iptali için işçilik maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Abone bağlantıları için işçilik maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - İptal edilen abone bağlantılarının yeni hatta bağlantı maliyetleri (100 TL/m)

a) Maliyetler

Kavaklıbağ bölgesi için yapılan saha çalışmalarında toplam 50 çalışma (arıza+hat iptal+yeni bağlantı) için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 73,227.67 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). Bu toplam maliyet çalışma sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1464.55 TL/çalışma şeklinde elde edilmiştir.

Uygulama bölgesinde toplam şebeke uzunluğu 6233 m olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1464.55/6233=0.235$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır.

Dabakhane bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 37,284.87 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.2). Bu değer toplamda 6233 m olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($37,284.87/6233=5.982$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir.

Yukarıda yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 6.217 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilebilir.

Çizelge 6.1 Fiziki kayıp dinleme ve debimetre maliyetleri

DMA BÖLGESİ	KAVAKLIBAĞ
TARANAN METRAJ(M)	8139
1.DEBİ (AY)	3
2.DEBİ (AY)	3
3.DEBİ (AY)	3
FİYAT DİNLEME	1.33 ₺
FİYAT KAPTOR KİRA	2,940.00 ₺
TUTAR DİNLEME TL	10,824.87 ₺
TUTAR KAPTOR TL	26,460.00 ₺
TOPLAM	37,284.87 ₺

Çizelge 6.2 Kavaklıbağ DMA bölgesi maliyet tablosu

KAVAKLIBAĞ DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ (m)	KAZI BOYU (m)	KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
ASFALT			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
TOPRAK			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT			Ø 32 VANA,,1 ADET İÇ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI,Ø 32 GALVANİZ NİPEL-MAŞON-KÖRTAPA	1,481.18 ₺
ASFALT			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
ASFALT			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
ASFALT	4.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
ASFALT			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
ASFALT			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
PARKE/ASF	2-2	1.0	2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	10.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	3.0	2.0	2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DİŞ DİŞLİ REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,413.95 ₺
ASFALT	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺

Çizelge 6.2 Kavaklıbağ DMA bölgesi maliyet tablosu (devam)

KAVAKLIBAĞ DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ (m)	KAZI BOYU (m)	KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 PE 2 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,502.40 ₺
KALDIRIM			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 1'er adet maşon-düz dirsek-dış dişli rekor,Ø32 galvaniz konik rekor	1,492.63 ₺
ASFALT	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	5.0	1.0	Ø32 PE 4 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,513.15 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
TOPRAK			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	3.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 1'er adet maşon-düz dirsek-dış dişli rekor,Ø32 galvaniz konik rekor	1,492.63 ₺
ASFALT	3.0	2.0	Ø32 PE 1 m.Ø32 vana,Ø32 dış dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel,Ø32 galvaniz konik rekor	1,492.63 ₺
ASFALT	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet dış dişli kapri	1,490.68 ₺
KALDIRIM	3.0	3.0	Ø32 PE 2 metre,Ø32 1 adet kelepçe,Ø32 maşon-düz dirsek-dış dişli rekor	1,423.73 ₺
ASFALT	4.0	2.0	Ø175 kolay tamir kelepçesi ,Ø32 PE 4 metre,Ø32 vana ,Ø32i kapri maşon, Ø32 2 adet iç dişli,galanviz nipel-kör tapa	1,993.78 ₺
PARKE/ASF	8-7	2.0	Ø32 PE 15 metre,Ø32 1 adet vana,Ø32 1 adet kelepçe,Ø32 iç dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel	1,572.28 ₺
KALDIRIM			Ø32 PE 5 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,530.95 ₺
KALDIRIM	4.0	1.0	Ø32 PE 2 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,514.83 ₺
ASFALT	4.0	1.0	Ø32 PE 2 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,514.83 ₺

Çizelge 6.2 Kavaklıbağ DMA bölgesi maliyet tablosu (devam)

KAVAKLIBAĞ DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ (m)	KAZI BOYU (m)	KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
PARKE/ASF	1-3	3.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
KALDIRIM	15.0	1.0	Ø32 PE 1 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,497.03 ₺
ASFALT	10.0	2.0	Ø32 PE 4 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,513.15 ₺
KALDIRIM	3.0	3.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maşon,Ø32 dış dişli rekor	1,490.68 ₺
KALDIRIM	3.0	3.0	Ø32 PE 1 m.Ø32 vana,Ø32 dış dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel,Ø32 galvaniz konik rekor	1,497.03 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 PE 4 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,513.15 ₺
KALDIRIM	5.0	1.0	Ø32 PE 3 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,507.78 ₺
KALDIRIM	12.0	1.0	Ø32 PE 2 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,502.40 ₺
KALDIRIM	5.0	5.0	Ø32 PE 2 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,502.40 ₺
ASFALT	2.0	4.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
KALDIRIM	5.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
ASFALT	5.0	3.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
ASFALT	5.0	3.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor	1,471.00 ₺
TOPLAM				73,227.67 ₺

b) Faydalar

Kavaklıbağ DMA bölgesinde bütün çalışma süresince bölgeye verilen su miktarı günlük ortalama 6000 m³ seviyelerinden günlük ortalama 2000 m³ seviyelerine düşürülmüştür. Buna göre bu bölgede günlük ortalama 4000 m³ su sisteme kazandırılmıştır.

Çalışma alanında 50 arızanın onarılması sonucunda yukarıda verilen sisteme giriş hacimleri esas alınarak Sisteme Kazandırılan Su Miktarı= 4000 m³ /gün olarak elde edilebilir. Çalışma alanında toplam şebeke uzunluğu 6233 m olduğu göz önünde bulundurulursa bu çalışmalar sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen Su= (4000 m³ /gün)/(6233)=0.642 m³ /gün/m şeklinde elde edilebilir.

Uygulama alanında 2017 fiyatlarına göre birim metreküp suyun fatura bedeli 2.98 TL/m³*tür. Ancak bu bedel abonelere iletilen ve aboneler tarafından kullanılan suyun bedelini temsil ettiği için, fiziki kaybın bedeli için bu rakamı doğrudan almak gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle fiziki kayıp hacminin parasal karşılığını hesaplamak için suyun birim metreküp bazında üretim bedeli dikkate alınmıştır. Uygulama alanında su arıtılmadan ve kendi cazibesi ile sisteme geldiği için suyun üretim bedeli terfili sisteme ve/veya arıtma gerektiren sisteme göre daha düşük olacaktır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında birim metreküp fiziki kayıp hacminin sisteme kazandırılması ile elde edilecek fayda hesabı için fatura bedelinin % 15'i alınmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında sisteme kazandırılan birim metreküp fiziki kaybın parasal karşılığı (2.98*0.15=0.447 TL/m³) olarak alınmıştır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen suyun bedeli (0.642 (m³ /gün/m)*0.447=0.287 TL/m³/gün/m) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak denklem (6.1) yardımıyla yapılan yatırımın dönüş süresi hesaplanmıştır (Arregui vd., 2011). Yapılan bu hesaplamalarda enflasyon oranı % 12 olarak alınmıştır.

$$Ds = \left[C_{acq} + C_{inst} + C_{adm} + \sum_{i=1}^n \forall_i * \varepsilon_i * \frac{C_w}{(1 + r')^{(i-1)}} \right] * \frac{(1 + r')^n}{(1 + r')^n - 1} \quad (6.1)$$

Burada, C_{acq} ; ilk yatırım bedelini, C_{inst} ; kurulum bedelini, C_{adm} ; satılamayan su bedelini, r' ; ifadesi ise enflasyon oranının temsil etmektedir.

Uygulama alanında Dabakhane ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 90-120 gün arasında hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi boru malzemesi değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’de yapılan ilk yatırım bedeli 2-3 ay gibi kısa sürede kendini amorti etmektedir. Ayrıca sisteme kazandırılan su başka bölgelerin su ihtiyacını karşılamada kullanılacağı için su kaynaklarının verimli kullanılması açısından önemli kazanımlar sağladığı görülmektedir. Diğer taraftan hat iptallerin kuruma ve sistem işletmesi üzerindeki olumlu etkileri incelendiğinde genel olarak aşağıdaki gibi faydaların oluşacağı düşünülmektedir;

- Alt ölçüm bölgesinde sisteme verilen debinin düzenli olarak izlenmesi,
- Hat iptali ile alt ölçüm bölgesinde cadde ve sokakta hizmet veren ve kontrol edilemeyen mükerrer hatlardan sisteme giren su hacminde tasarruf sağlanması,
- Mükerrer hatların iptali ile alt ölçüm bölgesinde arıza sayısında azalma ve buna bağlı olarak maliyetin azalması,
- Mükerrer hattan dolayı sisteme verilen fazla suyun başka alt ölçüm bölgelerin kullanılması ile vatandaş memnuniyetinin artırılması.

6.2. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB ile Su Kayıplarının Azaltılması ve Fayda-Maliyet Analizi

Çalışmanın bu bölümünde içme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının izlenmesi, kontrol edilmesi ve önlenmesi amacıyla boru malzemesi değiştirilmeden (şebeke rehabilitasyonu yapılmadan) ÖAB oluşturulmuştur. Bu kapsamda Malatya şehir merkezinde toplam 15 adet ÖAB belirlenmiş, sınırları izole edilmiş ve su kayıp analizi gerçekleştirilmiştir. Şebeke rehabilitasyonu yapmadan oluşturulan ÖAB’de ilk yatırım maliyeti, şebeke rehabilitasyonuna göre oldukça düşüktür. Ancak mevcut şebeke koşullarında özellikle boru elemanlarının yerinin bilinmemesi durumunda izolasyonun sağlanamaması gibi önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Su kayıpları ile mücadelede bir çok yöntem ve araç kullanılmakta olup maliyetleri oldukça farklılık göstermektedir. Su kayıp yönetiminde önceki bölümlerde verildiği gibi, aktif kaçak kontrolü, basınç yönetimi, iççilik kalitesi ve tamir süresi ve boru malzeme yönetimi (boru malzeme değiştirme, yenileme, onarım vb.) olmak üzere dört temel bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenlerin sahada uygulanması ya da uygulanmamasına bağlı olarak fiziki kayıp hacmi azalmakta ya da artmaktadır. Bir ÖAB özelinde şebeke ve aboneye ait verileri elde etmek ve izlemek büyük sisteme göre daha kolay ve uygulanabilir olduğu için bu bileşenleri sahada uygulamak daha kolay olmaktadır.

Aktif kaçak kontrolü yöntemi genelde yer mikrofoni ve/veya bölgesel korelatör gibi ses dalgalarının değişiminin izlenmesi prensibine göre çalışan araçlar kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntem basınç yönetimi ve boru malzemesi yöntemine göre ilk yatırım maliyeti daha düşük olmakla birlikte sistemde sürekli olarak uygulanması gereken bir yaklaşımdır. Bilindiği gibi yüksek basınç ve/veya basınçtaki dalgalanmalar arıza oranı ve su kayıpları üzerinde etkili temel faktörlerden biri olarak gösterilir. Her ÖAB’de basınç yönetimi uygulanamaz ya da uygulanmamalıdır. Bu nedenle sınırları ayrılmış bir ÖAB’de topoğrafik koşullar, şebeke ve abone tüketim özellikleri göz önüne alınarak basınç sorunu olan bölgeler belirlenerek basınç yönetimi gerekli bölgeler tespit edilmelidir. Basınç yönetiminde, mevcut durum analizi çalışmaları maliyeti, sistemin ilk yatırım maliyeti, gerekliliği ortaya konulması, bölge içindeki kritik noktalara göre basınç sınır değerlerinin

belirlenmesi, beklenen faydalar gibi analiz ve değerlendirmeler yöntemin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği açısından önemli fikirler verebilir.

Bu dört bileşen kendi içinde değerlendirildiğinde boru malzemesi yönetimi bileşeni uygulanmadan önce oldukça detaylı bir analiz ve değerlendirme yapılmalıdır. Çünkü bu yöntemde boru malzemesi değiştirilmeye karar verilmesi durumunda şebeke ve elemanlarının tamamının değiştirilmesi söz konusu olmakta ve bu da ilk yatırım maliyeti açısından Kurum için önemli yük getirmektedir. Bu nedenle bu ilgili AB’de boru malzemesinin değiştirilmesine karar vermeden önce diğer üç yöntem uygulanmalı ve arıza ve kayıp oranının azalmaması durumunda şebeke yenileme çalışması göz önüne alınmalıdır.

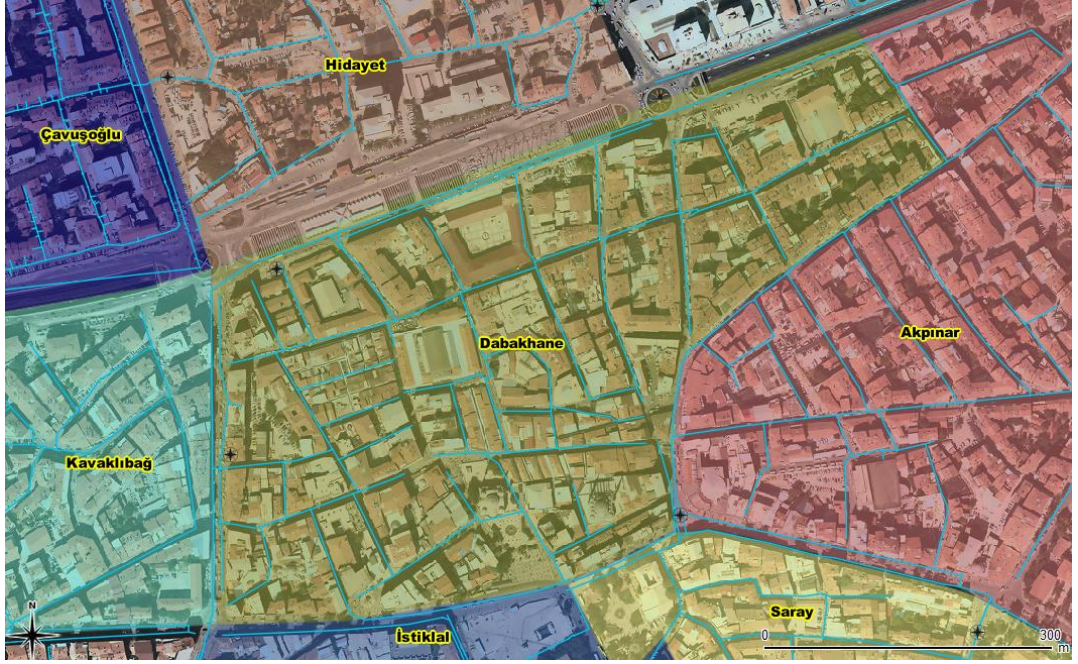
Bu nedenle herhangi bir AB’de ya da dağıtım sisteminde su kayıplarının azaltılması ve önlenmesi için uygulanacak yönteme karar vermek için aşağıdaki soruların cevabını araştırmak oldukça önemlidir;

- AB’de mevcut durum analizi yapıldı mı?
- AB’de şebeke, abone ve diğer bileşenlere ait veriler biliniyor mu?
- Mevcut durum analizine göre su kayıp oranları ve bileşenleri belirlendi mi?
- AB’de rapor edilen ve edilmeyen sızıntılar biliniyor mu?
- AB’de arıza sebep olan faktörler analiz edildi mi?
- AB’de mevcut şebeke koşullarında uygulanabilecek yöntem(ler) hakkında bilgi, teknoloji ve teknik personel alt yapısı mevcut mu?
- AB’de uygulanabilecek yöntemler sistem için uygun mu? Uygulanabilir mi?
- AB’de uygulanabilecek yöntemin ilk yatırım ve işletme maliyeti analiz edilerek alternatifler karşılaştırıldı mı?
- Uygulanabilecek yöntemden beklenen fayda ve yatırımın dönüş süresi?

Tez çalışmasının bu bölümünde mevcut şebeke koşulları korunarak oluşturulan ve önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanan işlem adımları izlenerek belirlenen AB’ler için saha verileri kullanılarak ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu ekonomik analiz detayları tüm AB’ler için verilmemiş olup pilot bölgelere ait detaylara yer verilmiştir.

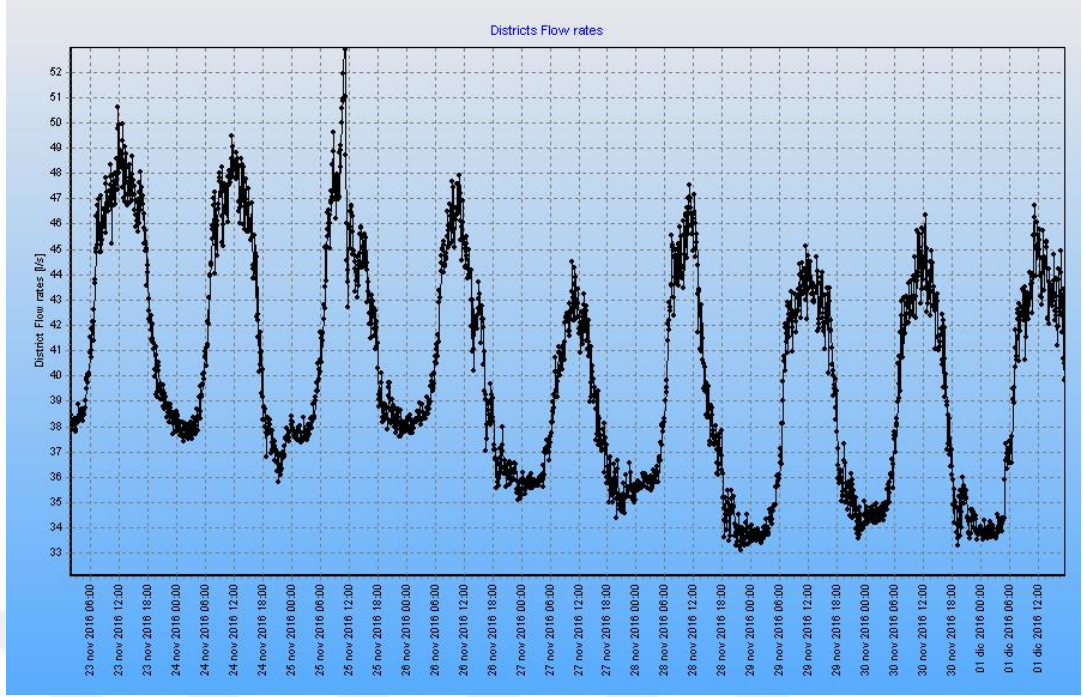
6.2.1. Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB’de Fayda-Maliyet Analizi: Dabakhane ÖAB Örneği

Uygulama alanı olarak seçilen bölgede toplamda 3 adet izole alt ölçüm bölgesi (şebeke rehabilitasyonu yapılmadan) alt ölçüm bölgeleri oluşturulmuştur. Bu bölümde şebeke rehabilitasyonu yapılmayan, boru malzemesi değiştirilmeyen ve sadece izole vanalarıyla diğer şebeke bölgelerinden izole edilmiş Dabakhane ÖAB pilot çalışma alanı olarak seçilmiş (Şekil 6.7) ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bölgedeki mevcut su şebeke uzunluğu 5817 m.’dir. Bölgedeki abone hatlarının uzunluğu ise 3867 m.’dir. Bölgedeki toplam 3391 adet kullanıcıya 50.69 mss seviyesinde ortalama basınç ile su iletimi sağlanmaktadır.

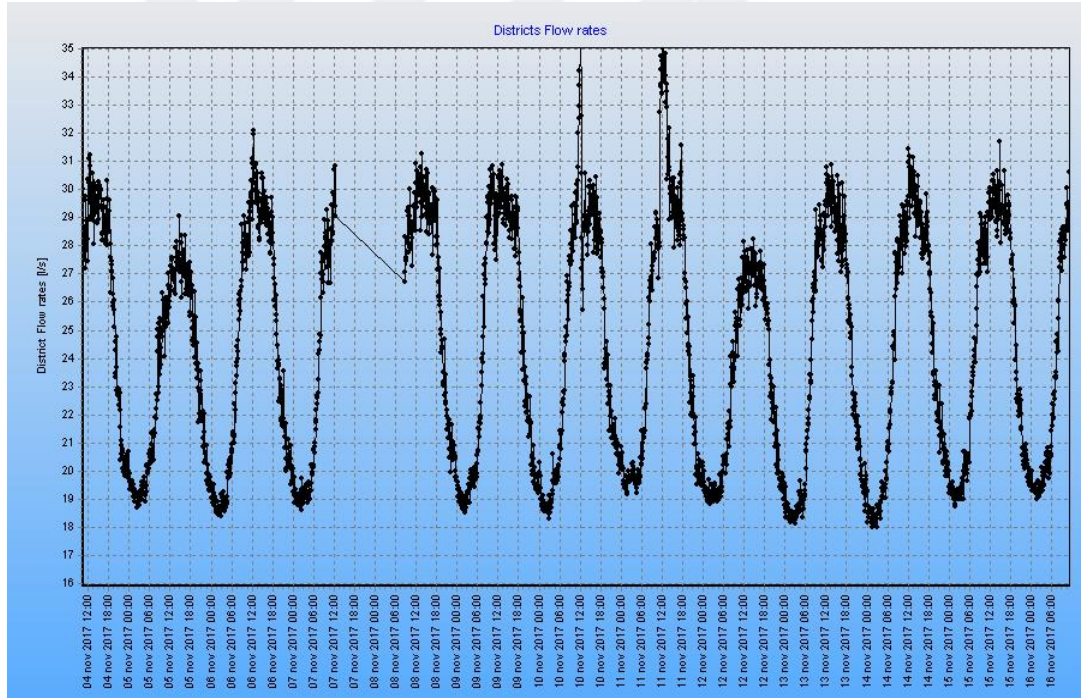


Şekil 6.7. Dabakhane ÖAB ve debimetre noktaları

Dabakhane bölgesinin izole edilmesi çalışmalarına Aralık-2016 tarihinde başlanmış ve bu amaçla 28 Aralık 2016 tarihinde bölgeye giren ve çıkan debiler izlenmeye başlanmıştır. Dabakhane ÖAB bölgesinde debi izlemelerine başlandığı tarihte minimum gece debisi 38 l/s olarak ölçülmüştür. Maksimum tüketim saatinde ise pik debi 51 l/s olarak ölçülmüştür (Şekil 6.8).



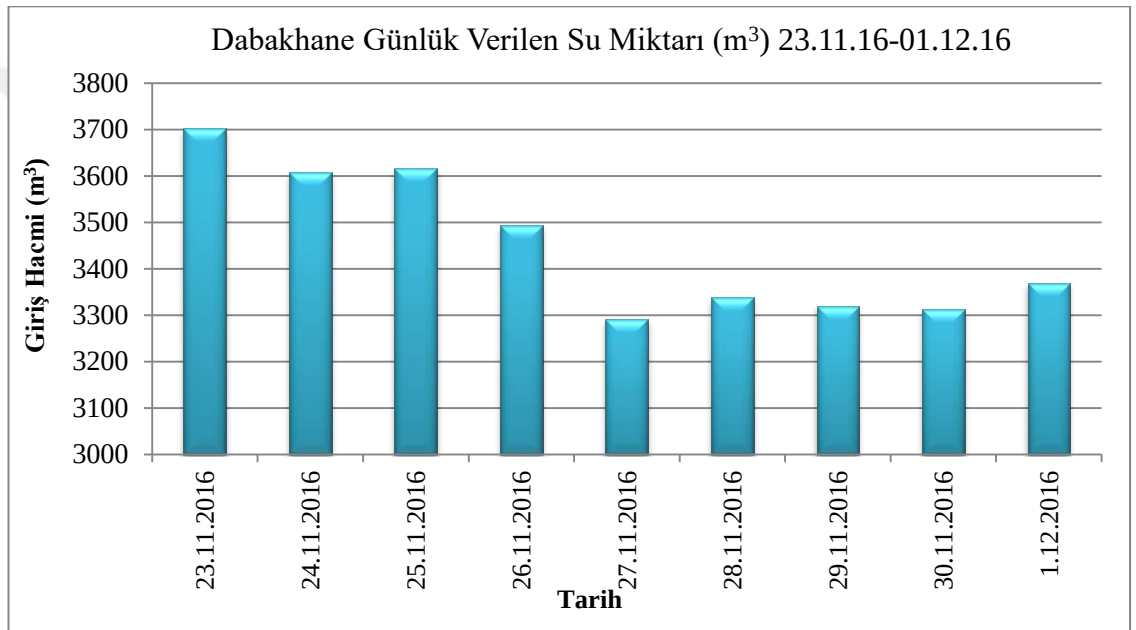
a) Çalışma öncesi debi grafiği



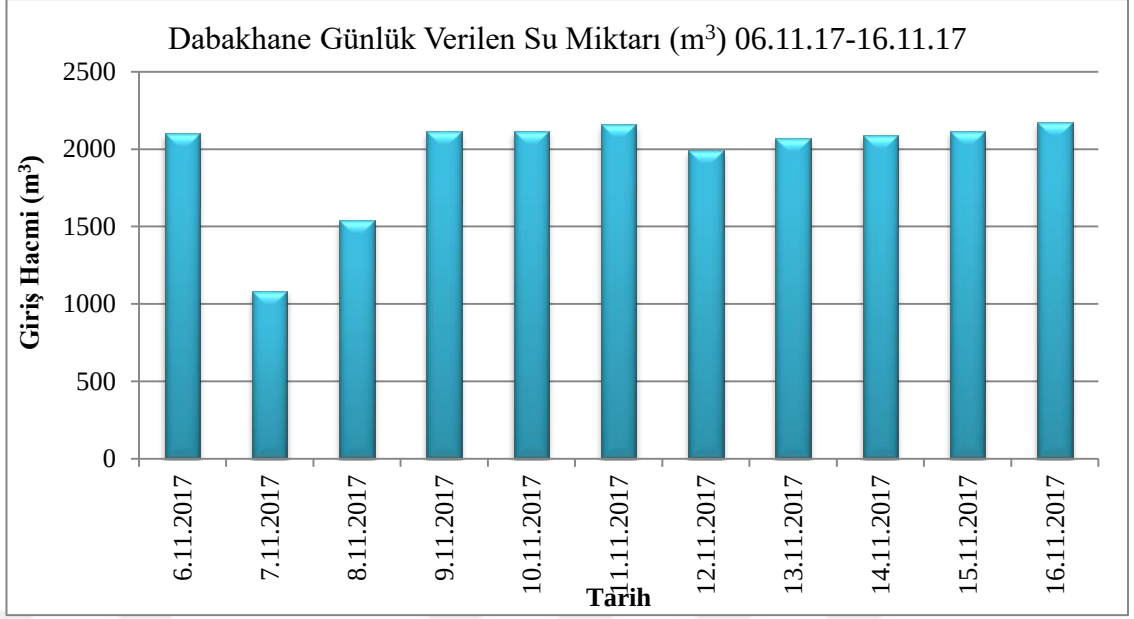
b) Çalışma sonrası debi grafiği

Şekil 6.8. Dabakhane ÖAB çalışma öncesi ve sonrası debi değişimi

Bölgede aktif sızıntı kontrolü yöntemleri uygulanmış ve şebeke hatları sadeleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda minimum gece debisi 18 l/s seviyelerine maksimum tüketim saati için pik debi ise 33 l/s seviyelerine düşürülmüştür. Dabakhane ÖAB izolasyonu sağlanıp ölçüme başlandıktan sonra bölgeye günlük ortalama 3600 m³ su girişi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın henüz başlarındaki müdahalelerle bu debi ortalama 3300 m³ seviyelerine düşürülmüş olup uzun vadede bölgeye giren su debisi ortalama 2000 m³ seviyelerine kadar düşürülmüştür. Buna göre bölgede günlük ortalama 1600 m³ su tasarrufu sağlanmıştır.



a) Çalışma öncesi hacim değişimi



b) Çalışma sonrası hacim değişimi

Şekil 6.9. Dabakhane günlük verilen su miktarı değişimi

Kentsel su yönetiminde temel prensip, kaliteli suyun vatandaşa zamanında iletilmesi şeklinde yazılabilir. Diğer taraftan Kurum için yatırım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi, vatandaşa zamanında hizmet götürülebilmesi için işletme maliyetin en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Çalışmanın bu bölümünde pilot alt ölçüm bölgesinde şebeke rehabilitasyonu yapmadan, sadece sınırları belirlenerek diğer şebeke elemanlarından izole edilerek oluşturulan ÖAB’de ortaya çıkan maliyetler ve bu iptaller sonucunda Kurum açısından beklenen faydalar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şebeke rehabilitasyonu yapmadan oluşturulan ÖAB’de işletme maliyetinin artmasında etkili bileşenler temel olarak;

a) Maliyetler

- Sistemin izlenmesi için yerleştirilen ölçüm cihazları maliyetleri (Çizelge 6.3)
- Sistemde meydana gelen arızaların tamir ve onarımı için ortaya çıkan tüm maliyetler
 - Kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (217.60 TL/kazı)
 - Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Asfalt / kaplama maliyeti (500 TL/kazı)
 - Boru malzemesi ve ekipmanlarının maliyeti (Çizelge 6.4)

Dabakhane bölgesi için yapılan saha çalışmalarında toplam 39 arıza için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 61,952.03 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.4). Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1588.51 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir.

Uygulama bölgesinde toplam şebeke uzunluğu 5817 m olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1588.51/5817=0.273$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır.

Dabakhane bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 47,836.53 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.3). Bu değer toplamda 5817 m olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($47,836.53/5817=8.223$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir.

Yukarıda yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 8.496 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilebilir.

b) Faydalar

Çalışma alanında 39 arızanın onarılması sonucunda yukarıda verilen sisteme giriş hacimleri esas alınarak Sisteme Kazandırılan Su Miktarı= 1600 m³/gün olarak elde edilebilir. Çalışma alanında toplam şebeke uzunluğu 5817 m olduğu göz önünde bulundurulursa bu çalışmalar sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen Su= (1600 m³/gün)/(5817)=0.275 m³/gün/m şeklinde elde edilebilir.

Uygulama alanında 2017 fiyatlarına göre birim metreküp suyun fatura bedeli 2.97/m³'tür. Ancak bu bedel abonelere iletilen ve aboneler tarafından kullanılan suyun bedelini temsil ettiği için, fiziki kaybın bedeli için bu rakamı doğrudan almak gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle fiziki kayıp hacminin parasal karşılığını hesaplamak için suyun birim metreküp bazında üretim bedeli dikkate alınmıştır. Uygulama alanında su arıtılmadan ve kendi cazibesi ile sisteme geldiği için suyun üretim bedeli terfili sisteme ve/veya arıtma gerektiren sisteme göre daha düşük olacaktır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında birim metreküp fiziki kayıp hacminin sisteme kazandırılması ile elde edilecek fayda hesabı için fatura bedelinin % 15'i alınmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında sisteme kazandırılan birim metreküp fiziki kaybın parasal karşılığı (2.98*0.15=0.447 TL/m³) olarak alınmıştır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen suyun bedeli (0.275 (m³/gün/m)*0.447=0.123 TL/m³/gün/m) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak denklem (6,1) yardımıyla yapılan yatırımın dönüş süresi hesaplanmıştır (Arregui vd., 2011). Yapılan bu hesaplamalarda enfalasyon oranı % 12 olarak alınmıştır.

Uygulama alanında Dabakhane ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 90-120 gün arasında hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi boru malzemesi değiştirilmeden oluşturulan ÖAB'de yapılan ilk yatırım bedeli 3-4 ay gibi kısa sürede kendini amorti etmektedir. Ayrıca sisteme kazandırılan su başka bölgelerin su ihtiyacını karşılamada kullanılacağı için su kaynaklarının verimli kullanılması açısından önemli kazanımlar sağladığı görülmektedir.

Çizelge 6.3 Fiziki kayıp dinleme ve debimetre maliyetleri

DMA BÖLGESİ	DABAKHANE
METRAJ(M)	9441
1.DEBİ (AY)	8
2.DEBİ (AY)	3
3.DEBİ (AY)	0
FİYAT DİNLEME	1,33 ₺
FİYAT KAPTOR KİRA	2.940,00 ₺
TUTAR DİNLEME TL	12.556,53 ₺
TUTAR KAPTOR TL	32.340,00 ₺
TOPLAM	47.836,53 ₺

Çizelge 6.4 Dabakhane ÖAB maliyet tablosu

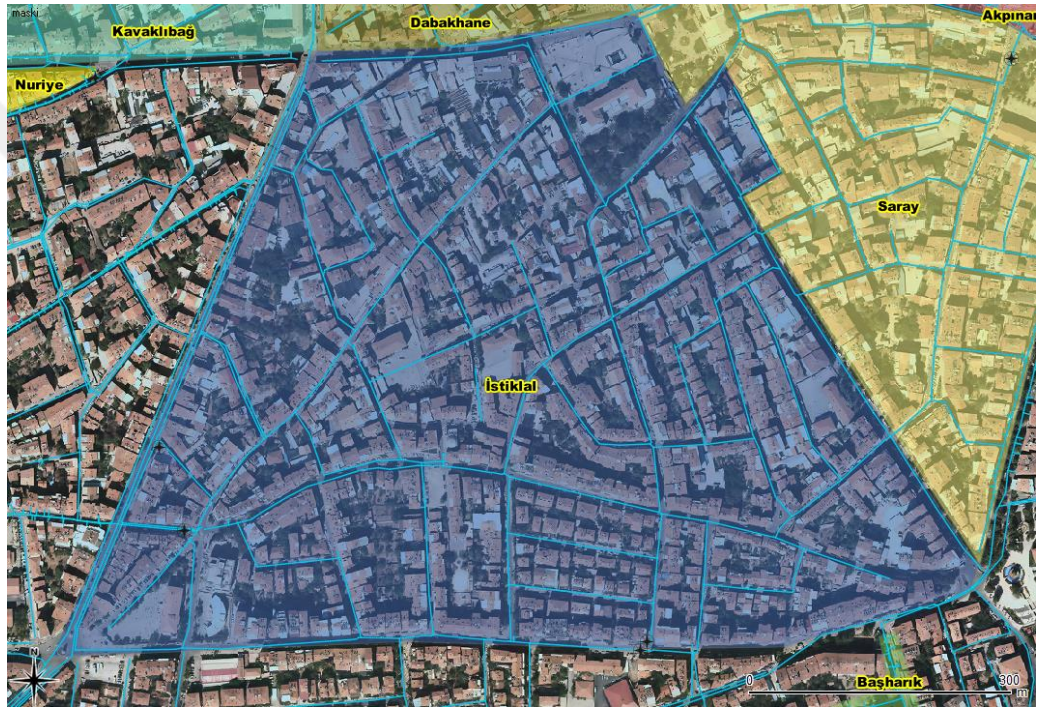
DABAKHANE DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ BOYU (m)		KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
KALDIRIM			KOLAY TAMİR KELEPÇESİ Ø 110	1,753.88 ₺
KALDIRIM	1.5	0.5	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DIŞ DIŞLI REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,420.08 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DIŞ DIŞLI REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,420.08 ₺
ASFALT	2.0	2.0	2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DIŞ DIŞLI REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,420.08 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	1.0	2.0	Ø32 galvaniz kör tapa	1,398.60 ₺
ASFALT	2.0	4.0	Ø32 PE 3 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI KAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,525.60 ₺
ASFALT	2.0	4.0	Ø125 LİK = 2 ADET VANA-2 ADET KELEPÇE (100/125)-2 KOLAY TAMİR KELEPÇESİ-KÖR TAPA 2 ADET	4,585.67 ₺
KALDIRIM	3.0	2.0	Ø32 2 ADET VAN,Ø32 MAŞON,Ø32 DÜZ DİRSEK,Ø32 DIŞ DIŞLI REKOR,Ø32 GALVANİZ KONİK REKOR	1,559.19 ₺
KALDIRIM	7.0	3.0	Ø63 8 m pprc boru,Ø32 2 adet vana,Ø110 2 adet kelepçe,Ø32 4 adet maşon,Ø32 4 adet düz dirsek-diş dişli rekor,Ø32 galvaniz nipel-rekor, galvaniz Ø63/32 redüksiyon	2,561.13 ₺
KALDIRIM	15.0	2.0	Ø32 PE 15 METRE BORU,Ø32 VANA,Ø110 kelepçe,Ø32 düz dirsek,Ø32 galvaniz nipel-dirsek	1,914.75 ₺
ASFALT	8.0	1.0	Ø32 PE 10 m BORU,Ø32 VANA,Ø110 ELEPÇE,Ø32 2 ADET DIŞ DIŞLI CAPRI,Ø32 DÜZ TE KAPRI	1,901.88 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 galvaniz nipel-kör tapa(1 adet)	1,477.88 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 galvaniz nipel-kör tapa(1 adet)	1,477.88 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maşon,Ø32 dış dişli rekor	1,491.88 ₺

Çizelge 6.4 Dabakhane ÖAB maliyet tablosu (devam)

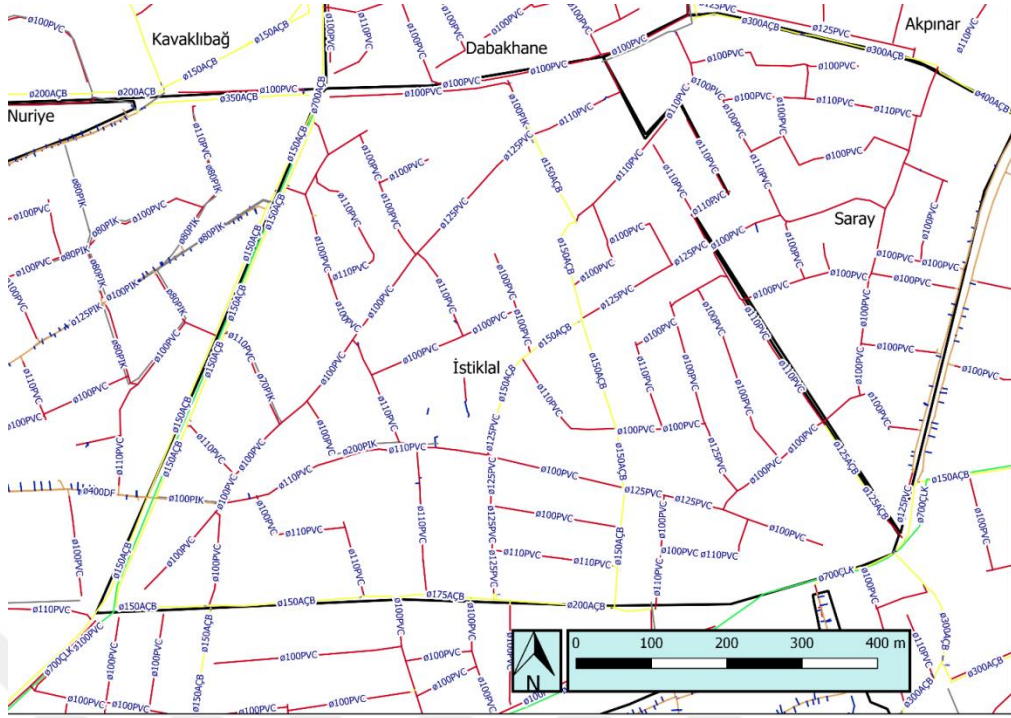
DABAKHANE DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ-BOYU (m)		KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 PE 1 m,Ø32 vana,Ø32 dış dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel,Ø32 galvaniz konik rekor	1,510.65 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 2 adet vana,Ø32 1'er adet maşon-düz dirsek-dış dişli rekor,Ø32 galvaniz konik rekor	1,518.53 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 vana,Ø32 1'er adet maşon-düz dirsek-dış dişli rekor	1,484.88 ₺
KALDIRIM	12.0	0.5	Ø32 PE 12 metre,Ø32 1 adet vana,Ø32 düz te kapri	1,541.78 ₺
KALDIRIM	10.0	3.0	Ø32 PE 4 m,1 adet vana,Ø110 kelepçe,Ø32 4 adet maşon,Ø32 3 adet düz dirsek,Ø32 1 adet dış dişli rekor,Ø32 galvaniz nipel	1,911.03 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 PE 4 metre,Ø32 2 adet kelepçe,,Ø32 kapri maşon-dış dişli kapri-düz maşon-dış dişli dirsek	1,583.13 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 1 adet kelepçe,Ø32 dış dişli rekor	1,471.03 ₺
KALDIRIM	5.0	1.0	Ø32 PE 1 m,Ø32 1 adet kapri mason ve iç dişli kapri	1,429.80 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet maşon-1 adet dış dişli rekor,Ø32 düz te	1,491.28 ₺
ASFALT	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet maşon-1 adet dış dişli rekor,Ø32 düz te	1,486.23 ₺
YOK			Ø32 PE 6 metre,Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek -3 adet düz maşon-galvaniz Nipel	1,501.98 ₺
ASFALT	4.0	2.0	Ø 110 KOLAY TAMİR KELEPÇESİ	1,753.88 ₺
ASFALT	10.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
YOK			Ø32 PE 1 m,Ø32 1 adet vana,Ø32 1adet düz te- 1 det dış dişli rekor	1,483.63 ₺
YOK			Ø32 PE 3 metre,Ø32 1 adet vana,Ø32 1adet düz te- 1 det dış dişli rekor-2 adet düz maşon	1,496.33 ₺
PARKE/ASF	2-4	1.0	Ø32 PE 12 m, vana ,Ø30 4 adet dış dişli kapri-Ø30 2 adet iç dişli maşon, Ø32 2 adet galvaniz nipel-rekor	1,614.33 ₺
ASFALT	3.0	1.0	Ø32 PE 3 metre,Ø32 vana ,Ø32iç dişli kapri-maşon, Ø32 2 adet galvaniz nipel	1,495.35 ₺
PARKE/ASF	1-2	1.0	Ø32 PE 1 m.Ø32 vana,Ø32 1'er adet maşon-düz dirsek-dış dişli rekor	1,484.60 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 galvaniz nipel-kör tapa(1 adet)	1,465.83 ₺
TOPLAM				61,952.03 ₺

6.2.2. Şebeke Rehabilitasyonu Yapılmadan Oluşturulan ÖAB’de Fayda-Maliyet Analizi: İstiklal ÖAB Örneği

Su kayıplarının azaltılması amacıyla İstiklal mahallesi ile İzzetiye, Ferhadiye ve Cevherizade mahallelerinin belirli kısımlarından oluşan bölge izole edilmiş ve bölgeye giren debi izlenmeye başlanmıştır (Şekil 6.10). Bölgede su şebekesi uzunluğu 12073 m.’dir. Abone bağlantılarının toplam uzunluğu 8300 m. ve toplam kullanıcı sayısı 4767’dir. Bölgeye ortalama 41 mss basınç ile su sağlanmaktadır.

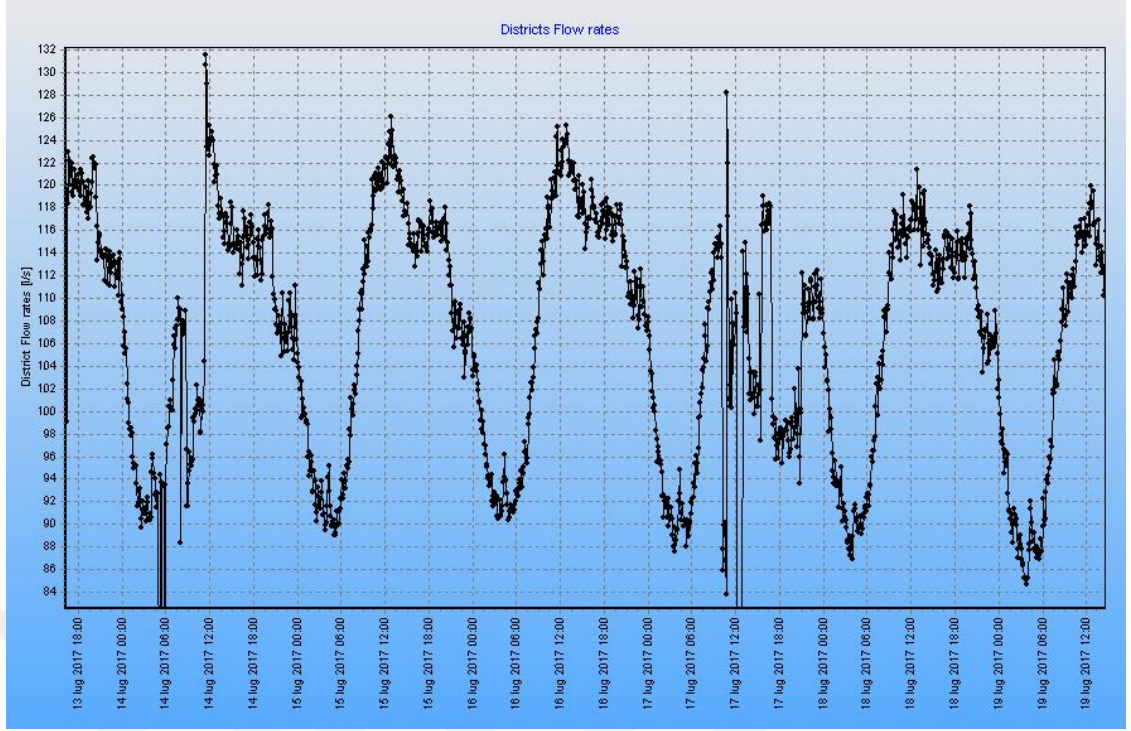


Şekil 6.10. Dabakhane ÖAB ve debimetre noktaları

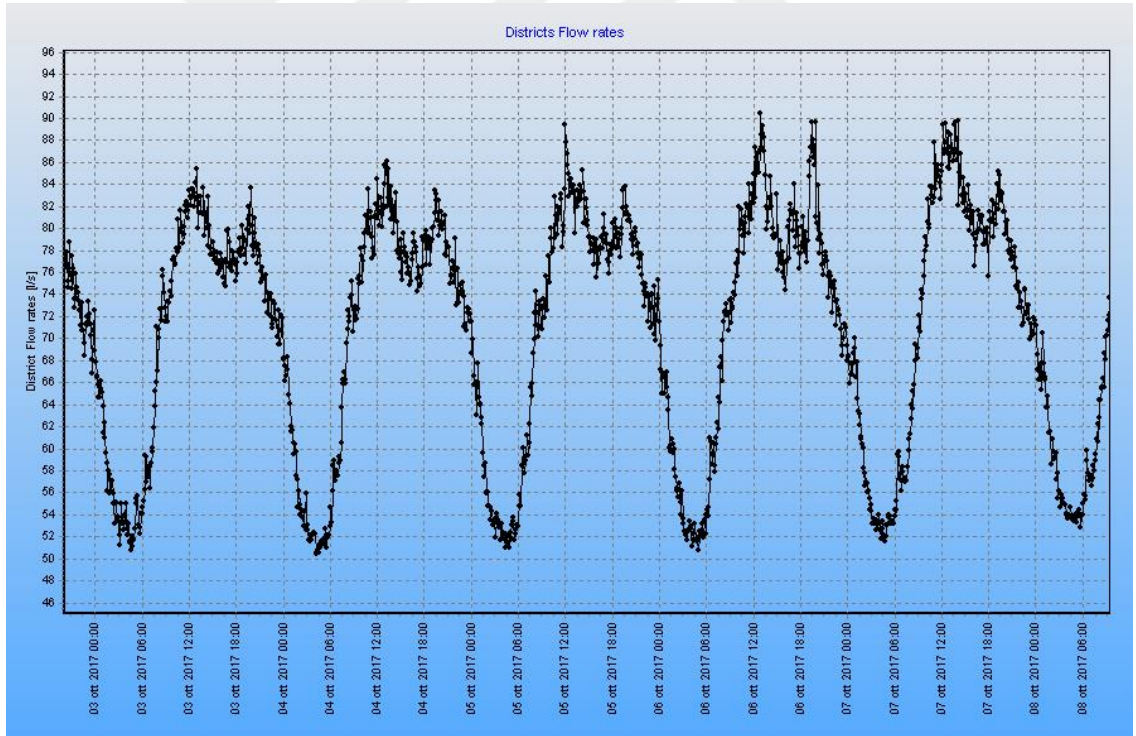


Şekil 6.11. İstiklal ÖAB şebeke planı

İstiklal ÖBA’de ilk ölçümlerde minimum gece debisi 90 l/s olarak ölçülmüştür. Maksimum tüketim saatindeki pik debi ise 126 l/s olarak ölçülmüştür. Buna göre bölgede su kayıpları açısından büyük problemlerin olduğu görülmektedir (Şekil 6.12).



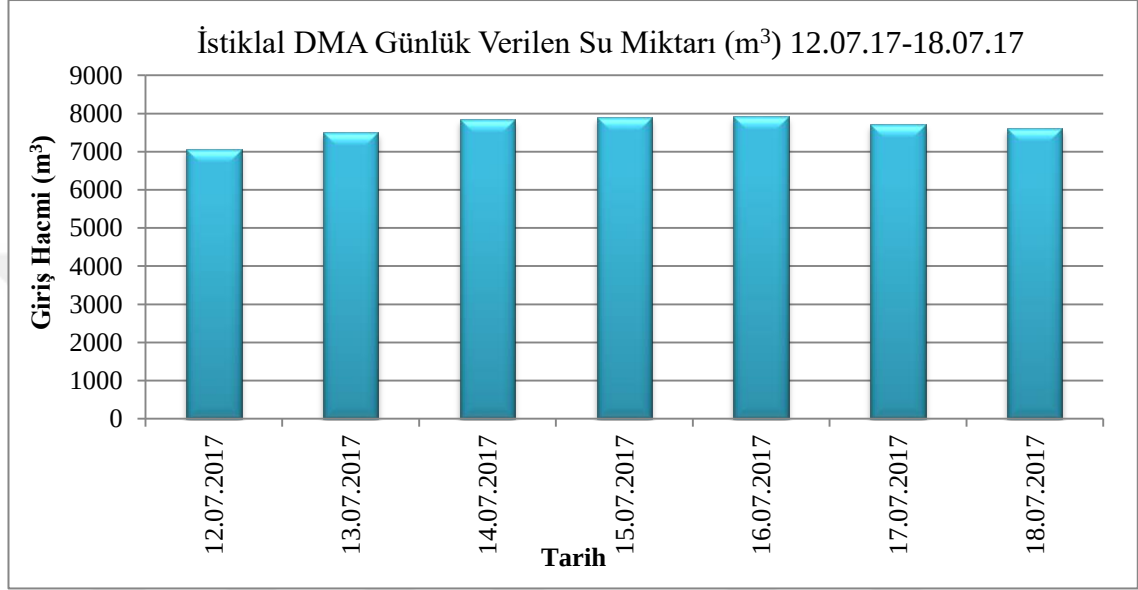
a) Çalışma öncesi debi grafiği



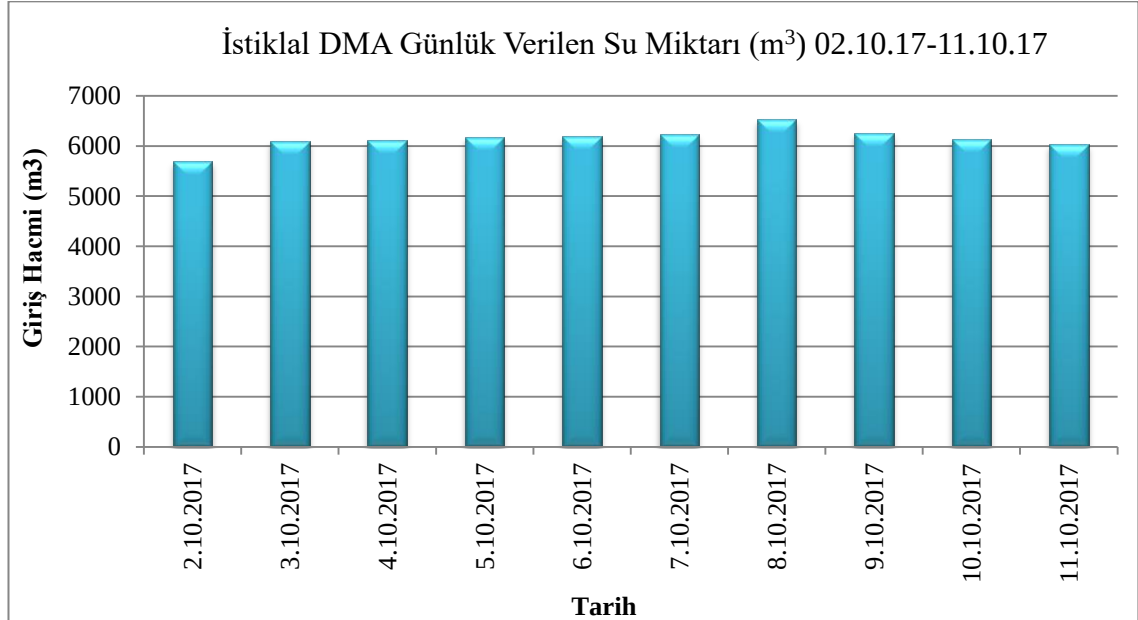
a) Çalışma sonrası debi grafiği

Şekil 6.12. İstiklal ÖAB çalışma öncesi ve sonrası debi değişimi

Bölgede yapılan çalışmalardan sonra minimum gece debisi 50 l/s seviyelerine, pik debi ise 90 l/s seviyelerine düşürülmüştür. İzole edilen İstiklal ÖAB bölgesinde çalışma başında günlük ortalama 7500 m³ su verilirken çalışmalar neticesinde bölgeye verilen su miktarı günlük ortalama 6000 m³ seviyelerine kadar düşürülmüştür. Buna göre bölgede günlük 1500 m³ kadar bir su tasarrufu sağlanmıştır.



a) Çalışma öncesi hacim değişimi



b) Çalışma sonrası hacim değişimi

Şekil 6.13. Dabakhane günlük verilen su miktarı değişimi

Şebeke rehabilitasyonu yapmadan oluşturulan ÖAB’de işletme maliyetinin artmasında etkili bileşenler temel olarak;

a) Maliyetler

- Sistemin izlenmesi için yerleştirilen ölçüm cihazları maliyetleri (Çizelge 6.5)
- Sistemde meydana gelen arızaların tamir ve onarımı için ortaya çıkan tüm maliyetler
 - Kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (217.60 TL/kazı)
 - Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Asfalt / kaplama maliyeti (500 TL/kazı)
 - Boru malzemesi ve ekipmanlarının maliyeti (Çizelge 6.6)

İstiklal bölgesi için yapılan saha çalışmalarında toplam 55 arıza için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 85,210.75 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.6). Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1549.29 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir.

Uygulama bölgesinde toplam şebeke uzunluğu 12073 m olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1549.29/12073=0.128$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır.

İstiklal bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 58,587.48 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.5). Bu değer toplamda 12073 m olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($58,587.48/12073=4.853$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir.

Yukarıda yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 4.98 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilebilir.

Çizelge 6.5 Fiziki Kayıp Dinleme ve Debimetre Maliyetleri

DMA BÖLGESİ	İSTİKLAL
METRAJ(M)	24156
1.DEBİ (AY)	3
2.DEBİ (AY)	2
3.DEBİ (AY)	3
FİYAT DİNLEME	1,33 ₺
FİYAT KAPTOR KİRA	2.940,00 ₺
TUTAR DİNLEME TL	32.127,48 ₺
TUTAR KAPTOR TL	23.520,00 ₺
TOPLAM	58.587,48 ₺

Çizelge 6.6 İstiklal DMA bölgesi maliyet tablosu

İSTİKLAL DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ-BOYU (m)		KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
ASFALT			2 ADET DÜZ MAŞON,1 ADET DIŞ DIŞLI REKOR,1 ADET DÜZ TE PARÇASI	1,420.08 ₺
KALDIRIM	3.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 dış dişli rekor	1,477.28 ₺
KALDIRIM	1.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri mason ve dış dişli rekor	1,491.88 ₺
ASFALT	2.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT			GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	3.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	1.5	1.0	Ø32 1m ,Ø32 dış dişli kapri ve galvaniz konik rekor	1,417.38 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 kolay tamir kelepçesi	1,457.63 ₺
ASFALT	2.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet dış dişli kapri	1,490.68 ₺
ASFALT	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	1.2	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 3 adet düz dirsek,	1,466.80 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 vana,Ø32 düz maşon-düz dirsek-iç dişli rekor	1,479.23 ₺
KALDIRIM	3.0	3.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maşon-dış dişli kapri, galvaniz nipel	1,491.65 ₺
ASFALT	1.0	1.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	2.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø90 kolay tamir kelepçesi	1,753.88 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø20 1 adet vana,Ø32 düz maşon,Ø20 iç dişli rekor,1 adet redüksiyon Ø32 /20	1,491.65 ₺
ASFALT	3.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
ASFALT	3.0	2.0	GALVANİZ KÖR TAPA-MAŞON	1,399.58 ₺
YOK			Ø32 10 metre ,Ø32 iç dişli-dış dişli kapri-düz Te,Ø32 galvaniz nipel-maşon	1,586.80 ₺
YOK			Ø32 16 m ,Ø32 iç dişli-dış dişli kapri, galvaniz nipel	1,617.10 ₺
KALDIRIM	8.0	2.0	Ø32 2 metre ,Ø32 vana,Ø32 kolay tamir kelepçesi,Ø32 maşon-dış dişli rekor	1,502.40 ₺

Çizelge 6.6 İstiklal DMA bölgesi maliyet tablosu (devam)

İSTİKLAL DMA BÖLGESİ YAPILAN ÇALIŞMALARA AİT MALİYET TABLOSU				
KAZI TÜRÜ	KAZI ENİ-BOYU (m)		KULLANILAN MALZEMELER	FİYAT (TL)
KALDIRIM	25.0	2.0	Ø32 25 metre ,Ø200 kolay tamir kelepçesi,Ø32 galvaniz nipel-maçon,Ø32 2 adet tepe musluğu	2,827.00 ₺
ASFALT	12.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel	1,491.65 ₺
KALDIRIM	3.0	2.0	Ø32 vana,Ø110 kelepçe,Ø32 3 adet düz maçon-düz dirsek,Ø32 2 adet dış dişli rekor,Ø32 galvaniz nipel	1,853.75 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 dış dişli rekor	1,477.28 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 2 adet vana,Ø32 kapri maçon-iç dişli kapri,Ø32 4adet dış dişli kapri	1,610.53 ₺
KALDIRIM	3.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,490.68 ₺
ASFALT	4.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø100 kelepçe,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapriiç dişli-düz maçon	1,847.90 ₺
KALDIRIM	7.0	2.0	Ø32 vana,Ø100 kelepçe,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,834.50 ₺
KALDIRIM	5.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,490.68 ₺
ASFALT	6.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø140 kelepçe,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri-iç dişli-düz maçon	1,971.30 ₺
ASFALT	4.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,Ø32 galvaniz nipel	1,491.65 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 dış dişli rekor	1,477.23 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 dış dişli rekor-maçon	1,478.25 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 dış dişli rekor-maçon	1,478.25 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 2 adet vana,Ø32 4 kapri maçon-iç dişli,Ø32 2 adet dış dişli maçon-iç dişli maçon,Ø32 4 adet düz maçon	1,641.23 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,491.65 ₺
ASFALT	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
KALDIRIM	1.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
ASFALT	3.0	2.0	Ø32 PE 2m,Ø32 kapri maçon, iç dişli-düz-dış dişli dirsek, düz Te, nipel-konik rekor-redüksiyon 40/32	1,543.58 ₺
KALDIRIM	4.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,490.68 ₺
KALDIRIM	2.0	2.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 2 adet düz dirsek,	1,465.83 ₺
KALDIRIM	2.0	1.0	Ø32 1 adet vana,Ø32 kapri maçon-dış dişli kapri,	1,490.68 ₺
TOPLAM				85,210.75 ₺

b) Faydalar

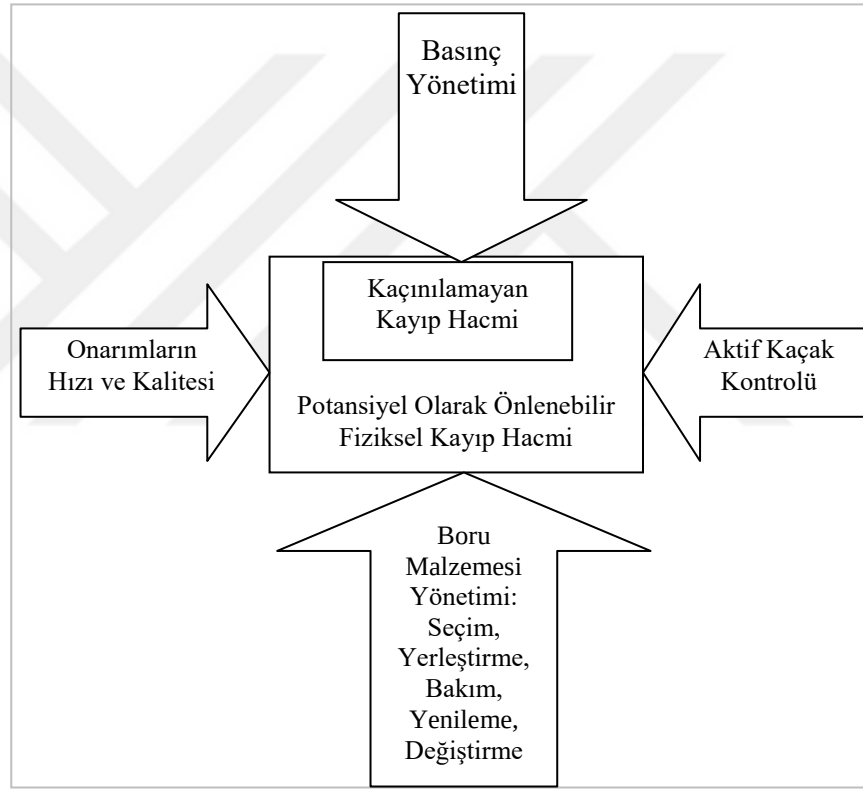
Çalışma alanında 55 arızanın onarılması sonucunda yukarıda verilen sisteme giriş hacimleri esas alınarak Sisteme Kazandırılan Su Miktarı= $1500 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak elde edilebilir. Çalışma alanında toplam şebeke uzunluğu 5817 m olduğu göz önünde bulundurulursa bu çalışmalar sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen Su= $(1500 \text{ m}^3/\text{gün})/(12073)=0.124 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ şeklinde elde edilebilir.

Uygulama alanında 2017 fiyatlarına göre birim metreküp suyun fatura bedeli 2.98 TL/m^3 'tür. Ancak bu bedel abonelere iletilen ve aboneler tarafından kullanılan suyun bedelini temsil ettiği için, fiziki kaybın bedeli için bu rakamı doğrudan almak gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle fiziki kayıp hacminin parasal karşılığını hesaplamak için suyun birim metreküp bazında üretim bedeli dikkate alınmıştır. Uygulama alanında su arıtılmadan ve kendi cazibesi ile sisteme geldiği için suyun üretim bedeli terfili sisteme ve/veya arıtma gerektiren sisteme göre daha düşük olacaktır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında birim metreküp fiziki kayıp hacminin sisteme kazandırılması ile elde edilecek fayda hesabı için fatura bedelinin % 15'i alınmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında sisteme kazandırılan birim metreküp fiziki kaybın parasal karşılığı $(2.98*0.15=0.447 \text{ TL/m}^3)$ olarak alınmıştır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen suyun bedeli $(0.124 \text{ (m}^3/\text{gün/m)})*0.447=0.0554 \text{ TL/m}^3/\text{gün/m})$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak denklem (6.1) yardımıyla yapılan yatırımın dönüş süresi hesaplanmıştır (Arregui vd., 2011). Uygulama alanında Dabakhane ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 120-150 gün arasında hesaplanmıştır.

6.3. İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Şebeke Rehabilitasyonunun Su Kayıplarının Azaltılmasındaki Önemi ve Ekonomik Analizi

Uluslararası literatürde fiziksel kayıpların artmasında veya azaltılmasında bileşen analizi yapılmış ve temel olarak, aktif kaçak kontrolü, boru malzemesi yönetimi (malzeme seçimi, boru değiştirme-onarım-yenileme vb.), basınç yönetimi ve onarım hızı ve kalitesi şeklinde dört bileşenin önemi vurgulanmıştır (Şekil 6.14) (Farley vd., 2008).



Şekil 6.14. Fiziksel kayıpların azaltılmasında temel bileşenler (Farley vd., 2008).

Özellikle çok eski şebekelerde, boru malzeme yaşının çok fazla olduğu ve buna bağlı olarak basınç dayanımının düştüğü, arıza oranının ve su kayıp oranının arttığı bilinen bir gerçektir. Bu sistemlerde boru malzemesi ekonomik ömrünü tamamladığı için, diğer üç bileşenin tam olarak uygulansa bile su kayıp yönetiminde istenen başarının ve beklenen faydanın elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Yani, aktif kaçak kontrolü için sahada çalışan ekipler yüzeye çıkmayan arıza tespit ettikten

ve arıza tamiri yapıldıktan belli bir süre sonra aynı sokakta farklı noktada yeni arızalar oluşmakta ve bu durum sürekli tekrar edebilmektedir. Bu durum belli bir noktadan sonra teknik ve ekonomik olarak Su İdaresi için işletme maliyetinin artması, su kesintilerinin sıklaşması ve normal işletme koşullarının bozulması anlamı taşımaktadır.

Başka bir örnek vermek gerekirse, boru malzemesinin çok eski olduğu ve basınç dayanımının azaldığı bölgelerde, basınç kontrol yönetiminin uygulanarak basınç, yönetmeliğin istediği 2.5 bar değeri alt sınır olmak kaydıyla abonelere sorunsuz bir şekilde su iletecek seviyeye kadar düşürülebilir. Özellikle abone sayısının çok olduğu ve buna bağlı olarak tüketimin fazla olduğu bölgelerde basınç alt sınırı çok düşürülemediği için sistemde basınç yönetimi uygulansa bile boruların bu basınca karşı dayanımı olmadığından arıza oranında beklenen azalma gözlenememektedir. Bunun sonucu olarak basınç yönetiminden beklenen fayda elde edilememektedir.

Literatürde yapılan çalışmalarda, su kayıp yönetiminde ve fiziksel kayıpların azaltılmasında uygulanacak stratejinin ve yöntemin veya aracın belirlenmesinde, sistem işletme koşulları, teknik alt yapı ve personel durumu, su kayıp oranı gibi parametrelerin yanı sıra ekonomik analizin de bir değişken olarak göz önüne alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Özellikle uluslararası literatürde dağıtım sistemlerinin performansının izlenmesi ve değerlendirilmesinde “*Altyapı Kaçak İndeksi*” kullanılmaktadır ((Farley vd., 2008; Fallis vd., 2011). Bu indeks gelişmiş ve gelişmekte olan Ülkelerde yer alan dağıtım sistemleri için 4 sınıf tanımlanmış ve çeşitli önerilerde bulunmuştur. Yapılan öneriler incelendiğinde özellikle kayıpların azaltılması için sistemin iyileştirilmesinde yapılacak yatırımların ekonomik olması ve bu yatırımlardan elde edilecek faydanın analiz edilmesi vurgulanmaktadır.

Fiziksel kayıpların analizinde önerilen 4 temel bileşenin uygulanması durumunda yapılacak ilk yatırım maliyetleri kıyaslandığında Su İdaresi için en fazla maliyet oluşturan bileşenin boru malzemesi olduğu bilinmektedir. Çünkü bu bileşende sisteme ait tüm enstrümanların (boru, vana, servis bağlantısı vb.) yenilenmesi çok ciddi yatırımlar gerektirmektedir.

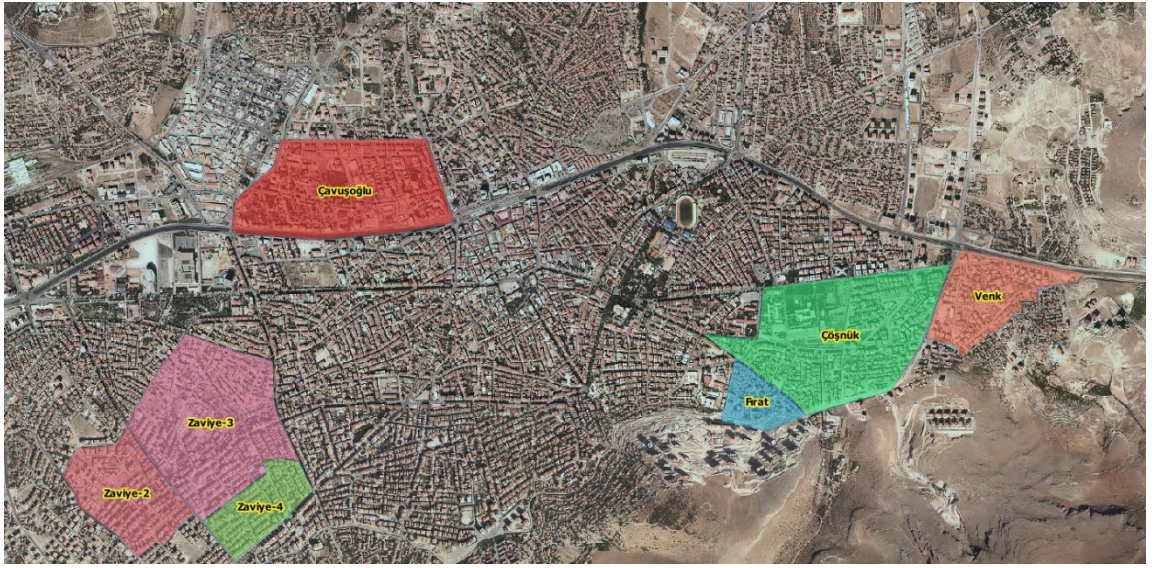
Bu nedenle, bir su dağıtım sisteminde su kayıp yönetiminde ve fiziki kayıpların azaltılmasında “ boru malzemesi yönetimi” bileşeninin uygulanmasına karar vermek için aşağıda verilen başlıklar detaylı bir analiz ile değerlendirilmelidir. Yani bir “Neden Şebeke Rehabilitasyonu Uygulanmalı?” sorusuna cevap aranmalıdır.

- Mevcut şebeke boru elemanlarının fiziksel durumu,
- Mevcut şebeke koşullarında işletme sorunları,
- Mevcut şebeke koşullarında arıza oranları, arıza türleri ve arıza yerleri
- Mevcut şebeke koşullarında su kayıp oranları,
- Mevcut şebeke koşullarında işletme maliyeti,
- Mevcut şebeke koşullarında su kayıp önleme yöntemlerinin uygulanmasında yaşanan sorunlar, yapılan yatırımlar ve elde edilen kazanımlar,
- Şebeke rehabilitasyonu için tüm bileşenler göz önüne alınarak ekonomik analiz,
- Şebeke rehabilitasyonu sonucunda beklenen faydalar (ekonomik, işletme çalışmalarının iyileştirilmesi, su kayıp ve arıza oranında azalma vb.).

Tez çalışmasının bu bölümünde pilot bir alt ölçüm bölgesi için yukarıda verilen başlıklar tek tek analiz edilecek ve alt ölçüm bölgelerinden alınan gerçek saha verileri temel alınarak elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

6.3.1. Rehabilitasyonu Yapılan İzole Alt Ölçüm Bölgelerinde Mevcut Şebeke Koşullarının Değerlendirilmesi

Uygulama alanında, boru malzemesinin tamamen değiştirilmesine karar vermek için mevcut şebeke koşullarının iyi bir şekilde analiz edilmesi gerektiği daha önceden de vurgulanmıştı. Bu bölümde uygulama alanında seçilen ve Şekil 6.14'te verilen pilot alt ölçüm bölgeleri (Battalgazi (Eski Malatya), Zaviye, Çavuşoğlu, Fırak-Çöşnük-Venk) için mevcut durum analizi yapılmıştır.



Şekil 6.14. Şebeke rehabilitasyonu için seçilen alt ölçüm bölgeleri

Mevcut şebeke boru elemanlarının fiziksel durumu ve işletme sorunları

Şebeke rehabilitasyonu çok ciddi yatırımlar gerektirdiği ve yapılan yatırımlardan maksimum oranda fayda elde etmek için mevcutta en kötü şebeke koşullara sahip bölgelerin seçilmesi uygun olacaktır. Bunu anlamak ve değerlendirme yapmak için mevcut şebeke elemanlarının fiziksel durumları ve arıza oranları analiz edilmelidir. Uygulama alanında seçilen pilot bölgelerin mevcut fiziksel durumları incelenmiş, diğer bölgelere göre kıyaslanmış ve değerlendirme yapılmıştır. Bunun için pilot bölgelerde hizmet veren boru elemanlarına ait metrajlar saha verileri yardımıyla toplanmıştır (Çizelge 6.7 ve 6.8) (MASKİ, 2018).

Çizelge 6.7 Pilot bölgelerde şebeke bilgileri

ÖAB	Toplam Şebeke Uzu.(m)	PVC (m)	AÇB (m)	ÇELİK (m)	DÜKTİL (m)	PIK (m)	PE (m)
BATTALGAZİ ESKİ	20615	10347	10268				
BATTALGAZİ YENİ	16972				16972		
ÇAVUŞOĞLU YENİ	11162				11162		
ÇAVUŞOĞLU ESKİ	16359	7429	4293	593		4038	6
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK YENİ	20356				20356		
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK ESKİ	33000	16709	7358	5069		3864	
ZAVİYE YENİ	19804				19804		
ZAVİYE ESKİ	33159	12848	6027	2677		11466	141
Malatya Merkez	1700000						

Çizelge 6.8 Pilot bölgelerde boru çapına göre şebeke uzunlukları

ÖAB	Boru çapına göre boru uzunlukları (m)				
	Boru çapı <100 mm	Boru çapı 100 -150 mm	Boru çapı 150-200	Boru çapı 200-250	Boru çapı >250 mm
BATTALGAZİ ESKİ	350.9	11,818	2,716	1,804	3,927
BATTALGAZİ YENİ		8173	4214	1224	3361
ÇAVUŞOĞLU YENİ	7,641	1,573	1,353	495	101
ÇAVUŞOĞLU ESKİ	10075.0	3200	1733	674	677
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK YENİ	11487	3,224	4,251	83	1,311
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK ESKİ	1190	18369	3776	798	8874
ZAVİYE YENİ		11,304	5,250	2,389	861
ZAVİYE ESKİ	9399.0	17819	817	1004	4120

Çizelge 6.7'e göre, pilot bölgelerde eski sistemde farklı zamanlarda döşenmiş farklı boru malzemesi yer almakta, özellikle Battalgazi ÖAB'de eski sistemde AÇB boru oranının yüksek bir seviyede olduğu görülmektedir. Boru malzemesinin ve yaşının değişkenlik gösterdiği sistemlerde, borunun çevresel ve işletme faktörleri gibi dış etkenlere karşı dayanımı azalmakta ve buna bağlı olarak arıza riski artmaktadır. Ayrıca, bu tür eski sistemlerde borular farklı tarihler döşendiğinden bazı sokaklarda mükerrer hatlar oluşmakta ve hali hazırda hizmet vermektedir. Bu tür sistemlerde, boru elemanlarının koordinatlı olarak yerinin bilinmemesi, vana elemanlarının yerinin bilinmemesinden dolayı su kesintisinin mahalle bazlı uygulanması, sokakta birden fazla hat geçmesi durumunda kaçak kullanım/abone kaydı olmayan tüketimlerin artması, su kayıpların izlenmesi için kontrol/ölçüm araçlarından beklenen faydanın elde edilememesi, farklı yaşlarda ve malzemede mükerrer boru olan sokaklarda sürekli boru arızasının gözlenmesi ve arıza onarımı için kazı yapılması gibi şebeke işletme ve yönetiminde önemli zorluklar ortaya çıkmakta ve şebeke işletme maliyeti artmaktadır.

Eski sistemlerde yaşanan diğer önemli bir sorun şebeke ve detaylarının sayısal ortamda ve koordinatlı bir şekilde olmayışı gösterilebilir. Büyük sistemlerde şehrin gelişim durumuna göre farklı dönemlerde borular döşendiği, şebeke planları sadece kâğıt ortamında saklandığı ve sadece o dönemdeki ilgili çalışanlar bilgi sahibi olduğu için Kurumsal anlamda sürdürülebilir şebeke yönetimini sağlamak çoğu durumda mümkün olmamaktadır. Şebeke planlarının sayısal ortamda olmayışı, sokaktaki boru özelliklerinin ve mükerrer hat sayısının ve yerlerinin bilinmemesi, borusu değiştirilen cadde sokak planlarının ve oranlarının net bir şekilde ortaya konulmaması, başka kurumların sokakta yaptığı kazı sırasında içmesuyu boru ve elemanlarına zarar vermesi ve buna bağlı olarak normal işletme faaliyetlerinin aksaması, şebeke karakteristiği hakkında değerlendirme yapabilmek ve ekonomik ömrünü doldurmuş boruların değiştirilmesine karar verebilmek için sahayı temsil edecek yeterli bilginin olmaması vb. olumsuzların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Mevcut şebeke koşullarında arıza oranları, arıza türleri ve arıza yerleri

Eski boru malzemesinin yoğunlukta olduğu sistemlerde mevcut şebeke koşullarında yukarıda verilen olumsuzlukların yanı sıra şebeke ve servis bağlantılarında yüksek arıza oranlarının gözlenmesi diğer önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi şebeke rehabilitasyonunun ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olduğu için mevcut şebeke hakkında detaylı bir değerlendirme yapmak ve saha verilerine göre yapılacak analiz ile gerekçeleri ortaya konulmalıdır. Şebeke sisteminde arıza oranı, işletme koşullarını ve maliyetini doğrudan etkilediği için dikkate alınması gereken bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde mevcut şebeke koşullarında geçmişte gözlenen ve kendiliğinden meydana gelen ve yüzeye çıkan (rapor edilen) şebeke ve servis bağlantısı arıza kayıtları analiz edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır (Çizelge 6.9 ve 6.10) (MASKİ, 2018).

Çizelge 6.9 Pilot bölgelerde gözlenmiş arıza oranları

ÖAB	Şebeke Arıza Sayısı	Vana Arıza Sayısı	Servis Bağlantı Arıza Sayısı	Şebeke Arıza Oranı (arıza sayısı/km/yıl)	Servis Bağlantı Arıza Oranı (arıza sayısı/km/yıl)
BATTALGAZİ (2016-2017)	294	9	232	7.13	5.62
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK (2006-2017)	608	65	1156	1.84	3.50
ÇAVUŞOĞLU (2006-2017)	330	19	414	1.00	1.25
ZAVİYE (2006-2017)	431	5	735	1.30	2.22
Malatya Merkez Şebeke (2006-2017)	14305	920	17254	1.07	1.29

Çizelge 6.10 Pilot bölgelerde boru türüne göre arıza sayıları

	Boru türüne göre arıza sayıları						
ÖAB	AÇB	GALVANİZ	PE	PİK	PPRC	PVC	ÇELİK
BATTALGAZİ (2016-2017)	78	87	42	4	123	197	4
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK (2006-2017)	335	354	129	206	222	513	5
ÇAVUŞOĞLU (2006-2017)	95	191	58	105	70	221	4
ZAVİYE (2006-2017)	141	227	97	222	149	325	5

Çizelge 6.8’de verilen arıza sayısı ve oranlarına göre uygulama alanı olan Malatya ili merkez su dağıtım sisteminde 2006-2017 yılları arasında toplamda 14305 şebeke arıza gözlenmiş olup bu sistem için yıllık arıza oranı (arıza sayısının şebeke hat uzunluğuna oranı, arıza sayısı/km/yıl) ise 1.07 olarak hesaplanmıştır. Bu da şebeke yıllık olarak her bir kilometre hat için 1.07 arıza gözlendiğini ifade etmektedir. Benzer şekilde Malatya merkez için servis bağlantılarında toplamda 17254 arıza meydana gelmiş ve 1.29 arıza oranı elde edilmiştir. Tablodaki sonuçlara göre pilot ÖAB’lerde de benzer şekilde servis bağlantı arıza oranının şebeke arıza oranına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalarda servis bağlantılarındaki arızaların toplam arıza içindeki oranının yaklaşık olarak %60 seviyesinde olduğu vurgulanmıştır (Nicolini, 2014; Aydoğdu, 2014). Aydoğdu (2014), Malatya su dağıtım şebekesinde 2006-2012 yılları arasında gözlenmiş arıza kayıtlarını incelemiş ve toplam arıza içinde servis bağlantılarında gözlen arızaların % 60 seviyesinde olduğunu belirtmiştir. Diğer taraftan Boztaş (2017) tarafından yapılan çalışmada, Malatya merkez dağıtım sisteminde 11 ÖAB’de yüzeye çıkmayan ve sızıntı tespit cihazları belirlenen arıza raporları analiz edilmiş, belirlenen toplam sızıntıların yaklaşık % 78 gibi yüksek bir oranını servis bağlantısı arızalarının oluşturduğu tespit edilmiş ve bu oranın yüksek olmasında “*Malzeme Kalitesi*” ve “*İşçilik Kalitesi*” parametrelerinin etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Uygulama alanında pilot bölge olarak seçilen Battalgazi ÖAB’de arıza kaydı sadece 2016-2017 yılları arasında olup bu periyotta şebeke arıza oranı 17.3 ve servis bağlantı arıza oranı 13.67 olarak hesaplanmıştır. Bu oranların oldukça yüksek bir seviyede olduğu ve buna bağlı olarak işletme maliyetinin arttırdığı söylenebilir. Bu bölgede arıza oranının yüksek olması, eski bir yerleşim yeri olmasında, bu bölgede 2014 yılına kadar su yönetiminin ilçe belediyesi tarafından kısıtlı imkanlarla yapılmış olması ve düzenli bakım faaliyetlerinin yapılmamış olmaması vb. faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan Malatya merkezde yer alan diğer üç pilot ÖAB için değerlendirme yapmak gerekirse, bu bölgelerdeki şebeke ve servis bağlantı arıza oranının Malatya su dağıtım sistemi arıza ortalamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde de eski boru oranı yüksek seviyede olup malzeme ve işçilik kalitesi de bu oranların ortalamanın üstünde çıkmasında etkili olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak tabloda verilen rakamlara göre arıza oranının yüksek olduğu ÖAB’lerde mevcut şebeke koşullarında normal işletme faaliyetlerinin sürdürülmesi oldukça güç ve maliyetli olduğu görülmektedir. Bu tür sistemlerde mevcut koşullarda sadece arıza meydana gelen kısımda boru değiştirme politikasının uygulanması, ya da bölge bazlı tüm bileşenleri ile şebeke rehabilitasyonu gibi iki farklı seçenek ortaya çıkmakta ve karşılaştırmalı ekonomik analiz yapılarak karar vermek gerekmektedir.

Uygulama alanında tabloda verilen pilot bölgelerde, eski şebeke koşullarında yukarıda verilen sorunların önemli bir kısmı gözlenmiş, saha verilerine arıza kayıtları dikkate alınmış ve analiz edilerek şebeke rehabilitasyonu için değerlendirmeye alınmış ve MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı tarafından rehabilitasyon programı uygulanmıştır. Uygulama alanında boru ve elemanlarının yenilenmesi çalışmaları MASKİ Genel Müdürlüğü tarafından tamamlandıktan sonra sistem performansının izlenmesi amacıyla “*Altyapı Kaçak İndeksi*” olarak ifade edilen gösterge hesaplanmıştır (Çizelge 6.9).

Altyapı Kaçak İndeksi (ILI)

ILI, Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından su kayıplarının değerlendirilmesi amacıyla önerilen ve literatürde de uygulanan pratik bir performans göstergesi olarak ifade edilebilir. ILI, mevcut sistem basıncı altında, aktif sızıntı kontrolü, tamir hızı-kalitesi ve boru malzemesi yönetiminin ölçüsünü temsil eden bir performans göstergesidir. ILI, yıllık fiziki kayıpların yıllık kaçınılmayan kayıplara oranı şeklinde hesaplanmaktadır (Farley vd., 2008).

Bilindiği gibi herhangi bir sistemde veya yeni boru ve elemanları değiştirilmiş sistemde dahi sızıntılar meydana gelmekte ve bu sızıntılar tamamen engellenemez. Dağıtım sistemlerinde meydana gelen bu tür sızıntılar “*kaçınılmayan kayıplar*” olarak ifade edilmektedir (Farley vd., 2008). Özellikle yeni sistemlerde, boruların taşınması ve istiflenmesi sırasında meydana gelen küçük çatlaklar, boru malzemesi yerleştirilirken yatak malzemesinin serilmesinde kötü işçilik vb. hatalardan dolayı bu tür kayıplar gözlenebilmektedir. İyi yönetilen bir sistemde, yıllık kaçınılmayan (kaçınılmaz) fiziki kayıp (UARL) değeri, teknik olarak en düşük yıllık fiziki kayıp olarak ifade edilebilir. ILI değeri boyutsuz, UARL değeri ise boyutludur. Yıllık fiziki kayıp hacmi (YFKH)= Sisteme giren su hacmi (SGSH)- Yasal Tüketim (YT)-Ticari kayıp hacmi (TGH) şeklinde bulunabilir. UARL, basıncı hesaba katan bir denklem ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Farley vd., 2008).

$$UARL=(18*L_m+0.8*N_c+25*L_p)*P \quad (6.1)$$

L_m ; ana hat uzunluğu (m), N_c ; servis bağlantılarının sayısı, L_p ; toplam özel boru uzunluğu, mülk sınırından müşteri sayacına kadar (m), P ; ortalama basınç yüksekliği (m) olarak tanımlanabilir. UARL denkleminde, uygulamadaki pratik sınırlamalar sistemin en az 3000 bağlantıya ve en az 25 m basınca sahip olmasıdır (Farley vd., 2008). Herhangi bir su dağıtım sistemi için hesaplanan ILI değerinin değerlendirilmesinde Çizelge 6.12’de verilen sınır değerleri ve tanımlanan sınıflar kullanılmaktadır.

Çizelge 6.11 Çavuşoğlu ÖAB rehabilitasyon sonunda performansı (MASKİ, 2018)

GİRİŞ VERİLERİ			IWA ÇIKTILARI		
Zaman aralığı	30	gün			
Başlangıç tarihi	Kas.17		<i>Şebeke verileri</i>		
Bitiş tarihi	Ara.17		Bağlantı yoğunluğu	301.18	n°/Km
<i>Şebeke verileri</i>			<i>Sistemin hidrolik verileri</i>		
Genel şebeke uzunluğu	11	km	Sistem giriş hacmi (SIV)	58.74	m ³
Özel müşteri bağlantılarının uzunluğu	6	km	<i>Su tüketim verileri</i>		
Toplam kullanıcılar	3313	-	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	16.63	m ³
Endüstriyel kullanıcılar	0	-	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	0.88	m ³
<i>Sistemin hidrolik verileri</i>			İzinsiz Tüketim	0.26	m ³
Ortalama sistem basıncı	50.00	m	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	2.30	m ³
Sistem giriş hacmi (SIV)	58.74	m ³	İdari Kayıplar	2.56	m ³
Diğer sistemlere iletilen hacim	0.00	m ³	Günlük gerçek kayıplar	439.61	m ³ /gün
<i>Su tüketim verileri</i>			Şebekede km başına günlük gerçek kayıplar	39.96	m ³ /km/gün
Faturalı sayaçlı tüketim	16.25	l/s	Fiziki Kayıplar	22.45	%
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	42.11	m ³	<i>IWA indeksleri</i>		
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	0.00	m ³	UARL	1.91	l/s
Faturasız sayaçlı tüketim	1.50	[% VIS]			
Yetkisiz faturasız tüketim	0.44	[% VIS]	ILI	2.67	
Abone ölçüm hataları	3.92	[% VIS]			

Çizelge 6.12 Dağıtım sistemleri için ILI sınır değerleri (Farley vd., 2008)

Gelişmekte olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Sınıf	Hesap ILI	Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Gerçek Kayıp Yönetim Performansının Genel Tanımı
ILI Sınıf Aralığı				
ILI < 4	ILI < 2	A		Daha ileri kayıp azaltımı eksiklikler yok ise ekonomik olmayabilir; uygun maliyetli ilerlemenin belirlenmesi için dikkatli analiz gerekmektedir.
ILI < 8	2 < ILI < 4	B	2.67	İşaretli ilerlemeler için potansiyel; basınç yönetimini göz önünde bulundur, daha iyi aktif sızıntı kontrolü pratikleri, ve daha iyi şebeke bakımı.
8 < ILI < 16	4 < ILI < 8	C		Zayıf sızıntı kaydı; yalnızca su bol ve ucuz ise tolerans gösterilebilir; öyle olsa bile, sızıntının doğasının ve seviyesinin analizi, sızıntı azaltım çalışmalarının yoğunlaştırılması.
ILI > 16	ILI > 8	D		Kaynakların çok verimsiz kullanımı; sızıntı azaltım programları zorunlu ve yüksek öncelikli.

Çizelge 6.13 Zaviye ÖAB rehabilitasyon sonunda performansı (MASKİ, 2018)

GİRİŞ VERİLERİ			IWA ÇIKTILARI		
Zaman aralığı	28	gün			
Başlangıç tarihi	Nisan.17		<i>Şebeke verileri</i>		
Bitiş tarihi	Mayıs.17		Bağlantı yoğunluğu	698.80	n°/Km
<i>Şebeke verileri</i>			<i>Sistemin hidrolik verileri</i>		
Genel şebeke uzunluğu	19.804	km	Sistem giriş hacmi (SIV)	196.010	m ³
Özel müşteri bağlantılarının uzunluğu	17.565	km	<i>Su tüketim verileri</i>		
Toplam kullanıcılar	13839	-	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	40.950	m ³
Endüstriyel kullanıcılar	0	-	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	2.940	m ³
<i>Sistemin hidrolik verileri</i>			İzinsiz Tüketim	860	m ³
Ortalama sistem basıncı	46	m	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	7.680	m ³
Sistem giriş hacmi (SIV)	196.010	m ³	İdari Kayıplar	8.550	m ³
Diğer sistemlere iletilen hacim	0	m ³	Günlük gerçek kayıplar	982,250	m ³ /gün
<i>Su tüketim verileri</i>			Şebekede km başına günlük gerçek kayıplar	49.60	m ³ /km/gün
Faturalı sayaçlı tüketim	59.82	l/s	Fiziki Kayıplar	15.03	%
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	155.050	m ³	<i>IWA indeksleri</i>		
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	0	m ³	UARL	6.18	l/s
Faturasız sayaçlı tüketim	1.50	[% VIS]			
Yetkisiz faturasız tüketim	0.44	[% VIS]	ILI	1.84	
Abone ölçüm hataları	3.92	[% VIS]			

Çizelge 6.14 Dağıtım sistemleri için ILI sınır değerleri (Farley vd., 2008)

Gelişmekte olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Sınıf	Hesap ILI	Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Gerçek Kayıp Yönetim Performansının Genel Tanımı
ILI Sınıf Aralığı				
ILI < 4	ILI < 2	A	1.84	Daha ileri kayıp azaltımı eksiklikler yok ise ekonomik olmayabilir; uygun maliyetli ilerlemenin belirlenmesi için dikkatli analiz gerekmektedir.
ILI < 8	2 < ILI < 4	B		İşaretli ilerlemeler için potansiyel; basınç yönetimini göz önünde bulundur, daha iyi aktif sızıntı kontrolü pratikleri, ve daha iyi şebeke bakımı.
8 < ILI < 16	4 < ILI < 8	C		Zayıf sızıntı kaydı; yalnızca su bol ve ucuz ise tolerans gösterilebilir; öyle olsa bile, sızıntının doğasının ve seviyesinin analizi, sızıntı azaltım çalışmalarının yoğunlaştırılması.
ILI > 16	ILI > 8	D		Kaynakların çok verimsiz kullanımı; sızıntı azaltım programları zorunlu ve yüksek öncelikli.

Çizelge 6.15 Fırat ÖAB rehabilitasyon sonu performansı (MASKİ, 2018)

GİRİŞ VERİLERİ			IWA ÇIKTILARI		
Zaman aralığı	28	gün			
Başlangıç tarihi	Nisan.17		<i>Şebeke verileri</i>		
Bitiş tarihi	Mayıs.17		Bağlantı yoğunluğu	33.82	n°/Km
<i>Şebeke verileri</i>			<i>Sistemin hidrolik verileri</i>		
Genel şebeke uzunluğu	17.75	km	Sistem giriş hacmi (SIV)	92.980	m ³
Özel müşteri bağlantılarının uzunluğu	5.95	km	<i>Su tüketim verileri</i>		
Toplam kullanıcılar	5603	-	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	30.490	m ³
Endüstriyel kullanıcılar	0	-	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	1.390	m ³
<i>Sistemin hidrolik verileri</i>			İzinsiz Tüketim	410	m ³
Ortalama sistem basıncı	56	m	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	3.640	m ³
Sistem giriş hacmi (SIV)	92.980	m ³	İdari Kayıplar	4.050	m ³
Diğer sistemlere iletilen hacim	0	m ³	Günlük gerçek kayıplar	894.41	m ³ /gün
<i>Su tüketim verileri</i>			Şebekede km başına günlük gerçek kayıplar	54.05	m ³ /km/gün
Faturalı sayaçlı tüketim	25.83	l/s	Fiziki Kayıplar	26.93	%
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	62.490	m ³	<i>IWA indeksleri</i>		
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	0.0	m ³	UARL	3.15	l/s
Faturasız sayaçlı tüketim	1.50	[% VIS]			
Yetkisiz faturasız tüketim	0.44	[% VIS]	ILI	3.28	
Abone ölçüm hataları	3.92	[% VIS]			

Çizelge 6.16 Dağıtım sistemleri için ILI sınır değerleri (Farley vd., 2008)

Gelişmekte olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Sınıf	Hesap ILI	Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Gerçek Kayıp Yönetim Performansının Genel Tanımı
ILI Sınıf Aralığı				
ILI < 4	ILI < 2	A		Daha ileri kayıp azaltımı eksiklikler yok ise ekonomik olmayabilir; uygun maliyetli ilerlemenin belirlenmesi için dikkatli analiz gerekmektedir.
ILI < 8	2 < ILI < 4	B	3.28	İşaretli ilerlemeler için potansiyel; basınç yönetimini göz önünde bulundur, daha iyi aktif sızıntı kontrolü pratikleri, ve daha iyi şebeke bakımı.
8 < ILI < 16	4 < ILI < 8	C		Zayıf sızıntı kaydı; yalnızca su bol ve ucuz ise tolerans gösterilebilir; öyle olsa bile, sızıntının doğasının ve seviyesinin analizi, sızıntı azaltım çalışmalarının yoğunlaştırılması.
ILI > 16	ILI > 8	D		Kaynakların çok verimsiz kullanımı; sızıntı azaltım programları zorunlu ve yüksek öncelikli.

Çizelge 6.17 Battalgazi ÖAB rehabilitasyon sonu performansı (MASKİ, 2018)

GİRİŞ VERİLERİ			IWA ÇIKTILARI		
Zaman aralığı	30	gün			
Başlangıç tarihi	Nisan.17		<i>Şebeke verileri</i>		
Bitiş tarihi	Mayıs.17		Bağlantı yoğunluğu	158.52	n°/Km
<i>Şebeke verileri</i>			<i>Sistemin hidrolik verileri</i>		
Genel şebeke uzunluğu	16.97	km	Sistem giriş hacmi (SIV)	54.430	m ³
Özel müşteri bağlantılarının uzunluğu	6.04	km	<i>Su tüketim verileri</i>		
Toplam kullanıcılar	2690	-	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	14.100	m ³
Endüstriyel kullanıcılar	0	-	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	820	m ³
<i>Sistemin hidrolik verileri</i>			İzinsiz Tüketim	240	m ³
Ortalama sistem basıncı	50	m	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	2.130	m ³
Sistem giriş hacmi (SIV)	54.430	m ³	İdari Kayıplar	2.370	m ³
Diğer sistemlere iletilen hacim	0	m ³	Günlük gerçek kayıplar	363.69	m ³ /gün
<i>Su tüketim verileri</i>			Şebekede km başına günlük gerçek kayıplar	21.43	m ³ /km/gün
Faturalı sayaçlı tüketim	15.56	l/s	Fiziki Kayıplar	20.04	%
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	40.330	m ³	<i>IWA indeksleri</i>		
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	0.0	m ³	UARL	1.51	l/s
Faturasız sayaçlı tüketim	1.50	[% VIS]			
Yetkisiz faturasız tüketim	0.44	[% VIS]	ILI	2.79	
Abone ölçüm hataları	3.92	[% VIS]			

Çizelge 6.18 Dağıtım sistemleri için ILI sınır değerleri (Farley vd., 2008)

Gelişmekte olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Sınıf	Hesap ILI	Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Gerçek Kayıp Yönetim Performansının Genel Tanımı
ILI Sınıf Aralığı				
ILI < 4	ILI < 2	A		Daha ileri kayıp azaltımı eksiklikler yok ise ekonomik olmayabilir; uygun maliyetli ilerlemenin belirlenmesi için dikkatli analiz gerekmektedir.
ILI < 8	2 < ILI < 4	B	2.79	İşaretli ilerlemeler için potansiyel; basınç yönetimini göz önünde bulundur, daha iyi aktif sızıntı kontrolü pratikleri, ve daha iyi şebeke bakımı.
8 < ILI < 16	4 < ILI < 8	C		Zayıf sızıntı kaydı; yalnızca su bol ve ucuz ise tolerans gösterilebilir; öyle olsa bile, sızıntının doğasının ve seviyesinin analizi, sızıntı azaltım çalışmalarının yoğunlaştırılması.
ILI > 16	ILI > 8	D		Kaynakların çok verimsiz kullanımı; sızıntı azaltım programları zorunlu ve yüksek öncelikli.

Tablolarda ÖAB’ler için hesaplanan ILI değerleri incelendiğinde, şebeke rehabilitasyonu tamamlanan bölgelerden, Zaviye ÖAB “*A sınıfı*” olarak ifade edilen grupta yer alırken diğer ÖAB’lerin “*B sınıfı*” olarak çıktığı görülmektedir. ILI değerine göre tanımlanan gruplara bakıldığında rehabilitasyonu tamamlanan bölgelerin A sınıfında yer alması beklenebilir. Ancak her ne kadar bir ÖAB’de boru ve elemanları değiştirilmiş olsa da işçilik ve boru malzemesi kalitesi küçük sızıntıların oluşmasına ve fiziksel kayıp hacminin artmasına neden olabilir. Şebeke yenileme çalışmalarında, servis bağlantısı olarak ifade edilen bağlantının sokaktaki ana hattan abone sayacına kadar yenilenmesi gerekmektedir. Ancak saha uygulamalarında genelde parsel içinde kalan boru elemanlarının değiştirilmesi için vatandaş tarafından izin verilmemekte ve bu noktalarda eski borular hizmet verdiği için arızalar gözlenebilmektedir. Bu da sistemde fiziksel kayıpları arttırmakta ve ILI değerinin B sınıfında yer almasına neden olabilmektedir. Ancak bu bölgelerde ek önlemler (basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü vb.) alınarak sistem performansı iyileştirilebilir. Çalışma kapsamında rehabilitasyonu tamamlanan ÖAB’lerde sistem hizmete girdikten sonra gözlenen ve kendiliğinden meydana gelen arıza kayıtları elde edilmiş ve Çizelge 6.19’da verilmiştir.

Çizelge 6.19 ÖAB’lerde şebeke rehabilitasyonundan sonra arıza bilgileri (MASKİ,2018)

ÖAB	Şebeke Arıza Sayısı	Vana Arıza Sayısı	Servis Bağlantı Arıza Sayısı	Şebeke Arıza Oranı (arıza sayısı/km/yıl)	Servis Bağlantı Arıza Oranı (arıza sayısı/km/yıl)
BATTALGAZİ	29	-	21	1.17	0.8
FIRAT-ÇÖŞNÜK- VENK	2	-	14	0.6	0.9
ÇAVUŞOĞLU	11	-	13	0.45	0.5
ZAVİYE	5	-	26	0.13	0.67

Çizelge 6.17’de verilen sonuçlara göre rehabilitasyondan hizmete alınan sistemlerde arızalar gözlenmiş olup bu arızaların çeşitli dış faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi saha uygulamasında abone bağlantıları vatandaş izin vermediği için parsel sınırına kadar değiştirilmekte bu da eski boruların hizmet verdiği noktalarda arızaların oluşmasına neden

olmaktadır. Diğer taraftan işçilik ve kullanılan boru malzemesi kalitesi boru arızası üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Tabloda verilen arıza oranlarının şebeke rehabilitasyonu yapılmadan önceki dönemdeki arıza oranları ile kıyaslandığında arıza oranında önemli azalmayı olduğu görülmektedir. Bu da sistemin işletme maliyetinin ve su kayıp oranının azalması anlamı taşımaktadır.

Şebeke rehabilitasyonu yapılarak oluşturulan ÖAB’de işletme maliyetinin artmasında etkili bileşenler temel olarak;

a) Maliyetler

- Rehabilitasyonu tamamlanan sistemde meydana gelen arızaların tamir ve onarımı için ortaya çıkan tüm maliyetler
 - Kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (217.60 TL/kazı)
 - Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Asfalt / kaplama maliyeti (500 TL/kazı)
- Boru malzemesi ve ekipmanlarının maliyeti; Rehabilitasyonu tamamlanan Sistemde boru ve elemanlarının yenilenmesi sonucu ortaya çıkan ilk yatırım maliyeti (Çizelge 6.21)
- Rehabilitasyonu tamamlanan Sistemin izlenmesi için yerleştirilen ölçüm cihazları maliyetleri
- Rehabilitasyonu tamamlanan sistemde meydana gelen arızaların tamir ve onarımı için ortaya çıkan tüm maliyetler
 - Kazı ve dolgu maliyeti (500 TL/dolgu)
 - İş makinesi çalışma süresine bağlı maliyet (217.60 TL/kazı)
 - Arıza onarımı için personel/saat maliyeti (180.06 TL/kazı)
 - Asfalt / kaplama maliyeti (500 TL/kazı)
 - Boru malzemesi ve ekipmanlarının maliyeti (Çizelge 6.18-6.20)

Çizelge 6.20 Battalgazi ÖAB rehabilitasyon sonrası oluşan arıza ve maliyetleri

Arıza Türü	Boru Türü	Boru Çapı	Kazı	Kazı En-Boy		Kullanılan Malzemeler	Maliyet
ABONE	PE	32	KALDIRIM	10	0.70	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	2	1	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	KALDIRIM	2	0.70	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	PE	32	YOK			1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	TOPRAK	2	0.7	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	ASFALT	3	0.7	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	2	1	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	KALDIRIM	8	0.7	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	PE	32	TOPRAK	8	0.7	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	TOPRAK	2	0.7	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	TOPRAK	2	0.7	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	YOK			1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	2	1	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	KALDIRIM	1	1	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	PE	32	YOK			1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	0.5	0.5	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	PE	32	ASFALT	1	1	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	1	1	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	PE	32	TOPRAK	2	1	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
						TOPLAM	29,608.43 ₺

Çizelge 6.21 Fırat ÖAB rehabilitasyon sonrası oluşan arıza ve maliyetleri

Arıza Türü	Boru Türü	Boru Çapı	Açıklama	Kullanılan Malzemeler	Maliyet
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 ADET ŞİBEL VANA	1,627.00 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	YENİLEME	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
				TOPLAM	15,678.13 ₺

Çizelge 6.22 Zaviye ÖAB rehabilitasyon sonrası oluşan arıza ve maliyetleri

Arıza Türü	Boru Türü	Boru Çapı	Açıklama	Kullanılan Malzemeler	Maliyet
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ŞEBEKE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç tepe musluğu	1,576.97 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
ABONE	32	PE	TAMİRİ	1 adet sarı piriç kaprin	1,553.37 ₺
				Toplam	48,296.07 ₺

Çizelge 6.23 Rehabilitasyonu yapılan ÖAB’lerde ilk yatırım maliyeti (MASKİ, 2018)

ÖAB	Proje Bedeli (TL)	Proje Kapsamında Döşenen Boru Metrajı (km)	İlk Yatırım Maliyeti (TL/km)
BATTALGAZİ	7.938.333,00	16.97	467,786
FIRAT-ÇÖŞNÜK-VENK	5.146.191,00	17.75	289,926
ZAVİYE	4.598.460,00	19.80	231,942

Arıza onarımı için ortaya çıkan maliyetler hesaplanacak olursa, Battalgazi bölgesi için yapılan saha çalışmalarında toplam 19 arıza (şebeke + servis bağlantı) için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 29,608.43 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.21). Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1558.33 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir.

Uygulama bölgesinde toplam şebeke uzunluğu 16.97 km olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1558.33/16.97=0.09183$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır. Battalgazi bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 47,836.53 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplamda 16.97 km olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($47,836.53/16.97=2.82$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir.

Arıza onarımı için benzer hesaplama Fırat ÖAB için yapılmış, 10 arıza (şebeke + servis bağlantı) için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 15,678.13 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.19). Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1567.84 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir. Yukarıda yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 2.911 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilebilir.

Fırat ÖAB’de toplam şebeke uzunluğu 17.75 km olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1567.84/17.75=0.0883$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır. Battalgazi bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 47,836.53 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplamda 17.75 km olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($47,836.53/16.97=2.69$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir.

Zaviye ÖAB için yapılan hesaplamada, 31 arıza (şebeke + servis bağlantı) için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 48,296.07 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.20). Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1557.94 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir.

Zaviye ÖAB’de toplam şebeke uzunluğu 19.80 km olduğu göz önüne alınırsa, birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli ($1557.94/19.80=0.0782$ TL/arıza/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanır. Battalgazi bölgesi için yapılan fiziki kayıp ve debimetre çalışmalarda harcanan miktar 47,836.53 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplamda 19.80 km olan şebekeye bölünürse birim boru uzunluğu için ilk yatırım bedeli ($47,836.53/16.97=2.41$ TL/hat uzunluğu (m)) şeklinde hesaplanabilir (Çizelge 6.24).

Çizelge 6.24 Rehabilitasyonu yapılan ÖAB’lerde maliyetler (MASKİ, 2018)

ÖAB	Hat uzu. (eski-yeni) (m)		Yıllık arıza oranı (Reh.öncesi) (arıza/km/yıl)	Yıllık arıza oranı Maliyeti (TL/arıza/m)	Yıllık arıza oranı (Reh.sonrası) (arıza/km/yıl)	Yıllık arıza oranı ve Maliyeti (TL/arıza/m)
B.GAZİ	20615	16972	12.75	0.0756	1.97	0.09183
FIRAT	33000	20356	5.34	0.0545	1.5	0.08832
ZAVİYE	33159	19804	3.52	0.0467	0.90	0.0782

Çalışma alanında pilot ÖBA’lerde rehabilitasyondan önce ve sonrası için sızan su maliyetleri hesaplanmıştır. Pilot bölgelerden sadece Battalgazi ÖAB’de rehabilitasyondan önce ILI tablosu kayıtları mevcut olup gerçek kayıpları bu verilere göre doldurulmuştur. Diğer iki ÖAB’de rehabilitasyondan önce ILI değeri hesaplanmadığından dolayı bu bölgelerde gerçek kayıpların hesaplanmasında rehabilitasyon öncesi ve sonrası arıza oranları göre katsayı hesaplanmış ve rehabilitasyon sonraki gerçek kayıplar bu katsayı ile çarpılarak önceki duruma ait gerçek kayıp değerleri bulunmuştur (Çizelge 6.25).

Uygulama alanında 2017 fiyatlarına göre birim metreküp suyun fatura bedeli $2.97/m^3$ ’tür. Ancak bu bedel abonelere iletilen ve aboneler tarafından kullanılan suyun bedelini temsil ettiği için, fiziki kaybın bedeli için bu rakamı doğrudan almak gerçeği yansıtmayacaktır. Bu çalışma kapsamında birim metreküp fiziki kayıp hacminin sisteme kazandırılması ile elde edilecek fayda hesabı için fatura bedelinin % 15’i alınmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında sisteme kazandırılan birim metreküp fiziki kaybın parasal karşılığı ($2.98 \times 0.15 = 0.447 \text{ TL}/m^3$) olarak alınmıştır.

Çizelge 6.25 Rehabilitasyonu yapılan ÖAB’lerde sızan su maliyetleri (MASKİ, 2018)

ÖAB	Hat uzun. (eski-yeni) (m)		Rehabilitasyon Öncesi		Rehabilitasyon Sonrası	
			Şebekede gerçek kayıplar (m ³ /km/gün)	Sızan Suyun Maliyeti (TL/km/gün)	Şebekede gerçek kayıplar (m ³ /km/gün)	Sızan Suyun Maliyeti (TL/km/gün)
B.GAZİ	20615	16972	230.70	103.12	21.43	9.43
FIRAT	33000	20356	207.55	92.77	54.05	24.16
ZAVİYE	33159	19804	225.24	100.68	49.60	22.17

Hesaplanan maliyet ve beklenen faydalar esas alınarak denklem (6.1) yardımıyla yapılan yatırımın dönüş süresi tespit edilmiştir. Uygulama alanında, Battalgazi ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 9-10 yıl, Fırat ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 12-13 yıl ve Zaviye ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 17-18 yıl arasında hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu geri dönüş sürelerinden de anlaşılacağı üzere, şebeke rehabilitasyonu ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla diğer yöntemlerin uygulanması öncelikli olmalı ve şebeke rehabilitasyonu seçeneği en son göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygulama alanında şebeke rehabilitasyonu yapılan bölgelerde geçmiş gözlenen arıza oranların oldukça yüksek olması, diğer yöntemlerin uygulanması ile istenen sonuçların elde edilememesi gibi nedenlerden dolayı MASKİ Genel Müdürlüğü tarafından rehabilitasyon seçeneği değerlendirilmiştir.

Şebeke rehabilitasyonu yapılan sistemlerde, uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinden elde edilen fayda, sisteme ait tüm bileşenlerin koordinatlı olarak bilinmesi, su kayıp oranlarının düşük seviyede olmasında dolayı enerji, su ve personele verimliliğinin sağlanması, su kayıp yönetiminde diğer yöntemlerin uygulanması ile daha kısa sürede beklenen faydanın elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı kentsel su yönetiminde uzun vadede önemli kazanımlar ve katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada su kayıplarının azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi için ÖAB oluşturulması ve bu ÖAB tasarımı ve uygulanması fayda maliyet analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Malatya ili merkez içmesuyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar ile temel olarak aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir;

ÖAB tasarımı ve uygulanması çalışmaları kapsamında;

- Literatürde verilen tasarım ölçütleri ve sınır değerleri esas alınarak uygulama alanında 33 ÖAB tasarımı gerçekleştirilmiş ve MASKİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu Daire Başkanlığı tarafından sahada uygulaması yapılmıştır.
- Uygulama alanında, şebeke borusu değiştirilmeden sadece izole edilen bölgeler ve sistemdeki tüm boru elemanları değiştirilerek oluşturulan bölgeler olmak üzere iki farklı ÖAB tasarımı ve saha uygulama gerçekleştirilmiştir.
- Oluşturulan ÖAB’lerde sistem giriş debisi ve hacmi anlık olarak izlenmekte ve sisteme ait bileşenlere ait veriler doğru ve sürdürülebilir bir şekilde temin edildiği için her bir ÖAB için su bütçesi kolaylıkla oluşturulmaktadır.
- ÖAB olarak planlanmış bölgelerde ilk ölçüm döneminde su kayıp oranları genelde % 40-80 aralığında değişmektedir. Bu bölgelerde su kayıp oranları düzenli olarak izlenmiş ve belirlenen zaman aralığında sistem performansında önemli iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir.
- Şebeke borusu değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’lerde izole çalışmaları sırasında boru değişim oranı genel olarak % 2 ile 13 aralığında değişmektedir. Oluşturulan bu bölgelerde şebeke ortalama yaşı ise genel olarak 10 ile 25 yıl aralığında değişmektedir.
- Böylece bu tür bölgelerde ÖAB tasarımı için şebeke ve elemanları düzenli olarak izlenmekte, sürekli ve uygulanabilir bir bakım-onarım stratejisi

izlenerek boruların hizmet ömrü içinde en az hasar ve su kaybı oluşması sağlanmaktadır.

- Sahada uygulanan ÖAB'ler su kayıp yönetiminde kısa bir zaman aralığında aşağıda verilen kazanımlar elde edilmiştir;
 - Rapor edilmeyen sızıntıların tespit edilmesi,
 - Basınç sorunu olan bölgelerde en uygun basınç yönetimi stratejisinin uygulanması,
 - Gelir getirmeyen su oranının düşürülmesinde her bir bölgeye özel yöntemin uygulanması,
 - Arıza onarımı için su kesinti programının sokak bazında uygulanması
 - Boru yenileme veya değiştirme stratejisi için öncelikli bölgelerin belirlenmesi,
 - İdari kayıp oranının düşürülmesi için sayaç kontrol ve değiştirme politikasının geliştirilmesi ve öncelikli bölgelerin belirlenmesi,
 - Aktif kaçak kontrolünün daha dar bölgede uygulanması, sahada sızıntıların yüksek doğruluk oranları ile yerinin tespit edilmesi.

ÖAB'lerde eski boru hatlarının iptali ve fayda maliyet analizinde çalışmaları kapsamında;

- Şebeke rehabilitasyonu yapılmayan, boru malzemesi değiştirilmeyen ve sadece izole vanalarıyla diğer şebeke bölgelerinden izole edilmiş Kavaklıbağ DMA pilot çalışma alanı olarak seçilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.
- Eski yerleşim yerlerinde farklı zamanlarda boru hatları döşenmiş, eski hatlar iptal edilmemiş olup bunlara ait sayısal haritalar oluşturulmadığından dolayı aynı cadde veya sokakta birden fazla hat hizmet verir duruma gelmiştir.
- Bu durum özellikle şebeke işletme çalışmasında abonelere suyun zamanında iletilememesi, su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmaması ve çoğu durumda kurum için gelir getirmeyen su oranının artması gibi sonuçları ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.
- Çok önceden iptal edilmiş olması gereken eski hat, üzerindeki birkaç abone aktarılamadığından dolayı bölgedeki diğer borulardan tecrit bir

şekilde çalışmaya devam etmiş ve sadece sınırlı sayıdaki aboneye su ilettiği belirlenmiş ve bölgede debimetre okumalarına göre minimum gece debisi ortalama 62 l/s olurken pik tüketim saatinde maksimum debi 82 l/s olarak tespit edilmiştir.

- Uygulama alanında eski hatlar iptal edilmiş ve bu hat üzerindeki aboneler yeni sisteme aktarıldıktan sonra minimum gece debisi izlenmiş ve Kavaklıbağ DMA bölgesinde bütün çalışma süresince bölgeye verilen su miktarı günlük ortalama 6000 m³ seviyelerinden günlük ortalama 2000 m³ seviyelerine düşürülmüştür. Buna göre bu bölgede günlük ortalama 4000 m³ su sisteme kazandırılmıştır.
- Çalışma alanında toplam şebeke uzunluğu 6233 m olduğu göz önünde bulundurulursa bu çalışmalar sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen 0.642 m³/gün/m şeklinde hesaplanmıştır. Sisteme kazandırılan birim metreküp fiziki kaybın parasal karşılığı 0.447 TL/m³ olarak belirlenmiştir.
- Uygulama alanında hat iptalleri için sahada yapılan çalışmalar, imalatlar ve işçilik kalemleri göz önüne alınarak birim hat uzunluğu başına düşen ilk yatırım maliyeti ve arıza onarım ve bakım maliyetleri toplamda 6.217 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilmiştir.
- Uygulama alanında Dabakhane ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 90-120 gün arasında hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi boru malzemesi değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’de yapılan ilk yatırım bedeli 2-3 ay gibi kısa sürede kendini amorti edeceği tahmin edilmektedir.

Şebeke borusu değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’lerde su kayıplarının azaltılması ve fayda maliyet analizinde çalışmaları kapsamında;

- Uygulama alanı olarak seçilen bölgede toplamda 3 adet izole alt ölçüm bölgesi (şebeke rehabilitasyonu yapılmadan) alt ölçüm bölgeleri oluşturulmuştur.
- Dabakhane ÖAB’de aktif sızıntı kontrolü yöntemleri uygulanmış ve şebeke hatları sadeleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda minimum gece debisi 18 l/s seviyelerine maksimum tüketim saati için pik debi ise 33 l/s

seviyelerine düşürülmüştür. Dabakhane ÖAB izolasyonu sağlanıp ölçüme başlandıktan sonra bölgeye günlük ortalama 3600 m³ su girişi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın henüz başlarındaki müdahalelerle bu debi ortalama 3300 m³ seviyelerine düşürülmüş olup uzun vadede bölgeye giren su debisi ortalama 2000 m³ seviyelerine kadar düşürülmüştür. Buna göre bölgede günlük ortalama 1600 m³ su tasarrufu sağlanmıştır.

- Bölgede birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen su 0.275 m³ /gün/m olarak elde edilmiştir. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen suyun bedeli 0.123 TL/m³/gün/m olarak hesaplanmıştır.
- Dabakhane bölgesi için yapılan saha çalışmalarında toplam 39 arıza için maliyet hesabı yapılmış ve harcanan miktar 61,952.03 TL olarak hesaplanmıştır. Bu toplam maliyet arıza sayısına oranlandığında arıza başına ortalama gider yaklaşık olarak 1588.51 TL/arıza şeklinde elde edilmiştir.
- Birim boru uzunluğu için arıza onarım bedeli 0.273 TL/arıza/hat uzunluğu (m) şeklinde hesaplanmıştır. Birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 8.496 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilmiştir.
- Uygulama alanında Dabakhane ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 90-120 gün arasında hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi boru malzemesi değiştirilmeden oluşturulan ÖAB’de yapılan ilk yatırım bedeli 3-4 ay gibi kısa sürede kendini amorti etmektedir.
- Benzer çalışma İstiklal ÖAB için yapılmış, bölgede günlük 1500 m³ kadar bir su tasarrufu sağlanmış, birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan ve tasarruf edilen su 0.124 m³ /gün/m şeklinde elde edilmiş, tasarruf edilen suyun bedeli 0.0554 TL/m³/gün/m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet toplamda 4.98 TL/hat uzunluğu (m) şeklinde elde edilmiştir. Uygulama alanında İstiklal ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 120-150 gün arasında hesaplanmıştır.

Şebeke borusu değiştirilerek oluşturulan ÖAB’lerde su kayıplarının azaltılması ve fayda maliyet analizinde çalışmaları kapsamında;

- Uygulama alanında seçilen pilot ÖAB’ler için şebeke borusu değiştirilmeden önce ve sonraki koşulları karşılaştırılmış, su kayıp ve arıza oranları değerlendirilmiş ve ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir.
- Pilot bölge olarak seçilen Battalgazi ÖAB’de arıza kaydı sadece 2016-2017 yılları arasında olup bu periyotta şebeke arıza oranı 7.13 ve servis bağlantı arıza oranı 5.62 olarak hesaplanmıştır.
- Diğer taraftan Malatya merkezde yer alan diğer üç pilot ÖAB için değerlendirme yapmak gerekirse, bu bölgelerdeki şebeke ve servis bağlantı arıza oranının Malatya su dağıtım sistemi arıza ortalamasından daha fazla olduğu görülmüştür.
- Rehabilitasyondan sonra hizmete alınan sistemlerde arızalar gözlenmiş olup bu arızaların çeşitli dış faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir. Arıza oranlarının şebeke rehabilitasyonu yapılmadan önceki dönemdeki arıza oranları ile kıyaslandığında arıza oranında önemli azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu da sistemin işletme maliyetinin ve su kayıp oranının azalması anlamı taşımaktadır.
- Pilot ÖAB’ler için ILI hesaplanmış ve Zaviye ÖAB “*A sınıfı*” olarak ifade edilen grupta yer alırken diğer ÖAB’lerin “*B sınıfı*” olarak çıktığı görülmüştür. Saha uygulamalarında genelde parsel içinde kalan boru elemanlarının değiştirilmesi için vatandaş tarafından izin verilmemekte ve bu noktalarda eski borular hizmet verdiği için arızalar gözlenebilmektedir. Bu da sistemde fiziksel kayıpları arttırmakta ve ILI değerinin B sınıfında yer almasına neden olabilmektedir.
- Uygulama alanında şebeke boru ve elemanları değiştirilen bölgeler için fayda maliyet analizi gerçekleştirilmiş ve yapılan yatırımların ortalama dönüş süreleri hesaplanmıştır.
- Yapılan hesaplamalara göre birim hat uzunluğu başına düşen maliyet Battalgazi ÖAB’de 2.911 TL/hat uzunluğu (m), Fırat ÖAB’de 2.69 TL/hat uzunluğu (m), Zaviye ÖAB’de 2.41 TL/hat uzunluğu (m), şeklinde elde edilmiştir.

- Pilot ÖAB’lerde birim hat uzunluğu başına düşen ilk yatırım (hat yenileme) maliyetleri, Battalgazi ÖAB’de 467,786 TL/km, Fırat ÖAB’de 289,926 TL/km, Zaviye ÖAB’de 231,942 TL/km olarak hesaplanmıştır.
- Uygulama alanında, Battalgazi ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 9-10 yıl, Fırat ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 12-13 yıl ve Zaviye ÖAB için yapılan yatırımların dönüş süresi 17-18 yıl arasında hesaplanmıştır.
- Hesaplanan bu geri dönüş sürelerinden de anlaşılaçağı üzere, şebeke rehabilitasyonu ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bir dağıtım sisteminde su kayıplarının tespit edilmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla diğeryöntemlerin uygulanması öncelikli olmalı ve şebeke rehabilitasyonu seçeneğı en son göz önünde bulundurulmalıdır.
- Şebeke rehabilitasyonu yapılan sistemlerde, uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinden elde edilen fayda, sisteme ait tüm bileşenlerin koordinatlı olarak bilinmesi, su kayıp oranlarının düşük seviyede olmasında dolayı enerji, su ve personele verimliliğinin sağlanması, su kayıp yönetiminde diğeryöntemlerin uygulanması ile daha kısa sürede beklenen faydanın elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı kentsel su yönetiminde uzun vadede önemli kazanımlar ve katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

8. KAYNAKLAR

Ammar, M.A., Moselhi, O., Zayed, T.M. (2012). Decision support model for selection of rehabilitation methods of water mains. *Structure and Infrastructure Engineering*. **8**, 847–855.

Arregui, F.J., Cobacho, R., Cabrera, E., Jr Espert, V. (2011). Graphical method to calculate the optimum replacement period for water meters. *Water Resources Plann. Manage*, **137**, 143-146.

Atkinson, S. Farmani, R., Memon, F.A., Butler, D. (2014). Reliability indicators for water distribution system design: Comparison. *Water Resources Planning and Management*. **140**, 160–168.

Aydoğdu, M. (2014). İçme Suyu Şebekelerinde Meydana Gelen Arızaların Kümeleme Yöntemi İle Analizi. *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 161s.

Boztaş, F. (2017). İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Bina (Servis) Bağlantılarında Meydana Gelen Arızaların Analizi ve Su Kayıplarına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 92s.

Cabrera, E., Pardo, M.A., Arregui, F.J. (2013). Tap Water Costs and Service Sustainability, a Close Relationship. *Water Resources Management*. **27**, 239–253.

Campbell, E., Izquierdo, J., Montalvo, I., García, R.P. (2016). A Novel Water Supply Network Sectorization Methodology Based on a Complete Economic Analysis, Including Uncertainties. *Water*. **8**, 179-198.

Creaco, E., Walski, T. (2017). Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *American Society of Civil Engineers*. **143**, 04017074.

Deidda, D., Sechi, G.M., Zucca, R. (2013). Finding economic optimality in leakage reduction: a cost-simulation approach for complex urban supply systems. *Procedia Engineering*. **70**, 477 – 486.

Fallis, P., Hübschen, K., Oertle, E., Ziegler, D., Kingel, P., Baader, J., Trujilo, R., Laures, C. (2011). Guidelines for water loss reduction: A focus on pressure management. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Germany, 228.

Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., Istandar, A., Singh, S. (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses. (Editors: van Dijk, N., Raksakulthai, V., Kirkwood, E.). 110.

Francisque, A., Tesfamariam, S., Kabir, G., Haider, H., Reeder, A., Sadiq, R. (2016). Water mains renewal planning framework for small to medium sized water utilities: a life cycle cost analysis approach. *Urban Water Journal*. **14**, 493-501.

Ferrari, G., Savic, D. (2015). Economic Performance of DMAs in Water Distribution Systems. *Procedia Engineering*. **119**, 189 – 195.

Fares, H.A. (2008). Evaluating the Risk of Water Main Failure Using a Hierarchical Fuzzy Expert System. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. **1**, 53-62.

Gilbert, D., Abraham, E., Montalvo, I., Piller, O. (2017). Iterative Multistage Method for a Large Water Network Sectorization into DMAs under Multiple Design Objectives. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **143**, 04017067.

Gomes, R., Marques, A.S., Sousa, J. (2012). Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas. *Water Science & Technology*. **65.9**, 1667-1675.

Gomes, R., Marques, A.S. A., Sousa, J. (2013). District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis. *Water Resources Management*. **27**, 4527–4543.

Hajibandeh, E., Nazif, S. (2018). Pressure Zoning Approach for Leak Detection in Water Distribution Systems Based on a Multi Objective Ant Colony Optimization. *Water Resources Management*. **32**, 2287-2300.

He, Z., Yuan, Y., Zhao, H. (2011). Analysis of lifecycle model for water distribution systems. *ICPTT 2011 ASCE*. 47-53.

Howarth, D. (1998). Arriving at the economic level of leakage: Environmental aspects. *Water Environmental Journal*. **12**, 197–201.

Inanloo, B., Tansel, B., Shams, K., Jin, X., Gan, A. (2016). A decision aid GIS-based risk assessment and vulnerability analysis approach for transportation and pipeline networks. *Safety Science*, **84**, 57–66.

Islam, M.S., Babel, M.S. (2013). Economic Analysis of Leakage in the Bangkok Water Distribution System. *American Society of Civil Engineers*. **139**, 209-216.

Kılınç, Y. (2017). Su Dağıtım Sistemlerinde PVC ve AÇB Borularının Performansının Çevresel Faktörlere göre Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s.

Laucelli, D.B., Simone, A., Berardi, L., Giustolisi, O. (2017). Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **143**, 04017017.

MacDonald, G., Yates, C.D. (2005). DMA Design and Implementation, a North American Context. *Leakage 2005 - Conference Proceedings*. 1-8.

Marchionni, V., Cabral, M., Amado, C., Covas, D. (2016). Estimating Water Supply Infrastructure Cost Using Regression Techniques. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **142**, 04016003.

MASKİ (2017). Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.

MASKİ (2018). Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.

Morrison, J., Tooms, S., Rogers, D. (2007). District Meterd Areas: Guidance Notes. Specialist Group Efficient Operation and Management. *IWA Water Loss Task Force*. pp100.

Nardo, A.D., Natale, M. D., Giudicianni, ., Santonastaso G.F., Tzatchkov V., Varela J. M. R. (2017). Economic and Energy Criteria for District Meter Areas Design of Water Distribution Networks. *Water*. **9**, 463-476.

Nicolini, M., Giacomello, C., Scarsini, M., and Mion, M., (2014), “Numerical modeling and leakage reduction in the water distribution system of Udine”, *Procedia Engineering*, **Vol. 70**, 1241-1250.

Park, S.W., Loganathan, G.V. (2002). Methodology for Economically Optimal Replacement of Pipes in Water Distribution Systems: 1. Theory. *KSCE Journal of Civil Engineering*. **6**, 539 – 543.

Rahman, A., Wu, Z.Y. (2018). Multistep Simulation-Optimization Modeling Approach for Partitioning Water Distribution System into District Meter Areas. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **144**, 04018018.

Sechi, G. M., Zucca, R. (2017). A Cost-Simulation Approach to Finding Economic Optimality in Leakage Reduction for Complex Supply Systems. *Water Resources Management*. **31**, 4601-4615.

Senante, M. M., Arce, M. M., Garrido, R. S. (2016). Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach. *Science of the Total Environment*. **568**, 180–188.

Simbeye, I. (2010). Managing Non-Revenue Water: Non-Revenue Water Sourcebook for Trainers. *WAVE Pool. InWEnt. Germany*, pp101.

Suribabu, C.R., Neelakantan, T.R. (2012). Sizing of water distribution pipes based on performance measure and breakage- repairreplacement economics. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. **18**, 241-251.

Tanyimboh, T.T., Kalungi, P. (2009). Multicriteria assessment of optimal design, rehabilitation and upgrading schemes for water distribution networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*, **26**, 117–140.

Tian, Z. (2012). An artificial neural network method for remaining useful life prediction of equipment subject to condition monitoring. *Journal of Intelligent Manufacturing*. **23**, 227–237.

Tricarico, C., Gargano, R., Kapelan, Z., Savic, D., Marinis, G. D. (2006). Economic level of reliability for the rehabilitation of hydraulic networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*. **23**, 191–207.

Tscheikner-Gratl, F., Sitzenfrei, R., Rauch, W., Kleidorfer, M. (2015). Integrated rehabilitation planning of urban infrastructure systems using a street section priority model. *Urban Water Journal*. **13**, 28-40.

Zangenehmadar, Z., Moselhi, O. (2016). Assessment of Remaining Useful Life of Pipelines Using Different Artificial Neural Networks Models. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. **30**, 04016032.

Wu, Z.Y., Sage, P., Turtle, D. (2010). Pressure-Dependent Leak Detection Model and Its Application to a District Water System. *Journal of Water Resources Planning and Management*. **136**, 116-128.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Fatih Mehmet DURMUŞÇELEBİ

Doğum Yeri ve Tarihi: KAYSERİ -28.05.1978

Adres: MASKİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ İkizce Mah. Ankara Asfaltı Maski Genel Müdürlüğü YEŞİLYURT/MALATYA

E-Posta: fatihcelebi@maski.gov.tr

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans (Varsa):

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

1999-2010 KASKİ Genel Müdürlüğü

2010-2014 Özel Sektör Altyapı ve Üstyapı

2014-..... MASKİ Genel Müdürlüğü

Yayın Listesi:

Özdemir, Ö., Fırat, M., Durmuscelebi, F.M. 2016. Assessing of Decision Variables for Water Distribution Network Rehabilitation: The Case Study of Malatya City. International Conference on Natural Science and Engineering. ICNASE16.19-20 March 2016. Kilis 7 Aralik University. 209-218.

Özdemir, Ö., Fırat, M., Tayfun, C., Durmuşcelebi, F.M. 2016. Failure Management System for Urban Infrastructure System: Malatya Case Study. International Symposium of Water and Wastewater Management. October 26-28, 2016, Malatya. 25- 31.

Özdemir, Ö., Fırat, M., Durmuşcelebi, F.M., Boztaş, F., Yıldırım, M. 2017. Real Time Flow Monitoring for Non-revenue Water Analysis at Water Distribution Systems: Malatya Case Study. 2nd International Water and Health Congress. February 13-17, Antalya. 438-441.