

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

**İÇME SUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN HİDROLİK
ANALİZİ VE SU KAYIPLARININ MODELLENMESİ
ÜZERİNE ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Durmuş SINMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Rabia KÖKLÜ

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇME SUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN HİDROLİK
ANALİZİ VE SU KAYIPLARININ MODELLENMESİ
ÜZERİNE ÖRNEK BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Durmuş SINMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 23.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi
Rabia KÖKLÜ
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Asude ATEŞ
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Gökmen ÇERİBAŞI
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Durmuş SINMAZ

23.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini, önerilerini, bilgi ve birikimlerini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Rabia KÖKLÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

İSU İşletmeler Daire Başkanı Sn. Yılmaz GÖRMÜŞ'e destekleri, kıymetli bilgileri ve yönlendirmeleri için teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da her zaman bana destek olan, yönlendiren, bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan değerli eşim Gamze KATIRCIOĞLU SINMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca beni her zaman destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Su Kayıpları.....	3
2.1.1. Su kayıplarının sebepleri	5
2.1.2. Su kayıplarının etkileri	6
2.1.3. Su kayıplarının sınıflandırılması.....	6
2.1.4. Su denge cetveli	10
2.1.5. Su kaybı lokasyonunun belirlenmesi	11
2.1.6. Sızıntı yönetim stratejisi geliştirmek.....	13
2.2. Sürdürülebilir Su Kaybı Yönetimi	14
2.2.1. Sürdürülebilir su kaybı yönetimi için gerekli temel veriler.....	14
2.2.2. Su dağıtım sistemlerinde kullanılan hidrolik modeller	17
2.2.3. İzole ölçüm bölgeleri (DMA)	19
2.2.3.1. DMA oluşturma kriterleri	20
2.2.3.2. DMA izolasyon çalışması	22

2.2.3.3. DMA yönetimi	22
2.2.4. Basınç yönetimi	24
2.2.4.1. Basınç yönetimi alanı (PMA)	26
2.2.4.2. Basınç yönetim metodları	28
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Uygulama Alanı Özellikleri	31
3.2. Kullanılan Hidrolik Model.....	32
3.2.1. Model girdileri	32
3.2.1.1. Boru bilgileri.....	33
3.2.1.2. Vana bilgileri.....	34
3.2.1.3. Hidrant bilgileri.....	35
3.2.1.4. Kot bilgileri.....	36
3.2.1.5. Tüketim türleri	36
3.2.1.6. Depo verileri	37
3.2.1.7. Tüketim deseni oluşturulması	37
3.2.2. Model arka plan hesaplamaları.....	38
3.2.3. Hidrolik modelleme ile DMA oluşturulması.....	40
3.2.4. Hidrolik modelleme ile PMA'ların oluşturulması	42
3.2.5. Basınç yönetimi	42
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	44
4.1. Hidrolik Model ve DMA'ların Oluşturulması	44
4.2. Basınç Yönetimi	51
4.3. Basınç Yönetimi İle Su Kaybının Azaltılması.....	57
4.4. Çalışma Alanında Yapılan Su Kaybı Azaltma Örnekleri	58
4.4.1. Çalışma-1	58
4.4.2. Çalışma-2.....	62
4.4.3. Çalışma-3.....	63
4.4.4. Çalışma-4.....	64

4.5. Modelleme Öncesi ve Sonrası Su Temin Miktarlarının Değişimi.....	65
4.6. Modelleme Öncesi ve Sonrası Minimum Gece Debisi Değişimleri....	67
4.7. Oluşturulan Senaryolar	69
4.7.1. Farklı sayıda DMA oluşturulması.....	70
4.7.2. Yangın simülasyonları	73
4.7.2.1. Yangın senaryosu - 1	73
4.7.2.2. Yangın senaryosu - 2	74
4.7.2.3. Yangın senaryosu - 3	75
4.7.2.4. Yangın senaryosu - 4	76
4.7.3. Nüfus projeksiyonu	77
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AZP	: Ortalama basınç bölgesi
BABE	: Patlak ve arka plan kayıp hesaplamaları
CARL	: Mevcut yıllık fiziksel su kaybı
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
DEM	: Sayısal yükseklik modeli
DF	: Ductil font boru
DMA	: İzole ölçüm bölgesi
EGL	: Enerji eğim çizgisi
GIS	: Coğrafi bilgi sistemi
GPS	: Küresel yer belirleme sistemi
HGL	: Hidrolik eğim çizgisi
ILI	: Altyapı kaçak indeksi
IWA	: Uluslararası su birliği
mSS	: Metre su sütunu
PE	: Polietilen boru
PMA	: Basınç yönetim alanı
PRV	: Basınç düşürücü vana
PVC	: Polivinül klorür boru
TUİK	: Türkiye istatistik kurumu
UARL	: Kaçınılamayan yıllık fiziksel su kaybı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sızıntı türleri	4
Şekil 2.2. Su denge cetveli	11
Şekil 2.3. Farklı veri türlerinin GIS üzerinde gösterimi.....	15
Şekil 2.4. Basitleştirilmiş su dağıtım sistemi diagram olarak gösterilmesi.....	17
Şekil 2.5. Bildirilen patlaklardan kaynaklanan kayıplara zamanın etkisi	20
Şekil 2.6. DMA ekipmanları ve By-Pass hattı.....	22
Şekil 2.7. Basınç yönetim alanı örneği	27
Şekil 2.8. Su şebekesi üzerindeki basınç yönetimi yapılan örnek alan gösterimi .	28
Şekil 2.9. Basınç yönetiminin fiziki kayıplar üzerindeki etkisi.....	30
Şekil 3.1. Uygulama alanı	32
Şekil 3.2. Çalışma alanı boru cinsleri	34
Şekil 4.1. DMA planları	44
Şekil 4.2. DMA-1 ve PMA-1 planı.....	46
Şekil 4.3. DMA-2 ve PMA-2 planı.....	47
Şekil 4.4. DMA-3 ve PMA-3 planı.....	48
Şekil 4.5. DMA-4 ve PMA-4 planı.....	49
Şekil 4.6. DMA-5 planı.....	50
Şekil 4.7. DMA-6 ve PMA-5 planı.....	51
Şekil 4.8. Çalışma öncesi bölgenin basınç dağılımı haritası	52
Şekil 4.9. Çalışma sonrası bölgenin basınç dağılımı haritası	52
Şekil 4.10. DMA basınç yönetimi öncesi debi-basınç seviyeleri	59
Şekil 4.11. DMA basınç yönetimi sonrası debi-basınç değişimi	59
Şekil 4.12. DMA içi tespit edilen arıza sonrasında debi-basınç değişimi.....	61
Şekil 4.13. DMA-5 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi	63
Şekil 4.14. DMA-1 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi	64
Şekil 4.15. DMA-2 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi	65

Şekil 4.16. Çalışma öncesi 2018 yılı Mart ayı günlük temin miktarları	66
Şekil 4.17. Çalışma sonrası 2019 yılı Mart ayı günlük temin miktarları	66
Şekil 4.18. Çalışma öncesi 2018 yılı Mart ayı minimum gece debisi değişimi	67
Şekil 4.19. Çalışma sonrası 2019 yılı Mart ayı minimum gece debisi değişimi ...	68
Şekil 4.20. Senaryo sonucu oluşturulan dma planı	71
Şekil 4.21. Senaryo-1 ve ana modelin basınç yönetiminin kıyaslanması	72
Şekil 4.22. Yangın senaryosu-1 boru hızı değişimi	74
Şekil 4.23. Yangın senaryosu-2 boru hızı değişimi	75
Şekil 4.24. Yangın senaryosu-3 boru hızı değişimi	76
Şekil 4.25. Yangın senaryosu-4 boru hızı değişimi	77
Şekil 4.26. 2019 yılına ait boru hız haritası	83
Şekil 4.27. 2030 yılına ait boru hız haritası	84
Şekil 4.28. 2040 yılına ait boru hız haritası	85

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Dünya Bankası'nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sınıflandırma sistemi.....	10
Tablo 2.2. Farklı basınç ve materyaldeki borulardaki sızıntı debisi	24
Tablo 2.3. 50 mss basınca sahip farklı çaptaki boru patlaklarının sızıntı debisine etkisi.....	26
Tablo 3.1. Boru bilgileri	33
Tablo 3.2. Vana bilgileri	35
Tablo 3.3. Hidrant kot bilgileri	35
Tablo 3.4. Abone türleri ve sayıları.....	37
Tablo 3.5. Saatlik ortalama debi tüketimleri	38
Tablo 3.6. Çalışma alanındaki boru cinslerine ait C katsayısı.....	40
Tablo 4.1. DMA basınç yönetim sonuçları.....	53
Tablo 4.2. PMA basınç yönetim sonuçları	56
Tablo 4.3. DMA sınırlarında tespit edilen arızalar	68
Tablo 4.4. DMA basınç düşürme oranları	69
Tablo 4.5. PMA basınç düşürme oranları.....	69
Tablo 4.6. Senaryo sonucu oluşturulan DMA basınç yönetimi	71
Tablo 4.7. TÜİK nüfus verileri (2007-2017 arası).....	78
Tablo 4.8. Nüfus projeksiyonları (2019-2030-2040).....	79
Tablo 4.9. İller Bankası evsel birim su tüketimi kabulleri.	79
Tablo 4.10. İller Bankası kişi başı tüketim dağılımı	80
Tablo 4.11. 2019 yılı kişi başı tüketim hesapları	80
Tablo 4.12. 2030 yılı kişi başı tüketim hesapları.....	81
Tablo 4.13. 2040 yılı kişi başı tüketim hesapları.....	81
Tablo 4.14. Günlük ortalama tüketim hesapları (2019-2030-2040)	82

ÖZET

Anahtar kelimeler: Su kaybı, DMA, PMA, basınç yönetimi

Sanayileşme, iklim değişikliği ve hızlı nüfus artışı ile artan su ihtiyacı sebebiyle su kaynaklarının yetersiz kalacağı ve su stresi yaşayan ülkelerin sayısının artacağı tahmin edilmektedir. Su kayıplarının önlenmesi sürdürülebilir bir biçimde suya ulaşım sağlanabilmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Kocaeli İli İzmit ilçesi sınırları içerisinde seçilen bir alanda su kayıplarının azaltılması amacıyla içme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik analizi yapılmıştır. WaterCAD programı ile bölgenin içme suyu hattının bileşenleri modellenmiştir. Su kaybının azaltılması amacıyla çalışma alanında basınç yönetimi yapılmıştır. Basınç yönetimi için bölge, izole ölçüm bölgelerine (DMA) ve basınç yönetim alanlarına (PMA) ayrılmıştır. DMA ve PMA'lar oluşturulup basınç yönetim sistemine geçilmesi ile matematiksel olarak su kayıpları büyük oranda azalmıştır. Yapılan basınç yönetim çalışmaları ile bölge içinde su kaybı oranı % 44 seviyesinden %28 seviyesine düşürülmüştür.

A STUDY ON THE HYDRAULIC ANALYSIS AND WATER LOSS MODELING OF DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORKS

SUMMARY

Keywords: Water loss, DMA, PMA, pressure management

Due to industrialization, climate change, and rapid population growth, water resources are likely to be inadequate. It is estimated that the number of countries experiencing water stress will increase. Prevention of water losses is very important in terms of providing sustainable access to water.

In this study, hydraulic analysis of the drinking water distribution networks was carried out in order to reduce water losses in a selected area within the boundaries of the Kocaeli province of Izmit. The components of the water distribution network are modeled using the WaterCAD program. In order to reduce water loss, pressure management has been done in the study area. For pressure management, the area is divided into District Measurement Areas (DMA) and Pressure Management Areas (PMA). With the pressure management, water losses have decreased considerably. As a result of the pressure management studies, the rate of water loss within the study area has been reduced from 44% to 28%.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küresel ısınma sonucunda su kaynaklarındaki azalma Dünya çapında etkilerini uzun süredir göstermektedir. Su kaynakları, insanların su ihtiyaçlarını karşılamakta bazı ülkelerde yetersiz kalmakta ve insanlar temiz suya ulaşmakta dahi güçlük çekmektedirler. Her geçen yıl sulak alanların azalması ve hızla artan nüfus ile kişi başına düşen su miktarında azalma meydana gelmektedir. Kullanılan suyun büyük bir kısmı tarım amaçlıdır. Bunu evsel ve sanayi amaçlı kullanımlar takip etmektedir.

Su rezervlerinden temin edilen içme suyu miktarlarında; yeraltı su arızaları, yüzeye çıkan su arızaları, kaçak kullanımlar, idari kayıplar nedeniyle azalmalar meydana gelmektedir. İçme suyu temin ve dağıtım hatlarında meydana gelen bu arızalar büyük oranda su kaybına sebep olmaktadır. Bunun sebebi yeraltında oluşan bu arızaların yüzeye çıkmadığı için fark edilememesidir. Bu konuda farklı teknoloji ve çözümler geliştirilmektedir. Su kayıplarıyla mücadelenin en etkili yollarından biri DMA oluşturularak sistemli bir takip mekanizmasının kurulmasıdır.

Su kayıplarının azaltılması için hidrolik modelleme yazılımları yardımıyla mevcut sistemlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Basınç yönetimi için izole ölçüm alanlarının (DMA) yanısıra basınç yönetim alanlarının (PMA) da oluşturulması ve sürekli olarak izlenmesi ile sürdürülebilir bir su kaybı yönetimi yapmak mümkündür.

Bu çalışmada hidrolik modelleme ile DMA'lar oluşturulmuştur. DMA'lar ile su kaybını azaltılması için basınç yönetim çalışmaları yapılmıştır. DMA'lar ile yapılan basınç yönetiminin yetersiz olduğu bölgelere PMA'lar oluşturulmuştur. Su kaybının hesaplanması için gereken temin edilen su ile tahakkuk edilen su miktarları kontrol edilmiştir.

Bölüm 2’de su kayıplarının ve su kayıplarının sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’te çalışma alanı, kullanılan hidrolik model programından ve uygulamalarından söz edilmiştir. Bölüm 4’de DMA’lar ve PMA’lar oluşturularak yapılan basınç yönetimi ve hidrolik model ile oluşturulan senaryolar yer almaktadır. Ana model ile kıyaslamak için üç DMA’lı bir basınç yönetim senaryosu oluşturulmuştur. Ayrıca, 2030 – 2040 yılları için nüfus artış senaryoları ve dört farklı yangın durumu için senaryolar oluşturularak, yapılması gereken çalışmalar belirlenmiştir. Bölüm 5’de ise çalışmanın sonucundan ve yapılması gerekenlerden bahsedilmiştir.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

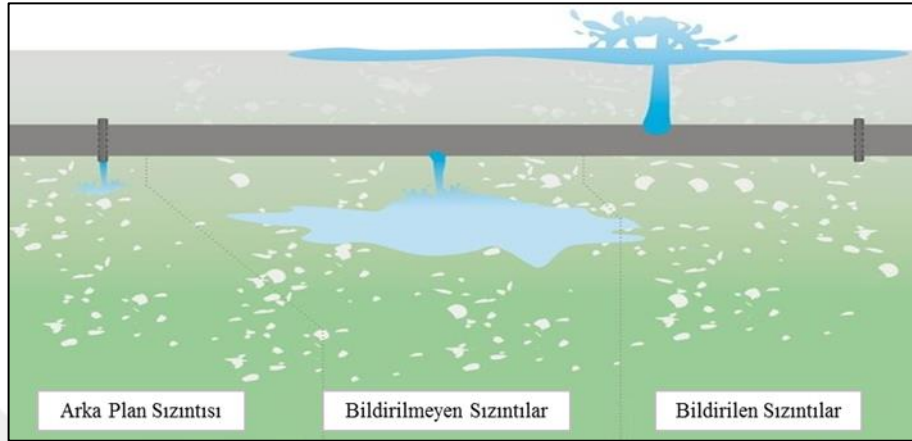
2.1. Su Kayıpları

Su kaynaklarının azalması küresel bir sorundur. Hızlı nüfus artışı, iklim değişikliği, savaşlar ve göçler, endüstrileşme sonucu artan su ihtiyacı sebebiyle su kaynaklarının yetersiz kalması öngörülmektedir. 2 milyardan fazla insan yüksek su stresi yaşamaktadır. Global su stresi seviyesi %11 olmasına rağmen; 31 ülke %25-70 arasında; 22 ülke ise %70 üzerinde ciddi olarak su kıtlığı çekmektedir (WWDR, 2019). Tatlı su kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle ve henüz su kıtlığı daha ciddi boyutlara ulaşmadan su kayıplarını önlemek için gerekli adımlar atılmalıdır. Su kayıplarının ekonomik nedenlerle de önlenmesi gerekmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hem ekonomik hem de su kaynaklarının korunması açısından önlemler alması gerekmektedir.

Toplam su kaybı, kaynaklardan temin edilen su miktarı ile müşteriye fatura edilmiş su miktarı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır (Farley, 2001). Sızıntı ise su kaybına sebep olan etkenlerden biridir ve fiziksel olarak borulardan, boru birleşme noktalarından, rezervuardan kaynaklanır. Sızıntı kaynaklı kayıplar aylarca hatta yıllarca fark edilmeyebilir. Sızıntının hacmi büyük ölçüde boru basıncına ve fark edilme süresine bağlıdır. Toprak cinsi de bu kayıpların yüzeye çıkması açısından önemlidir. Yüzeye çıkmayan su kayıplarını belirlemek için sızıntı tespit çalışmaları yapılmalıdır. Su kaybının diğer birleşeni ise idari kayıplardır. Bu kayıplar sayaç ölçüm hatalarından, yasal olmayan kullanımlardan ve bağlantılardan kaynaklanır.

Sızıntı türleri; arka plan sızıntısı, bildirilmeyen sızıntılar ve bildirilen sızıntılar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1.'de sızıntı türleri verilmiştir. Arka plan sızıntısı, yüzeye çıkmayan ve akustik dinleme yöntemleriyle tespit edilemeyen sızıntılardır.

Bildirilmeyen sızıntılar, yüzeye çıkmayan ancak akustik dinleme yöntemiyle tespit edilebilen sızıntılardır. Bildirilen sızıntılar ise yüzeye çıkan ve gözle tespit edilebilen sızıntılardır (Oertlé ve Knobloch, 2010).



Şekil 2.1. Sızıntı türleri (Oertlé ve Knobloch, 2010)

Ülkemizde son yıllarda sızıntının önlenmesi konusuna olan ilgi büyük bir hızla artmaya devam etmektedir. Su kayıplarının azaltılması gerekliliği ile ilgili 2014 yılında ve su kaybının azaltılması için izlenilmesi gereken yollar ile ilgili ise 2017 yılında yönetmelikler yayınlanmıştır. 28994 sayılı resmi gazetede 8 Mayıs 2014 yılında yayınlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde yer almıştır. Su kayıplarının 2014 yılı itibariyle büyükşehir ve il belediyelerinde 5 yıl içerisinde; diğer belediyelerde 9 yıl içerisinde %30 oranına ve takip eden 4 yıl içerisinde büyükşehir ve il belediyelerinde, 5 yıl içerisinde diğer belediyelerde %25 oranına düşürülmesi gerekmektedir (İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği, 2014).

30208 sayılı resmi gazetede 12 Ekim 2017 yılında yayınlanan “İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik” te ise su kayıplarının önlenmesi için izlenecek adımlar belirtilmiştir. Su dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıpları azaltmak için öncelikli olarak mevcut sistemin incelenmesi, hidrolik modelinin ve ölçülebilir izole alt bölgelerin (DMA) oluşturulması, coğrafi bilgi sistemleri ile izlenmesi, kayıp-kaçak tespitlerinin ve basınç yönetimlerinin yapılmasının gerektiği belirtilmiştir (İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım

Sistemleri Hakkında Yönetmelik, 2017). Yönetmelikler yayımlandıktan sonra belediyeler bazında su kayıplarının azaltılması konusu oldukça önem kazanmıştır ve bu konuda çalışmalara başlanmıştır.

2.1.1. Su kayıplarının sebepleri

Su kayıpları; basınç, toprak kaymaları, borunun durumu, düşük kaliteli malzeme ve işçilik, toprak cinsi, trafik yükü, su ekipmanlarının yaşı sebebiyle oluşur (Farley, 2001). Basıncın yüksek olması su kayıplarına birkaç şekilde sebebiyet verebilir. Boru ya da boru bağlantı noktası üzerindeki bir patlaktan sızan su miktarı basınç ile doğru orantılı olarak artacaktır. Aynı şekilde, özellikle eski boruların olduğu bir sistemde fazla basınç sebebiyle boru patlakları artacaktır. Yüksek basınçlı bir sistemde meydana gelen patlak yüzeye daha yakın çıkacak ya da ses seviyesi arttığı için dinleme metodları ile daha kolay bulunacaktır. Pompaların ani kapatılıp açılması ile yükselen basınç aynı şekilde sisteme zarar vermektedir. Kötü yönetilen bir su dağıtım sisteminde ani vana kapamaları ya da basınç kırıcı vanaların yanlış kullanımı ile basınç dalgalanmalarına sebep olmaktadır.

Metal borular suyun pH'ına bağlı olarak iç kısımdan korozyona uğrayabilir. Aynı şekilde toprağın pH'ına, içerdiği çözünmemiş tuz miktarına, oksijen seviyesine, nemliliğine ve bakteriyel aktiviteye bağlı olarak borunun dışından da korozyona uğrayabilir. Asbest çimentolu borular suyun ya da toprağın içerisindeki yüksek sülfat miktarı sonucu aşınabilir. Boruların iç ya da dış çeperinden kaynaklanan aşınmalar boruyu incelterek basınca karşı dayanıksız hale getirir (Farley, 2001).

Toprak hareketleri ile boru kırılabilir, boru bağlantı noktaları yerlerinden çıkabilir. Aynı şekilde patlaklardan sızan su ile toprak kaymaları gerçekleşebilmektedir. Toprağın cinsi ve geçirgenliği su patlaklarının yüzeye çıkabilmesi ve farkedilebilmesi açısından önemlidir. Boruların içsel ve dışsal olarak izolasyonu ve boru materyalinin seçiminin dikkatli yapılması gerekmektedir. Trafik yoğunluğu sebebiyle titreşim ve yük artması boru yapılarına zarar vermektedir. Boru yaşı ile patlak oluşma olasılığı doğru orantılı olarak artar ancak borunun yaşı tek başına bir su sızıntı sebebi değildir.

Mevcut çatlak ve ufak sızıntılar da zamanla arttığı için farkedilene kadar su kaybı miktarı büyümektedir.

Su kaybı yönetiminin de uygun olarak yapılmaması patlakların tespit edilmesinde gecikmelere ya da model ile desteklenmeden sık periyodlarla sistemin kontrol edilmesi iş yükü ve zaman kaybına neden olmaktadır.

2.1.2. Su kayıplarının etkileri

Yerel yönetimler açısından su kayıplarının neden olduğu olumsuzluklar; abone memnuniyetsizliği, altyapının zarar görmesi, oluşan aşırı maliyetler ve sağlık etkileridir. Musluk suyunun basıncının azalması, su kesintileri sonucu abone bağlı olduğu su idaresine şikayette bulunur. Abone şikayetleri sonucundan su kaybının varlığı farkedilir. Yolların ve toprağın çökmesine sebebiyet verebilecek boşlukların oluşması sonucu altyapı zarar görmektedir. Su kayıpları sebebiyle dağıtım sistemine kesintili olarak suyun verilmesi sisteme hava girişinin olmasına neden olur. Su dağıtım sistemi içindeki hava, sayaçlara zarar verebilir ve fazla tüketim ölçerek faturanın artmasına sebep olabilir. Su patlakları sonucu oluşan zararların giderilmesi için ek maliyetler çıkmaktadır. Örneğin, sistemdeki sızıntının %50 seviyesinde olması, enerji ve arıtım maliyetlerini iki katına çıkaracaktır. Yerel yönetimlerin ödemeleri gereken tazminat miktarları ve onarım masraflarının yanı sıra kayıp olan su miktarının da maddi olarak karşılığı olacaktır. Su kaybı yönetiminin de uygun olarak yapılmaması patlakların tespit edilmesinde gecikmelere ya da model ile desteklenmeden sık periyodlarla sistemin kontrol edilmemesi iş yükü ve zaman kaybına neden olmaktadır. Sızıntı sebebiyle düşen basıncın sağlık etkileri de olmaktadır. Düşük basınç ile gelen su verimli bir şekilde filtre edilemediği için kirleticiler de su dağıtım sistemine girebilmektedir (Farley, 2001; Oertlé ve Knobloch, 2010; Thornton, 2005).

2.1.3. Su kayıplarının sınıflandırılması

Su kayıpları fiziksel kayıplar ve idari kayıplardan oluşmaktadır. Fiziksel kayıplar içme suyu dağıtım hattı üzerinde gerçekleşen deformasyon sonucu oluşan su kayıplarını

ifade ederken; idari kayıplar kaçak kullanılan su, personel ya da sayaç kaynaklı kayıplardır.

Fiziksel kayıplar patlaklar ya da sızıntılar sonucunda; depoda, ana dağıtım borularında, abone borularında, boru bağlantı noktalarında, su dağıtım hattı üzerindeki diğer şebeke elemanlarında (vana, hidrant, vantuz) oluşurlar. Su kaybının hacmi büyük oranda su dağıtım hattının karakteristiğine ve yerel yönetimin onarım politikasına bağlıdır. Su kaybı ile mücadelede özellikle borulardaki basınç miktarı, su kaybının farkedilme süresi ve onarım süresi oldukça önemlidir.

İdari kayıpların sebepleri; temin edilen suyun fazla hesaplanması, tahakkuk edilen suyun az hesaplanması ve kaçak kullanımdır. Sayaç ölçüm hatası, sayaç okumasının yapılmaması, sayaç kalibrasyonunun yanlış olması sebepleriyle temin edilen suyun miktarı fazla hesaplanır. Kalitesiz veya çalışmayan sayaçlar sebebiyle tahakkuk edilen su gerçekte olandan az hesaplanır. Yasal olmayan bağlantılar, işçilerin rüşvet sebebiyle sayaçları okumaması, sayaçlara zarar verilmesi ise kaçak kullanıma sebep olmaktadır (Farley, 2001).

Su kaybı yüzdesi basit olarak idari su kayıplarının sisteme giren su kayıplarına oranı ile bulunmaktadır. Ancak teknik performans belirleyici olarak su dağıtım sisteminin uzunluğu, bina bağlantı sayıları ve sistem basıncının da dikkate alınması gerekmektedir. Yerleşim yoğunluğunun az olduğu yerler dışında, su kaybının büyük kısmı ana borulardan çok bina bağlantılarından kaynaklanmaktadır. Yerleşim yoğunluğunun az olduğu bölgelerde su kaybının hesaplanması için su kaybının bina bağlantı sayısına bölünerek bina başına ne kadar su kaybı olduğunun bulunması gerekmektedir.

- Mevcut Yıllık Fiziksel Kayıplar

Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından mevcut yıllık fiziksel kayıplar (CARL-Current annual real losses) formülü geliştirmiştir. Bu formül aynı zamanda aralıklı besleme ile çalışan su dağıtım şebekeleri için de geçerlidir (Liemberger, 2002).

Mevcut yıllık fiziksel kayıplar aşağıdaki denklik (Denklem 2.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CARL = \frac{Q_{RL} \times 10^3}{N_{dws}} \quad (2.1)$$

CARL: mevcut yıllık fiziksel su kaybı (l/gün)

Q_{RL} : Yıllık fiziki su kaybı (m^3/a)

N_{dws} : Sistemin basınçlandırıldığı gün sayısı (gün)

- Kaçınılamayan yıllık fiziksel su kayıpları

Su dağıtım şebekelerindeki su kayıplarının tamamı engellenemez. Ekonomik limitler uygulanmadan son teknoloji ile kurulan ve işletilen bir su dağıtım sisteminde bile asgari miktarda su kaybı olacaktır. Su kaynakları çok kısıtlı değilse bu kayıpların azaltılması için sistemde son teknolojilerin uygulanması ekonomik olarak beklenmemelidir. Kaçınılamayan yıllık fiziksel su kayıplarının (UARL-Unavoidable annual real losses) hesaplanması için 1999 yılında Allan Lambert tarafından UARL formülü geliştirilmiştir (Lambert ve ark., 1999).

Kaçınılamayan yıllık fiziksel su kayıpları aşağıdaki denklik (Denklem 2.2) kullanılarak hesaplanmıştır

$$UARL = (18 \times L_N + 0,8 \times N_C + 25 \times L_P) \times P_A \quad (2.2)$$

UARL: Kaçınılamayan yıllık fiziksel su kayıpları

L_N : Su dağıtım ağı uzunluğu (bina ve abone bağlantıları dışında kalan)

N_C : Bina bağlantı sayıları

L_P : Bina bağlantılarından sonra abone sayaçlarına kadar olan bağlantı uzunluğu

P_A : Ortalama çıkış basıncı

Bina bağlantılarından sonra abone sayaçlarına kadar olan bağlantı uzunluklarının hesaplanması zordur. Bu sebeple sayaçlar bina bağlantılarına yakınsa sıfır olarak kabul edilebilir ya da ortalama bir değer alınabilir.

- Altyapı kaçak indeksi

Altyapı kaçak indeksi (Infrastructure leakage index - ILI) yerel yönetimlerin idari kayıpları yönetim stratejisini ve fiziki kayıpların önlenmesi için altyapı yönetiminin ne kadar iyi uygulandığının ölçüsü olarak kabul edilir. CARL ve UARL arasındaki oran, su kayıplarının önlenmesi açısından su dağıtım şebekesinin potansiyelini temsil etmektedir (Winarni W., 2009).

Altyapı kaçak indeksi aşağıdaki denklik (Denklem 2.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (2.3)$$

Aktif sızıntı kontrolü, hızlı ve kaliteli su arızası tamiratları, basınç yönetimi ve altyapı yönetimi ile ILI oranı 1'e yaklaşmaktadır. Tablo 2.1.'de Dünya Bankası'nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için altyapı kaçak indeksi (ILI) aralıkları ve performans kriterlerine göre sınıflandırma sistemi verilmiştir. Altyapı kaçak indeksi tamamen teknik performans göstergesi olup herhangi bir ekonomik kısıtlama içermemektedir.

Tablo 2.1. Dünya Bankası'nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sınıflandırma sistemi (Liemberger, 2007)

Sınıf	Altyapı kaçak indeksi (ILI)		Fiziki kayıp yönetimi performans kategorileri
	Gelişmiş Ülkeler	Gelişmekte olan Ülkeler	
A	< 2,0	< 4,0	Daha fazla su kaybının azaltılması su kıtlığı olmadığı sürece ekonomik olmayabilir. Maliyet yönünden kaçak yönetimini belirlemek için dikkatli analiz edilmelidir.
B	2,0 < 4,0	4,0 < 8,0	Basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, daha iyi bakım ile geliştirme olanakları bulunmaktadır.
C	4,0 < 8,0	8,0 < 16,0	Zayıf basınç yönetiminin göstergesidir. Bol miktarda ucuz su kaynağı bulunmaktaysa ekonomik olarak tolare edilebilir. Yine de sızıntı seviyesi analiz edilip kaçak önleme çabası arttırılmalıdır.
D	> 8,0	> 16,0	Kaynakların verimsiz kullanıldığını, bakım ve sistem işleyişinin uygun olmadığını gösterir. Su kaybının azaltılmasının önemli ve zorunlu olduğunu göstermektedir.

2.1.4. Su denge cetveli

Su denetimi için öncelikli olarak sistem değerlendirmesi yapılmalı ve su dengesi hesaplanmalıdır. Sistem değerlendirmesi için kullanılan teknolojinin seviyesi, çalışan personelin yetkinliği, uygulanan yöntemler gözden geçirilmelidir. Sistem değerlendirmesi yapılırken kullanılan tüm fiziksel veriler, faturalandırılmış ve faturalandırılmamış su kullanımları, kaçak kullanımlar, ekonomik veriler ve onarım programı dikkate alınmalıdır (Alegre ve ark., 2016; A. Lambert, 2000).

Su dengesi, içmesuyu dağıtım sistemindeki su kaybı miktarının belirlenmesi amacıyla, temin edilen, tüketilen ve kaybolan su miktarının ölçülmesi veya hesaplanmasını ifade etmektedir. “İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının kontrolü yönetmeliği” nde su idareleri tarafından kullanılması gereken su denge cetvel örneği Şekil 2.2.’de verilmiştir. Su denge cetvelinin kullanımı ile su kaybı miktarları yüzdesel olarak hesaplanmaktadır. Bu cetvel su kayıp kaynaklarının belirlenerek çözüm politikası ve öncelikli alanların belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su Miktarı
		m ³ /yıl (...%)	m ³ /yıl (...%)	
		Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	m ³ /yıl (...%)	
		m ³ /yıl (...%)	m ³ /yıl (...%)	
	m ³ /yıl (...%)	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getirmeyen Su Miktarı
		m ³ /yıl (...%)	m ³ /yıl (...%)	
		Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım	m ³ /yıl (...%)	
		m ³ /yıl (...%)	m ³ /yıl (...%)	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar	İzinsiz Tüketim	
			m ³ /yıl (...%)	
		Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	m ³ /yıl (...%)	
			m ³ /yıl (...%)	
		Fiziki Kayıplar	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar	
			m ³ /yıl (...%)	
		Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar	m ³ /yıl (...%)	
			m ³ /yıl (...%)	

Şekil 2.2. Su denge cetveli (İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği, 2014)

2.1.5. Su kaybı lokasyonunun belirlenmesi

Su kaybı; su kaynağından (baraj, göl gibi) su deposuna gelen isale hattında, su deposunda, şebeke ana hatlarında ve abone hatlarında meydana gelebilir. İsale hattında meydana gelen su kayıpları; baraj çıkışında bulunan debimetre ile su deposunun girişinde bulunan debimetre arasındaki farktan hesaplanır.

Depoda meydana gelebilecek su kayıplarının tespiti için “Seviye azalma testi” yapılmaktadır. Teste başlamadan önceki 48 saat boyunca depodaki su seviyesinin takip edilmesi gerekmektedir. Abonelerin su kesintisine uğramamaları için deponun

maksimum su seviyesi ve en yüksek su tüketiminin olduğu saat aralıkları belirlenmelidir (Farley, 2001).

Sızıntı oranı aşağıdaki denklik (Denklem 2.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{sızıntı oranı} = \frac{(d_1 - d_2) \times A}{T} \text{ m}^3/\text{saat} \quad (2.4)$$

d_1 : İlk derinlik (m)

d_2 : Son derinlik (m)

A: Deponun hacmi (m^3)

T: Test süresi (saat)

Teste başlamadan önce deponun giriş ve çıkış vanalarının kapatılması gerekmektedir. 4-12 saat arasında gerçekleştirilen testin başlangıç ve bitiş anlarında su derinliklerinin ölçülmesi gerekir. Depodaki su sızıntı miktarı test süresince oluşan derinlik farkından m^3/saat olarak hesaplanmaktadır. Seviye azalma testinin, su tüketiminin en düşük olduğu saat aralıklarında yapılması ile abonelerin olumsuz etkilenmeleri azaltılır.

Su dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıplarının anlaşılması sistemin büyüklüğü ve karmaşıklığı açısından kolay değildir. Su dağıtımının yapıldığı depodan çıkan su miktarı ile bölge içinde bulunan bütün abonelere ait tahakkuk miktarları arasındaki fark şebeke ve abone hatlarındaki su sızıntılarını temsil etmektedir.

Su kaybının su dağıtım şebekesinin hangi kısmında yer aldığını belirledikten sonra sızıntının noktasal tespiti için step test ve akustik dinleme yöntemlerine başvurulması gerekmektedir. Step test ve akustik dinleme ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.2.3. izole ölçüm bölgeleri (DMA) içerisinde verilmiştir.

2.1.6. Sızıntı yönetim stratejisi geliştirmek

Su dağıtım şebekelerinin bakımı sürekli olarak yapılmalı ve boru arızalarına en kısa sürede müdahale edilmelidir. Arıza kaynaklı su kayıpları, müdahale edilmediğı takdirde sürekli artış gösterme eğilimindedir. Su hatlarına yapılacak müdahaleler planlanırken farklı stratejiler geliştirilebilir;

a. Olay odaklı bakım stratejisi

Bu stratejide, yüzeeye çıkan su arızalarına ve basınç azalmaları nedeniyle aboneler tarafından yapılan şikayetler sonucunda tespit edilen su arızalarına müdahale gerçekleştirilir. Genel su kaybı miktarı yüksektir. Bunun sebebi gizli sızıntıları tespit etmek, onarmak ve arka plan kayıplarını önlemek için herhangi bir çaba gösterilmemesidir. Olay odaklı bakım, sürdürülebilir su kaybı yönetimi için uygun değildir.

b. Önleyici strateji

Belirli periyodlarla tüm su hatlarının bakımı yapılır. Bu yöntem sonucunda olası sızıntı noktalarına yüksek verim ile müdahale edilir. Ancak tüm hattın kontrolü zaman almaktadır ve iş yükü açısından yoğun emek gerektirmektedir.

c. Denetim stratejisi

Su dağıtım hatlarının basınç ve debi ölçümleri sürekli olarak takip edilir. Bölge içindeki debi miktarları ve basınç seviyeleri beklenen aralıkların dışına çıktığında müdahale gerçekleştirilir. Bu sebeple daha uzun aralıklar ile hattın bakımı yapılır. Hidrolik model yazılımları ile desteklenen bu yöntem su kayıplarını azaltmak için en ekonomik, sürdürülebilir ve verimli yöntemdir. Bu yöntem kapsamında su kayıpları önlenmek istenen alanın izole ölçüm bölgelerine (DMA'lara) ayrılması ve giriş çıkış debilerinin sürekli ölçölüp analiz edilmesi gerekmektedir (Farley, 2001; Oertlé ve Knobloch, 2010).

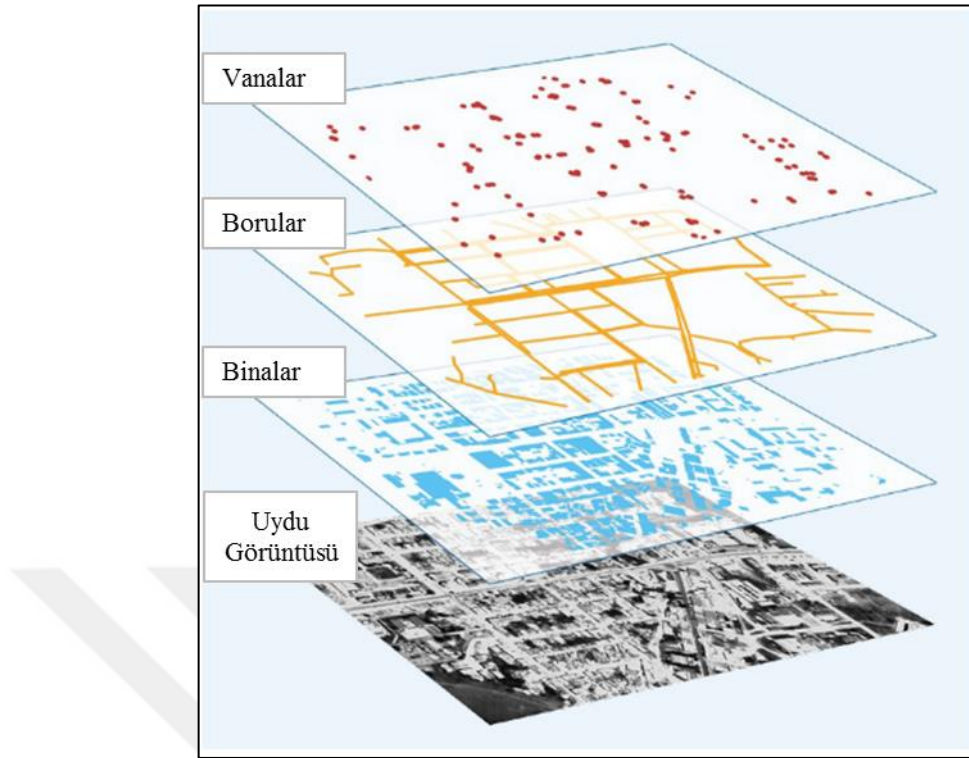
2.2. Sürdürülebilir su kaybı yönetimi

Başarılı su kaybı yönetimi yapılması için öncelikli olarak su kaybının bileşenlerini anlamak ve önem sırasını göre öncelendirmek gerekmektedir. Sonrasında su kayıplarının her bir sebebine yönelik çözüm planı geliştirilmelidir. Gelişmiş olan ülkelerdeki su kayıpları %8-24, yeni endüstrileşmiş ülkelerde %15-24 ve gelişmekte olan ülkelerde ise %25-45 oranındadır (Lambert , 2002). Toplam su kaybı temin edilen su ile fatura edilen suyun arasındaki farkı ifade etmektedir. Aynı zamanda toplam su kaybı fiziksel ve idari kayıpların toplamı olarak da tanımlanabilir (Farley, 2001).

Sürdürülebilir bir su kaybı yönetimi için denetim stratejisi uygulanarak su şebekesinin kontrolü yapılmalı ve sürekli izlenmelidir. Hidrolik modelleme ve anlık ölçümler ile su hattı sürekli takip edilebilmektedir.

2.2.1. Sürdürülebilir su kaybı yönetimi için gerekli temel veriler

Su dağıtım sistemine ait boruların, vanaların, hidrantların, su deposu verilerinin, nüfus dağılım verilerinin, topoğrafik haritaların, uydu görüntülerinin, sayısal yükseklik modelinin (DEM), isimleri ile sokak ve caddelerin, binaların ve abonelerin tüketim verilerine ait sayısal verilerin koordinatları ile birlikte kullanılan hidrolik model üzerine işlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.3.'de vana, boru, bina ve uydu görüntüsünden oluşan GIS (coğrafi bilgi sistemi) verileri simülasyonu yer almaktadır. GIS ile hidrolik modelin beraber kullanılması modelin gerçek verilere yakın olarak hesaplama yapması açısından oldukça önemlidir. Modelin doğruluğunu artırmanın yanı sıra uygulama kolaylığı açısından birçok faydası bulunmaktadır. Boru uzunluklarının otomatik olarak hesaplanabilmesi, ölçekli ve ayrıntılı harita üzerinde gösterilebilmesi, ileri düzenleme olanaklarını sağlaması, yükseklik verilerinin enterpolasyonu ile kot tayininin yapılabilmesi ve tüketim hesaplamalarının yapılabilmesi gibi faydaları bulunmaktadır (Coelho ve Andrade-Campos, 2014).



Şekil 2.3. Farklı veri türlerinin GIS üzerinde gösterimi (Oertlé ve Knobloch, 2010)

Coğrafi bilgi sistemi ile birlikte su kaybının engellenmesi için yapılacak uygulamaların doğruluğu ve kolaylığı açısından birçok faydası bulunmaktadır. Bunlar mantıksal sorgu, yakınlık analizi, şebeke analizi, sınıflandırma ve görselleştirme yapılabilmesidir. (Oertlé ve Knobloch, 2010)

- Mantıksal sorgu: Örnek olarak belirli bir bölgedeki tüm boru bağlantılarının belirlenmesidir.
- Yakınlık analizi: Örnek olarak herhangi bir taşkın ihtimaline karşı hassas bölgelerin belirlenmesi için analizlerin yapılabilmesidir.
- Şebeke analizi: Örnek olarak su şebekesinin analizi boru patlaklarından etkilenen tüm abonelerin belirlenebilmesidir.
- Sınıflandırma: Örnek olarak boru cinsi, yaşını ve patlak verme sıklığının sınıflandırılmasıdır.
- Görselleştirme: Örnek olarak rutin değişimler için gerekli olan tüm abone sayaçlarını görüntülemesidir.

Su dağıtım sistemlerinde ihtiyaca göre farklı çap ve uzunluklarda borular kullanılmaktadır. Kullanılan boru cinsleri bölgelere göre değişim gösterebilmektedir. Asbest borular gibi insan sağlığı üzerine olumsuz etkisi bulunan ya da ortam koşullarına uygun olmayarak aşınma tehlikesi bulunan boruların yerel yönetimler tarafından değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanılan boruların çap, metraj ve kot bilgileri kullanılan hidrolik modele işlenmektedir.

İçme suyu temin hatlarında kullanılan vanaların çap ve konum bilgileri ile model üzerinde bulunmaları gerekmektedir. Herhangi bir arıza sebebi ile vanalar, kapsadığı bölgenin su ihtiyacı ya da susuz kalması gerektiği koşullara göre kapalı iken açık durumuna ya da açık iken kapalı durumuna getirilmektedirler. Model üzerindeki vanaların açık ya da kapalı durumda olduğunun bilgisinin de verilmesi gerekmektedir.

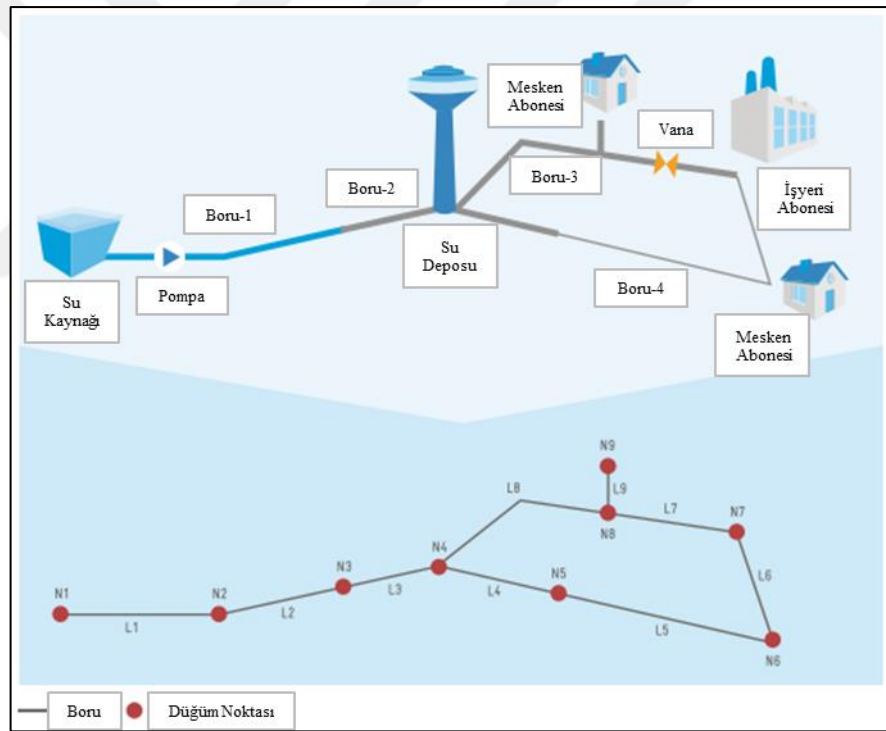
Hidrolik modellemesi yapılan bölgenin herhangi bir yangın durumunda yüksek debi ile kısa sürede su sağlanması için hidrolik modelde bulunması gerekmektedir. Bölge büyüklüğüne ve ihtiyacına göre hidrant sayısı değişmektedir. Su temin hatlarına eklenecek hidrantların kot bilgileri ile birlikte model üzerine işlenmesi gerekmektedir.

Hidrolik modellemesi yapılacak bölge içerisinde bulunan abone türlerinin de model üzerinde belirtilmesi gerekmektedir. Mesken abonesi, işyeri abonesi, resmi aboneler (okul, vakıf, devlet dairesi), inşaat, yüksek tüketim (sanayi gibi) abonelerinin sayıları ve su tüketim miktarları oldukça önemlidir.

Abonelere su sağlanan deponun yer bilgisi, büyüklüğü ve su seviyesindeki değişimler izlenmelidir. Deponun su seviyesindeki ani değişimlerin takip edilmesi gerekmektedir.

2.2.2. Su dağıtım sistemlerinde kullanılan hidrolik modeller

Su dağıtım sistemlerinde birçok hidrolik modelleme programı kullanılmaktadır. Hidrolik modelleme programları coğrafi bilgi sistemi ile entegre şekilde çalıştırılabilmektedir. Yeni yerleşim alanlarında su dağıtım hatlarının planlaması yapılırken, minimum maliyet ve maksimum verimi sağlayan şartların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Yeni yerleşim alanlarının imar planlarına göre ulaşabileceği maksimum nüfus değerlerine göre simülasyonlar oluşturulmaktadır. Sahada uygulanacak adımların öncesinde model üzerinde değişiklik yaparak sonucu öngörme olanağı sağladığı için hidrolik modeller tercih edilmektedir. Şekil 2.4. üzerinde örnek bir alanın hidrolik model üzerindeki görünümü verilmiştir.



Şekil 2.4. Basitleştirilmiş su dağıtım sistemi diagramı olarak gösterilmesi (Oertlé ve Knobloch, 2010)

Hidrolik modeller; sistem kapasitesinin doğrulanması, boru basıncı ve debilerinin analiz edilmesi, DMA oluşturulması için bölge sınırlarının belirlenmesi, basınç yönetim bölgelerinin belirlenmesi, basınç yönetimi planlaması için özel uygulamaların yapılabilmesi, sistemin güvenliği ve acil durumlar için uygunluğunun analiz edilmesi için kullanılır. Bu konuda kullanılan modeller EPANET, AQUIS, Aquadapt,

ENCOMS/CAPCOMS, Helix delta-Q, H2ONET/H2OMAP, Mike Net, optiDesigner, Optimizer WDS, SynerGEE Water, STANET, Wadiso, WaterCAD/WaterGEMS, Aquadapt, AquaNet, Cross, Eraclito, HYDROFLO, MISER, Pipe2012 ve WDNNetXL'dır (Coelho ve Andrade-Campos, 2014).

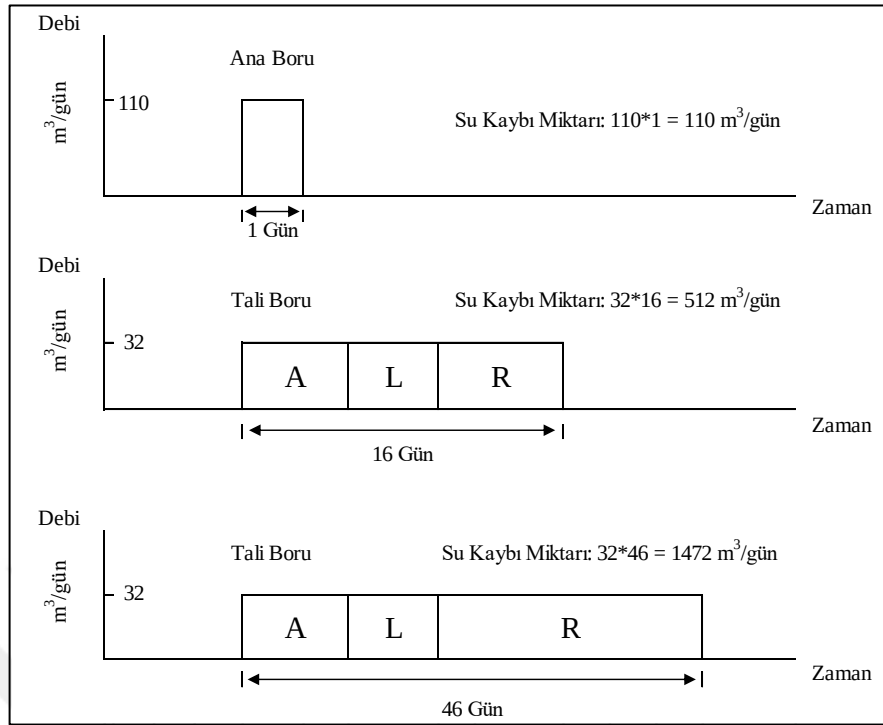
EPANET bu konuda geliştirilen ilk hidrolik modelleme yazılımıdır. EPANET 2.0 (Rossman, 2008) açık kaynak kodlu bir programdır. EPA tarafından geliştirilen bu yazılım, su dağıtım sistemlerinde hidrolik simülasyonları gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Darcy – Weisbach, Hazen-Williams ve Chezy-Manning yük kaybı hesaplamalarını içerir. Aynı zamanda ücretsiz bir program olduğu için genellikle araştırmacılar tarafından tercih edilir (Araujo ve ark., 2006; Berardi ve ark., 2015; Grayman ve ark., 2009; Korkana ve ark., 2016; Latchoomun ve ark., 2015; Roma ve ark., 2015).

Watercad/Watergems (Water Distribution Analysis and Design Software, 2019) Bentley tarafından geliştirilen, GIS ve CAD dosyaları ile bağlantılı çalışabilen, farklı senaryolar oluşturulabilen, yük kayıp hesapları için farklı yöntemler seçilebilen bir hidrolik modelleme yazılımıdır. Bu yazılım ile yangın simülasyonları oluşturularak suyun iletiminin yetersiz kalacağı noktalar belirlenebilmektedir. Samir ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan bir çalışmada basınç kırıcı vanaların en verimli kullanımını içeren senaryoyu bulmak için watercad programını kullanmıştır. Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada da WaterCAD, mevcut su hattı üzerindeki debi değişimlerini modellemek amacıyla kullanılmıştır (Annan ve Gooda, 2018). İran'da yürütülen bir çalışmada su dağıtım sistemlerinde basıncın azaltılmasıyla elde edilen maddi kazanç hesabı için Watergems kullanılmıştır (Nikjoofar ve Zarghami, 2013). Yunanistan'ın Kos adasında ve Kozani şehrinin basınç yönetimi çalışmasında su hidrolik modelleme yazılımı olarak Watergems kullanılmıştır (Kanakoudis ve Gonelas, 2014).

2.2.3. İzole ölçüm bölgeleri (DMA)

Su kayıplarının azaltılması kapsamında ilk olarak izole ölçüm bölgesi (District metered area - DMA) oluşturulması 1980'li yıllarda İngiltere'de yapılmıştır (Farley, 2001; Savić ve Ferrari, 2014). DMA, su dağıtım şebekesi içerisinde yer alan ölçülebilir izole bir bölge olarak tanımlanmaktadır (Farley, 2001; Thornton, 2005). İzole bölge içerisine bölge dışında kalan alandan su girişinin olmaması gerekmektedir. DMA'lar sınır vanaları kapatılarak oluşturulurlar. DMA içerisindeki suyun debi ve basınç değerleri ölçülerek analiz edilir. DMA giriş debisindeki anlık değişimler ile yeni oluşan sızıntılar çok daha erken fark edilir. Böylelikle yüksek miktarda su kaybı olmadan arıza konumları tespit edilir. DMA oluşturulması ile BABE konseptinin temelini oluşturan farkındalık, lokasyon belirleme ve tamirat sürelerinde önemli ölçüde düşüş gerçekleşmektedir. DMA'ların sınırları tanımlandığı için gece debileri düzenli olarak izlenerek alan içerisinde yüzeye çıkmayan su kayıpları tespit edilir. Aynı zamanda basınç yönetimi yapılırken her bir bölge için en uygun basınç seviyesi belirlenmektedir.

BABE konsepti (Patlak ve arka plan kayıp hesaplamaları tekniği), tahmin edilen su kaybı seviyesini modellemek ve sızıntı yönetim politikası geliştirmektir. Su kayıplarını kontrol edilmesindeki en önemli prensip su arızalarına müdahale edilmesinde geçen ortalama süreyi azaltmaktır. Gece debisi ölçümleri BABE konseptinin en önemli bileşenidir. (Lambert, 1996). “Farkındalık süresi (Awareness Time) - A” bildirilmeyen patlaklar için data”arın toplandığı süreyi ve gece debisinin analiz edilmesi için geçen süreyi belirtir. “Yer belirleme süresi (Location Time) - L” gece debisi eşik seviyeyi aştığında ve DMA'lardaki müdahale etme politikalarına göre hesaplanır. “ Tamirat süresi (Repair time) - R ” patlaklara müdahale edilirken kaybedilen süreyi temsil etmektedir. Patlak başına kaybedilen su hacmi hem debiye hem de geçen süreye bağlıdır. Şekil 2.5.'de verildiği gibi ana borularda meydana gelen kısa süreli patlaktan kaybedilen su hacmi, küçük patlaklardan birkaç gün boyunca kaybedilen sudan daha az hacimdedir. Su dengesi hesaplamaları, aktif sızıntı kontrol metodu tercihleri ve maliyet hesaplamaları ile basınç ayarlamaları için gereken ekonomik durum oldukça önemlidir.



Şekil 2.5. Bildirilen patlaklardan kaynaklanan kayıplara zamanın etkisi (Lambert, 1996)

2.2.3.1. DMA oluşturma kriterleri

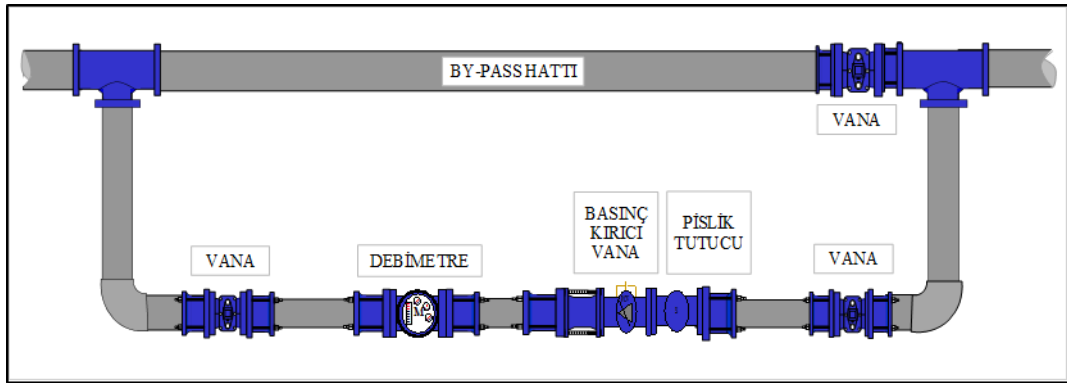
DMA oluşturulurken; maliyet, boru direnç indeksi, su kalitesi, topoğrafya, akarsu gibi doğal sınırlar, ekonomik seviye, çalışma alanının büyüklüğü, abone sayısı ve abonelik türleri gibi faktörler dikkate alınmaktadır (Farley, 2001; Oertlé ve Knobloch, 2010; Savić ve Ferrari, 2014; Scibetta ve ark., 2014).

DMA tasarlayarak su kaybını azaltan ilk uygulamalardan biri olan (Farley, 2001)'e göre DMA tasarlarken sızıntının ekonomik seviyesi, çalışma alanının büyüklüğü ve içinde bulunan mülklerin sayısı, zemin seviyesindeki değişim ve su kalitesi dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. DMA oluştururken saha koşullarını dikkate alarak karar verme mekanizmasına önem veren çalışmalar olduğu kadar, sadece hidrolik model üzerinden senaryolar oluşturarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, DMA tasarım yöntemi olarak sadece abone sayısı baz alınarak DMA'lar oluşturulmuştur. (Alvisi ve Franchini, 2014; Scibetta ve ark., 2014). Amerika'da yapılan başka bir çalışmada ise mevcut su dağıtım sistemi üzerinde sadece hidrolik model üzerinden 2 farklı DMA tasarımı yapılmıştır. Yangın senaryolarına karşı ve su kalitesi üzerinden

kıyaslamalar yapılmıştır (Grayman ve ark., 2009). Farklı senaryolar oluşturarak mevcut sistemi test eden başka bir çalışmada ise mevcut DMA dizaynının yanı sıra 5 farklı senaryo da model üzerinde oluşturulmuş ve su kaybı miktarları kıyaslanmıştır (Samir ve ark., 2017).

Savić ve Ferrari (2014)'ye göre seçilen bölgede maliyet, direnç indeksi, su yaşı verilerine göre mümkün olan sayıda DMA tasarımı yapıp, birbirleri ile kıyaslanarak maliyet ve su kazancı açısından optimum sonuç veren DMA tasarımının seçilmesi gerekmektedir. DMA'ların bu kriterleri baz alarak tasarlanması ile hem sağlıklı su sağlanması hem de uygun basınçla su verilmesi açısından sıkıntı yaşanmayacağı vurgulanmıştır. Portekiz'de yapılan bir çalışmada ise çalışma alanındaki bağlantı noktalarına göre 2 farklı senaryo şeklinde 3 DMA içeren sistem tasarlamışlardır. 2 farklı senaryoyu birbirleri ile kıyaslamışlardır. Basınç yönetim çalışması yapılmamıştır (Gomes ve ark., 2012). Yunanistan'ın Kos ve Kozani şehirlerinde yapılan DMA ve PMA oluşturma çalışmalarında basınç kırılarak su kaybının azaltılması hedeflenmiştir. DMA'lar basınç noktaları baz alınarak oluşturulmuştur. Farklı senaryolar üzerinden en etkin basınç yönetim metodu seçilmiştir (Kanakoudis ve Gonelas, 2014).

DMA tasarlanırken gerekli durumlarda kullanılmak üzere by-pass hattının da dahil edilmesi gerekmektedir. Bypass hattının yapılmasının sebebi aboneleri susuz bırakmadan DMA bakımının yapılabilmesidir. Suyun abonelere by-pass hattından verilmesinin dezavantajı ise, DMA içerisinde basınç kırılıyorsa devre dışı kalacağından bölge içinde su basıncı yükselecek ve arıza verme ihtimalinin de artmasıdır. Şekil 2.6.'da DMA içi ekipmanlara ve by-pass hattına ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.6. DMA ekipmanları ve By-Pass hattı

2.2.3.2. DMA izolasyon çalışması

DMA'nın diğer şebeke hattından izole olduğunu kanıtlamak, DMA sınırlarını belirlemek ve DMA'ya başka bir bölgeden su girişi olup olmadığını anlamak için sıfır basınç testi yapılması gerekmektedir. DMA alanının içerisine ve dışarısına basınç kaydediciler yerleştirilir. Bölgenin su giriş vanası kapatılır. DMA alanı içerisinde basıncın 0 olması ve dışında ise basıncın değişmemesi beklenir. Alan dışındaki basıncın da 0 olması durumunda DMA sınırları tekrar kontrol edilir.

2.2.3.3. DMA yönetimi

Su dağıtım sisteminde oluşabilecek su sızıntılarını belirlemek sistemin büyüklüğü ve karmaşıklığı açısından kolay değildir. Su şebekesindeki sızıntıların tespit edilmesi için kullanılan en etkili yöntem “minimum gece debisi” hesaplamalarıdır. Abonelerin su tüketimleri gece boyunca asgari düzeye inmektedir. Bu hesaplamaların kullanılabilmesi için şebeke içerisinde belirlenen bir izole bölgede ölçüm yapılması gerekir. Bölgenin giriş debi miktarı ve basınç miktarları bilindiği için gece belli saatler aralığında su tüketimleri kaydedilir. Ölçüm yapılacak alan içerisindeki abone türleri ve yüksek tüketime sahip abonelerin belirlenmesi gerekir. Örneğin yüksek tüketime sahip bir sanayi kuruluşu bölge içerisindeyse abonenin kullandığı su miktarı dikkate alınmalıdır.

Minimum gece debisi ölçümlerinin yapılması için, izole bir bölgede su tüketiminin asgari düzeyde olduğu 02.00-04.00 saatleri arasında debi ölçümü gerçekleştirilir. Ölçümün yapıldığı süre boyunca yüksek tüketime sahip abonelerin su tüketimleri takip edilir ve toplam gece debisinden çıkartılarak net gece debisi bulunur. Gece debisi abone başına ortalama 2 l/h olarak kabul edilir (Farley, 2001). Sızıntı miktarının hesaplanması için, ölçüm yapılan bölgedeki abone sayısı ve ortalama tüketim miktarı çarpılarak gece debisinden çıkartılır.

Sızıntı miktarı aşağıdaki denklik (Denklem 2.5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A - B \times C = \text{sızıntı miktarı} \quad (2.5)$$

A: Saat 02.00-04.00 arasında ölçülen debi miktarı (l/h)

B: Abone sayısı (kişi)

C: Abone başına ortalama gece tüketimi (2 l/h.kişi)

Step test DMA içerisinde su kaybının varlığını belirlemek ve yerini tespit etmek amacıyla sahada uygulanır. DMA içerisindeki vanalar kapatılarak debilerdeki düşüş miktarlarına göre su kaybına sebep olan arızaların yerini belirlemek için uygulanır.

Step teste başlamadan önce çalışma alanının şartları belirlenir. Step testi yapılacak alandaki bina ve abone sayıları tespit edilir. Gece tüketimi yüksek olan ücretsiz aboneler (yurt, hastane gibi) ve tüketimleri kaydedilir. Bölge içerisindeki vanaların çalışma durumu kontrol edilir. Vanaların hangi yöne doğru kapandığının bilgisi not edilir. Alanın içerisinde yer alan sokak isimleri, boruların yerleşimi, debimetre ve vanaların konum bilgileri, DMA sınır vanaları belirlenir (Farley, 2001).

Step teste başlamadan önce bölge içerisine verilen suyun debisi not edilir. DMA içerisindeki en uzak alanı kapsayan vana kapatılır. Debimetrenin okuduğu değer ne kadar düştüğü not edilir. Bölge içerisindeki vanalar debimetreye en uzak noktadan başlayarak teker teker kapatılarak debi değişimleri not edilir. En son DMA vanası kapatılır ve debimetrenin 0'ı göstermesi gerekmektedir. Eğer debi sıfırlanmaz ise

DMA çıkış vanasının tam kapatılamadığı sonucuna varılır. Debi değişimlerinin doğruluğunu denetlemek amacıyla son kapatılan vanadan başlanarak tüm vanalar teker teker açılır ve debi artışları kaydedilir. Test sonucunda kaydedilen debi düşüş miktarları ile abonelerin su tüketim verileri kıyaslanır. Yüksek debi düşüşlerinin yaşandığı bölgelerde yapılacak akustik dinlemeler ile yüzeye çıkmayan su patlakları tespit edilir.

Yeraltında gerçekleşen bir sızıntıdan akustik dalgalar yayılır. Bu akustik dalgalar boru borunca sızıntının iki yönüne doğru yayılır ve genellikle vanalara veya hidrantlara takılmış olan, ses ve sıcaklık değerlerini kaydeden bir cihaz yardımıyla tespit edilir. Akustik dalgalar; boru malzemesine, boru çapına, boru kalınlığına, boru basıncına, çevre zeminine ve diğer faktörlere bağlı olarak yalnızca sınırlı bir mesafeye gider. Bu sebeple mobil akustik cihazlar ile su arızası olduğu öngörülen bölgede akustik dinleme de yapılması gerekir. Büyük bir su arızası kolaylıkla tespit edilebilirken, küçük sızıntıları tespit etmek zordur. Büyük su arızalarında akustik dinleme cihazlarına gerek kalmadan duyularak tespit edilebilir (IWA, 2007; Oertlé ve Knobloch, 2010).

2.2.4. Basınç yönetimi

Su dağıtım şebekesinde kullanılan boruların cinsleri hem insan sağlığı açısından hem de arızaya sebebiyet verme açısından oldukça önemlidir. Boru malzemesi seçimi yapılırken dayanımı yüksek olan ve korozif etkiler sonucu aşınmayacak bir boru tipi belirlenmelidir (Farley, 2001; Thornton, 2005). Kullanılan boru cinsinin esneklik katsayısı olması Tablo 2.2.'de verilen örnekteki gibi boru arızaları sonucu kaybedilen suyun hacmini de etkilemektedir.

Tablo 2.2. Farklı basınç ve materyaldeki borulardaki sızıntı debisi (Oertlé ve Knobloch, 2010)

Arıza Çapı Ø	Boru Cinsi	Sızıntı Üssü	Basınca Göre Su Kaybı (m ³ /h)		
			50 m	40 m	30 m
6 mm	ÇELİK	0,5	1800	1610	1394
6 mm	PE, PVC	1,5	1800	1288	837

Boru arızaları sonucu oluşan fiziki kayıplar toplam su kaybının büyük bir kısmını oluşturur. Sızıntı debisi borudaki su basıncından doğrudan etkilenir. Borudaki su basıncının yüksek olması arıza noktasındaki suyun debisini de yükselterek su kaybını artırmaktadır.

Sızıntı debisi m^3/h cinsinden aşağıdaki denklik (Denklem 2.6) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q = c \cdot h^a \quad (2.6)$$

q: sızıntı debisi

c: sızıntı katsayısı

h: basınç yükü

a: sızıntı üssü

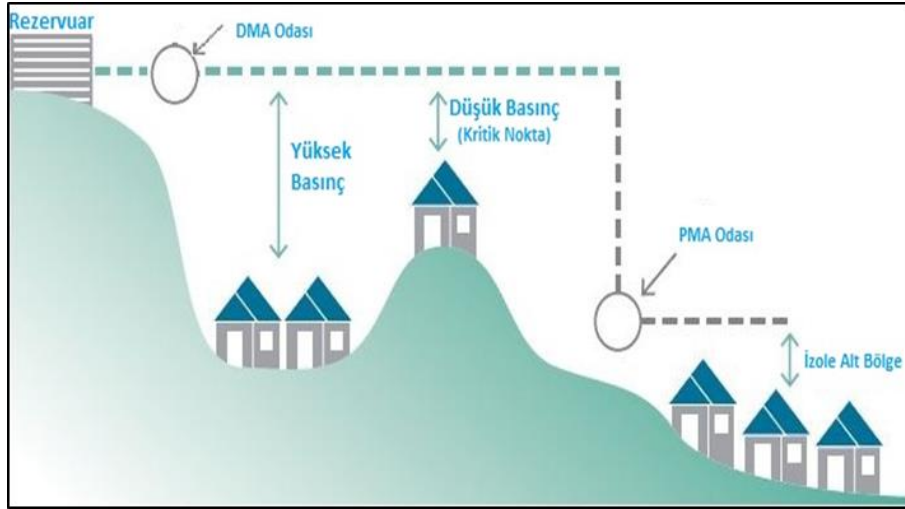
Sızıntı üssü (a), bir sızıntıdan kaynaklanan akış hızını etkileyen faktördür. Basınç-sızıntı ile ilgili saha çalışmalarına göre “a” 0,5-2,79 arasında değişmektedir ve boru cinsine göre değişiklik göstermektedir. Borunun esnek olması doğrudan sızıntı miktarını arttıran bir faktördür (Thornton, 2005). Denklem aynı zamanda tüm su dağıtım sistemi üzerinde basınç yönetimi yapılırken kullanılabilir. Basıncın düşürülmesiyle sızıntı miktarının azaltılması ekonomik olduğu kadar etkili bir yöntemdir. Tablo 2.3.’de verildiği üzere yüksek sızıntının olduğu bölgelerde boru cinsi kadar basınç yüksekliği de önemlidir. Küçük çapa sahip ve düşük basınçtaki sızıntılar bile zamanla yüksek miktarda su kaybına sebep olmaktadır (Oertlé ve Knobloch, 2010).

Tablo 2.3. 50 mSS basınca sahip farklı çaptaki boru patlaklarının sızıntı debisine etkisi

Delik Çapı					Su Kaybı Miktarı						
	mm		l/dk		l/h		m ³ /gün		m ³ /ay		
	0,5		0,33		20		0,48		14,40		
	1,0		0,97		58		1,39		41,60		
	1,5		1,82		110		2,64		79		
	2,0		3,16		190		4,56		136		
	3,0		8,15		490		11,75		351		
	4,0		14,80		890		21,40		640		
	5,0		22,30		1340		32,00		590		
	6,0		30,00		1800		43,20		1300		
	7,0		39,30		2360		56,80		1700		
Basınç (mSS)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Dönüşüm Faktörü		0,45	0,63	0,77	0,89	1,00	1,10	1,18	1,27	1,34	1,41

2.2.4.1. Basınç yönetimi alanı (PMA)

Basınç yönetim alanı (Pressure management area – PMA), giriş ve çıkış debilerinin izlendiği aktif basınç yönetiminin yapıldığı izole alanlardır. Abonelere sağlanan basıncın düşürülmesi ve abonelere gereken farklı basınçların sağlanabilmesi açısından basınç yönetimi yapılması gereklidir. Yüksek basınç sebebiyle yüksek olan tüketimin düşürülmesi ve boru hatlarının arıza oluşma ihtimaline karşı korunması için PMA oluşturulması gerekmektedir. Şekil 2.7.'de basınç yönetimi yapılan örnek bir alana ait örnek bir şablon yer almaktadır.

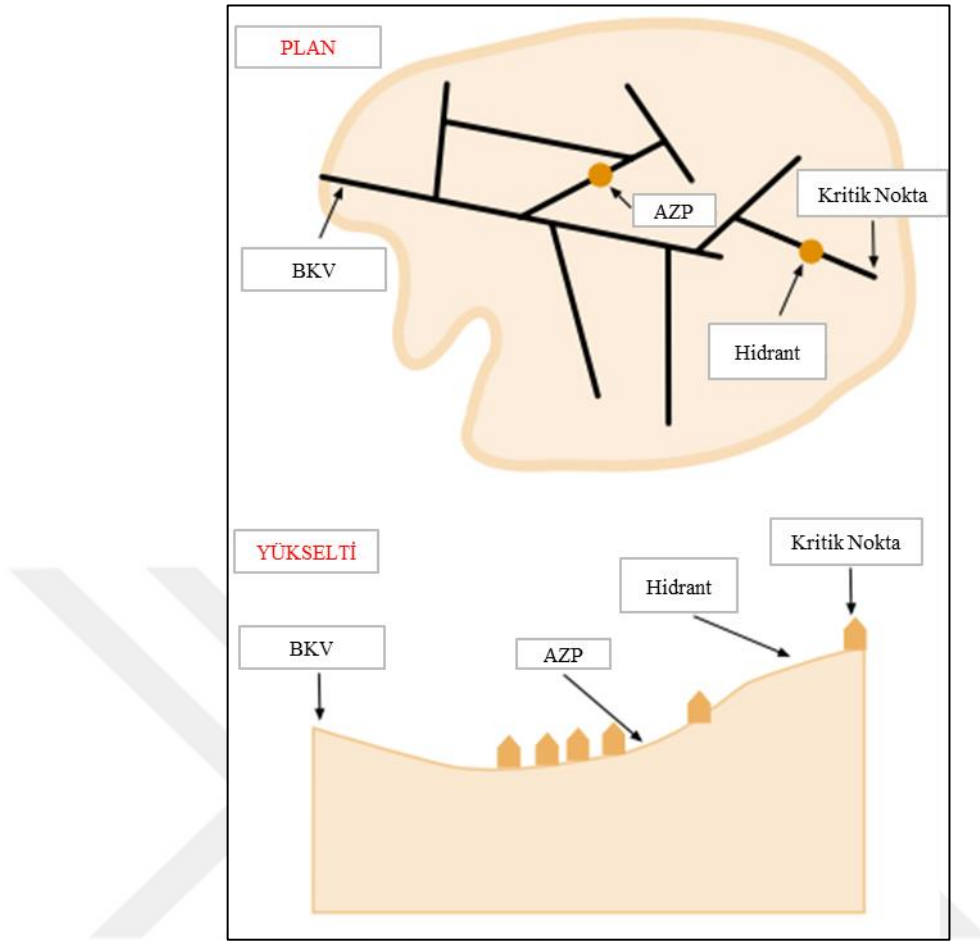


Şekil 2.7. Basınç yönetim alanı örneği (www.mae.gov.nl.ca, 2017)

Basınç yönetim alanı belirlendikten sonra sınır vanaları bölge planından ya da GIS'den yardım alınarak belirlenmelidir. Kritik noktalar ve kritik noktaların yükseklikleri belirlenmelidir. Kritik nokta PMA içerisindeki en düşük basınca sahip olan bölgedir. Maksimum debideki basınç düşürme potansiyeli belirlenmelidir. Bunun için kritik noktadaki minimum basınç verisi kullanılabilir. Bölge içerisindeki bina, abone sayısı ve bu abonelerin tüketim miktarları belirlenmelidir. PMA içerisindeki basıncın azaltılması basınç kırıcı vana (PRV – Pressure reducing valves) ile yapılmaktadır. Örnek bir alanda yapılan basınç yönetimi Şekil 2.8.'de verilmiştir.

PMA planlanırken gereken temel veriler

- Basınç kırıcı vanaların yer ve kot bilgisi
- Kritik noktanın yer ve kot bilgisi
- Minimum bölge debisi ve gece kritik basıncı
- Ortalama basınç bölgesindeki (AZP – Average Zone Pressure) yerleşim yoğunluğu
- Ortalama basınç bölgesinin yer ve kot bilgisi
- Mesken, ücretsiz ve yüksek tüketimli abonelerin sayıları ve tüketim bilgileri
- Sınır vanalarının yeridir.



Şekil 2.8. Su şebekesi üzerindeki basınç yönetimi yapılan örnek alan gösterimi (Farley, 2001)

2.2.4.2. Basınç yönetim metodları

- Sabit çıkışlı basınç yönetimi

Sisteme sürekli olarak sabit oranda basınç uygulanır. Hidrolik model sonuçlarına göre belirlenmiş oranda sabit olarak basınç kırılır. Sabit basınç uygulanmasının avantajı şebeke ömrünün uzaması ve belli miktarda kayıp önlenmesidir. Dezavantajı ise daha fazla sudan kazanç elde edilme ihtimali varken sabit bir kazanç söz konusudur. Gündüz ve gece saatlerinde aynı oranda su sağlandığı için tüketimin az olduğu saatlerde su kazancı fazla olmamaktadır.

- Zamana duyarlı basınç yönetimi

Belirli zaman dilimlerinde farklı oranlarda basınç kırılmasıyla yapılan basınç yönetim sistemleridir. Sistemin çalıştırılması için basınç kırıcı vana haricinde kontrolör cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Kontrolör cihazı yardımıyla PMA içerisindeki verilere uzaktan ulaşılabilir. Sanayi gibi yüksek tüketimli abonelerin olduğu bölgelerde kullanım saatlerinin dışında basıncın maksimum oranda kırılmasıyla daha fazla kazanç elde edilebilir. Olası yangın vb. gibi durumlarda su temininde aksaklıklar yaşanabilir.

- Kritik nokta verisine göre basınç yönetimi

İzole alan içerisinde belirlenen kritik noktaya göre çalıştırılan sistemlerdir. Bu sistemler için kontrolör cihazının yanısıra kritik noktadan veri alışverişini sağlayacak logerlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu basınç yönetim sistemi ile sürekli aynı debide şebekeye su sağlanır. Ancak tüketim miktarlarına bağlı olarak kritik noktayı sürekli aynı basınçta tutmaya çalışacağından basınç kırıcı sık sık devreye girer.

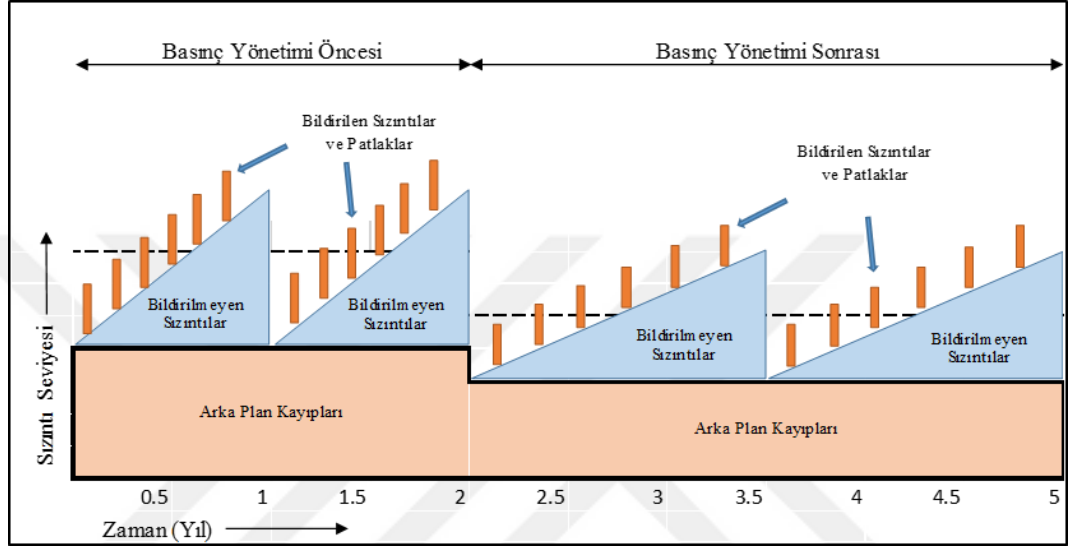
- Debiye duyarlı basınç yönetimi

Belirlenen debi aralıklarında belirlenen basınç çıkışlarını sağlayan sistemlerdir. Sistem için debimetre ve kontrolör sistemlerinin bulunması gerekir. Debiye duyarlı olarak çalıştığı için gece tüketimin minimum olduğu saatlerde daha fazla oranda basınç kırılmasına imkan verirler. Tüketimin az olduğu saatlerde daha fazla su kazancı sağlanır. Ancak izole bölge içerisindeki debi değişimleri çok iyi analiz edilmemesi durumunda abonelere su temini kısıtlı olarak sağlanır (Farley, 2001).

İzole bölgelerde basınç yönetimi yapılırken, basınç yönetim metotları bölgelerin ihtiyaçlarına göre birbirleri ile entegre şekilde kullanılabilirler. Seçilen basınç yönetim metotları uygulandıktan sonra sızıntı seviyelerindeki düşüşü gösteren grafik Şekil 2.9.'da verilmiştir.

Basınç yönetimi yapılarak;

- Bildirilerin sızıntıların debileri ve sıklığı azalır.
- Bildirilmeyen sızıntıların görülme sıklığı azalır.
- Su arıza onarımlarının sıklığı ve maliyeti azalır.
- Arka plan sızıntıları azalır.



Şekil 2.9. Basınç yönetiminin fiziki kayıplar üzerindeki etkisi (Farley, 2001)

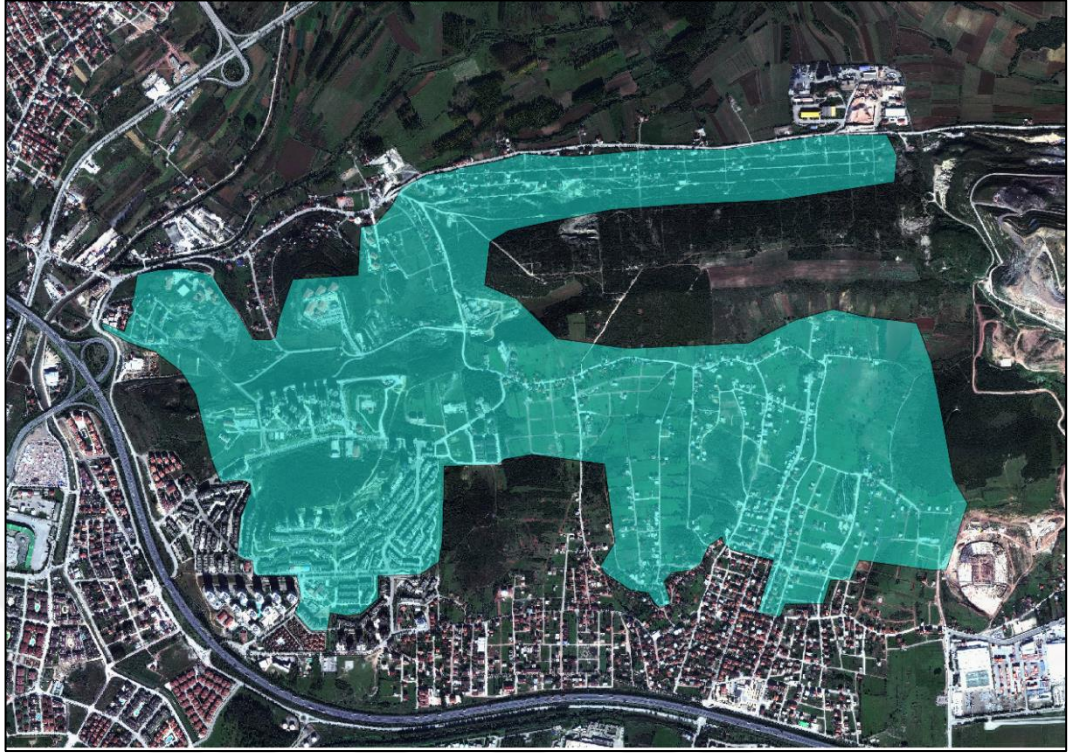
Bu çalışmada Kocaeli ili içerisinde yer alan bir bölgenin su dağıtım sistemindeki su sızıntılarını azaltmak için hidrolik modelleme ile basınç yönetim çalışması yapılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Uygulama Alanı Özellikleri

Çalışma alanı olarak Kocaeli İli İzmit İlçesi sınırları içerisinde bulunan bir alan seçilmiştir. Şekil 3.1.'de verilen çalışma alanının yüzölçümü 315 ha olup, bölge içindeki nüfus 13458 kişidir. Bu veriler TUİK adrese dayalı nüfus sistemi üzerinden alınmıştır. Nüfus yoğunluğu 42 kişi/ha'dır. Modelleme yapılan bölge sınırları içerisinde 4828 adet su aboneliği mevcuttur. Bu aboneliklere ait bina bağlantı sayısı 877 tanedir.

Alt yapı elemanları olarak çapları Ø 32 – 315 mm arasında değişen borular bulunmaktadır. Bölge sınırları içerisinde yer alan arazi kotları 14 – 139 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.1. Uygulama alanı

3.2. Kullanılan Hidrolik Model

Bu çalışmada içme suyu hatlarının hidrolik modellenmesi WaterCAD programı ile yapılmıştır. Bu yazılım ile yapılması planlanan yeni su şebekelerinin tasarımı ve mevcut içme suyu hatlarının hidrolik gereksinimlerini hesaplanabilir, mevcut içme suyu ağının yeterliliği incelenebilir. Sistem üzerinde soruna sebep olabilecek bölgeler ve durumlar belirlenebilir. Hidrolik modelleme ile birlikte içme suyu hatları üzerinde yapılacak iyileştirmelerde zaman ve iş yükü kazancı sağlanır.

3.2.1. Model girdileri

Hidrolik model oluşturulurken ilk adım olarak saha elemanları tanımlanarak tespit edilmiştir. Bu saha elemanları içme suyu hatları ve bu hatlar üzerinde bulunan depo, boru, vana ve hidrantlardan oluşmaktadır. GIS ile hidrolik modelin beraber kullanılması modelin gerçek verilere yakın hesaplama yapması açısından oldukça

önemlidir ve modelin doğruluğunu artırmanın yanı sıra uygulama kolaylığı açısından birçok faydası bulunmaktadır (Coelho ve Andrade-Campos, 2014).

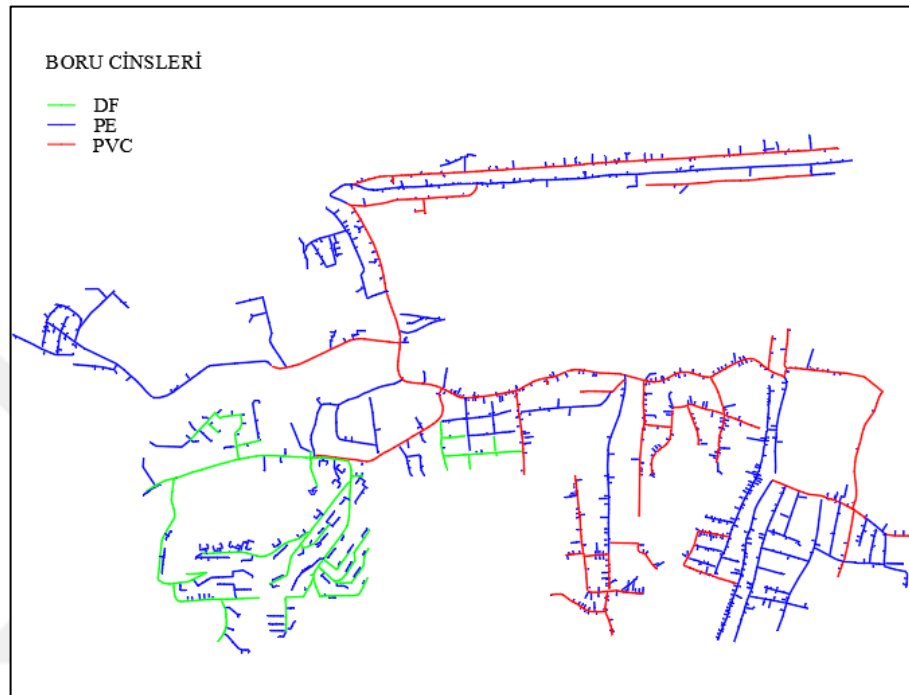
3.2.1.1. Boru bilgileri

Çalışma alanı içerisinde 3 tip farklı boru cinsi bulunmaktadır. Bu borulara ait çap ve uzunluk bilgileri CBS ortamında işlenerek modele aktarımı yapılmıştır. Bölgede bulunan boruların çapları, uzunlukları ve cinsleri Tablo 3.1.'de listelenmiştir. Boru cinsleri yerleşim alanlarının yıllara göre gelişimiyle değişiklik göstermektedir. Belediyeler yeni yerleşim yerlerinde değişen teknoloji ile orantılı olarak farklı tiplerde borular kullanmaktadır. Kullanılan boruların saha koşullarına dayanıklılığı farklılık göstermektedir. Boruların döşendiği zemin yapısı, kullanılan dolgu malzemesi, üzerinden geçen araçların ağırlıkları, farklı cinsteki boruları birleştiren bağlantı ekipmanları gibi durumlar boruların dayanımını azaltan dış etkenlerdir. Kullanılan boru cinslerinin kullanım ömrü söz konusudur ve bu malzemeler yıllar geçtikçe özelliklerini kaybetmeye başlarlar.

Tablo 3.1. Boru bilgileri

Boru Çapı (mm)	Boru Cinsi ve Metrajı			Toplam Boru Uzunluğu (m)
	DF	PE	PVC	
32		16858,89		16858,89
50		116,55	566,75	683,31
63		26,23	23,21	49,44
75		4659,85	1323,45	5983,30
80	1269,96			1269,96
90		6922,96	6643,02	13565,98
100	2382,43			2382,43
110		533,31	3536,31	4069,62
150	1622,89			1622,89
160		505,36		505,36
200	761,69	702,96		1464,65
315		31,91		31,91
Toplam (m)	6028,61	30366,39	12092,74	48487,74

Çalışma alanında kullanılan boru cinslerinin bölge içindeki dağılımları Şekil 3.2.'de verilmiştir. Alan içerisinde PE (Polietilen) boruların metraжі en fazladır. PVC (Polivinil klorür) borular bölgede en eski yerleşimin olduğu alanlarda kullanılmıştır. DF (Düktil font) boru kullanılan alanlar ise yeni yerleşimin olduğu kısımlardır.



Şekil 3.2. Çalışma alanı boru cinsleri

3.2.1.2. Vana bilgileri

Bölgede bulunan vana sayısı ve bulundukları konumlar işletme açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun birkaç sebebi bulunmaktadır. Herhangi bir arıza durumunda, vanaların sistem üzerindeki konumlarına bakılarak çalışma süresi boyunca su kesintisinin daha küçük bir alanı kapsamayı sağlanabilir. Bölgeler arası su geçişi yapılan noktalarda bulunan kapalı vanalar sayesinde; depo temizlikleri, borularda oluşan sızıntı tamirleri gibi durumlarda ve gerekli görüldüğünde vana açılarak bölgelerin farklı bir şekilde su almaları sağlanabilir.

Çalışma alanı içerisinde 46 adet vana bulunmaktadır. Bölgede bulunan vanaların çap, kot ve durum bilgilerinin bir kısmı Tablo 3.2.'de listelenmiştir. Vanalar 29 – 121 m

arasında değişen kotlarda yer almaktadır. Vanaların 6 tanesi Ø 50 mm, 30 tanesi Ø 100 mm, 7 tanesi Ø 150 mm ve 3 tanesi Ø 200 mm çapına sahiptir. 42 vana açık ve 4 vana kapalı durumdadır.

Tablo 3.2. Vana bilgileri

Vana Adı	Kot (m)	Vana Çapı (mm)	Durum
GPV-1	29,62	100	KAPALI
GPV-2	29,65	100	KAPALI
GPV-3	34,17	50	AÇIK
GPV-4	34,43	150	AÇIK
GPV-5	35,70	50	AÇIK
GPV-6	38,88	100	AÇIK
GPV-7	39,19	100	KAPALI
GPV-8	41,88	50	AÇIK
GPV-9	43,83	100	AÇIK
GPV-10	45,67	100	AÇIK

3.2.1.3. Hidrant bilgileri

Hidrantlar yer aldıkları konum itibarıyla bölge içerisinde herhangi bir yangın çıkması durumunda acilen müdahale yapılacak noktalardır. Hidrantlardan anlık yüksek miktarda debi çekilerek yangınlara müdahale edilebilir ve gerekli durumlarda hidrant üzerinden boruların içindeki suyun tahliyesi sağlanabilir. Bölgede bulunan hidrantlara ait kot bilgileri Tablo 3.3.'de listelenmiştir. Çalışma alanında 8 adet hidrant bulunmaktadır ve bu hidrantlar 13 – 105 m kotları arasında yer almaktadır.

Tablo 3.3. Hidrant kot bilgileri

Hidrant Adı	Kot (m)
H-1	13,42
H-2	92,17
H-3	46,27
H-4	38,86
H-5	75,12
H-6	105,76
H-7	46,91
H-8	97,69

3.2.1.4. Kot bilgileri

Modelleme yapılmadan önce kullanılacak verilerin doğru şekilde toplanması ve bu verilerin modelleme için kullanılması, oluşturulacak modelin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Çalışma alanından toplanan verilerin içinde arazinin kot bilgileri de yer almaktadır. Araziye ait kot bilgileri GPS cihazı yardımı ile koordinatlı bir şekilde toplanır ve bilgisayar ortamına yüklenir. Bu kot bilgilerinin x, y ve z noktaları CBS programına işlenerek modellemeye uygun hale getirilir. Sahadan toplanan her bir koordinatlı nokta için GIS ortamına aktarım yapılır. Çalışma alanı içerisinde 10 – 140 m kotları arasında değişen boru hatları ve saha elemanları mevcuttur.

3.2.1.5. Tüketim türleri

Yerleşim alanlarının içerisinde farklı tüketim türlerinde birçok abonelik bulunmaktadır. Bu abonelere ait veriler su tüketimini doğrudan etkilemektedir ve modelde farklı sonuçlara sebep olmaktadır. Model sonucunun gerçek verilere yakın olmasını sağlamak için bölgedeki tüketim türlerini doğru analiz etmek gerekir. Mesken abonelerinin sayısı yerleşim yerlerine göre farklılık göstermekle birlikte genellikle çoğunluğu oluştururlar. Her bir abonelik türünün farklı su kullanım eğrileri vardır. Bu eğriler modelin tüketim grafiğini oluşturarak bölgenin saatlik su kullanım miktarının elde edilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde hastane ve sanayi kuruluşları gibi yüksek tüketime sahip abonelerin yanında okul, devlet dairesi ve inşaat gibi abonelikler de mevcuttur. Ancak abonelik türleri içinde en geniş kısmı mesken abonelikleri oluşturmaktadır. Bölge içerisindeki abone türleri ve dağılımları Tablo 3.4.'de verilmiştir. Çalışma alanı içerisinde; mesken aboneleri 4722, işyeri aboneleri 49, Resmi (okul, devlet dairesi, vakıf ve dernek) aboneler 15, inşaat aboneleri 36, hastane abonesi 1 ve sanayi aboneleri 5 olmak üzere toplam 4828 adet su aboneliği bulunmaktadır.

Tablo 3.4. Abone türleri ve sayıları

Abone Türleri	Abone Sayısı
Mesken	4722
İşyeri	49
Resmi	15
İnşaat	36
Hastane	1
Sanayi	5

3.2.1.6. Depo verileri

Depo, çalışma yapılacak bölgeye su dağıtımının başladığı kısımdır. Depo hacmi bölgedeki su ihtiyacının karşılanmasına yetecek büyüklükte olmalıdır. Depolar genellikle su seviyesi esaslı işletilirler. Depo seviyesi belirlenmiş bir seviyenin altına düştüğü anda su kaynağından depoya su aktarımı gerçekleştirilir. Modelleme için depo su seviyesi, suyun herhangi bir noktada yapmış olduğu basıncı doğru analiz edebilmemiz için önemlidir. Çalışma alanında bulunan deponun su seviyesi 140 m'dir.

3.2.1.7. Tüketim deseni oluşturulması

Hidrolik modeldeki temel verilerin ve hesaplamaların tamamı su tüketimine bağlı olarak değişim gösterdiği için tüketim deseninin oluşturulması gerekir. Bu hesaplama için bölgeye su dağıtımını sağlayan depoya ait 3 aylık saatlik ortalama debi tüketimleri Tablo 3.5.'de verilmiştir. Debi değerlerinin 24 saatlik her bir saat için ortalamaları listelenmiştir. Ardışık günlerin aynı saatlerindeki debi ortalamaları alınarak her bir saat için ortalama değerler oluşturulmuştur. Bütün ortalamalar alınarak 24 saatlik tek bir ortalama değere ulaşılmıştır. Bu genel ortalama değer, 24 saatlik her bir saat için alınan ortalama değere bölünerek çarpan değerleri oluşturulmuştur. Çarpan değerlerinin ortalaması 1'i vermelidir. Saatlik çarpan değerlerinin grafiği oluşturulmuş ve modele depoya ait desen girilmiştir. Bölge içinde bazı noktalardan debi ve basınç ölçümleri yapılarak bu lokasyonlara ait desenler de modele girilmiştir. Tüketim türlerine göre yapılan sınıflandırmalarda her farklı tür aboneliğin saatlik farklı tüketim eğrileri vardır. Örneğin mesken aboneliğinin tüketim eğrisi ile okul aboneliğinin tüketim eğrisi arasında büyük farklılıklar vardır. Bu sebeple abonelik türlerine göre de desenler

oluşturularak modele girilmiştir. Girilen her bir veri modelin gerçek saha koşullarına yakınlığını arttırmaktadır.

Tablo 3.5. Saatlik ortalama debi tüketimleri

Saat	Tüketim Ort.
0	25,90
1	19,85
2	14,97
3	12,64
4	13,31
5	14,61
6	16,94
7	23,40
8	25,93
9	29,14
10	32,16
11	33,29
12	35,65
13	34,55
14	33,10
15	31,14
16	30,69
17	32,32
18	34,04
19	37,22
20	36,37
21	33,70
22	29,32
23	29,84
Ortalama	27,50

3.2.2. Model arka plan hesaplamaları

Hidrolik model, coğrafi bilgi sistemleri ile toplanabilecek maksimum veri ile doğru orantılı olarak gerçek saha koşullarına yakın sonuçlar vermektedir. WaterCAD arka planında kullanılan hesaplamalar hidrolik prensiplere dayanmaktadır.

Termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumuna göre, mevcut olan enerji kaybolmayarak (şebekelerde bu potansiyel enerjidir) sadece form değiştirir. Bu

prensiple ifade edilen enerji; toplam sistem enerjisinden, potansiyel, kinetik ve moleküler enerjilerinin toplamının farkı olarak nitelendirilebilir. İçmesuyu dağıtım şebekelerinde moleküler değişimlerin miktarı az olduğu için bu değerler dikkate alınmaz.

Hidrolik uygulamalarda enerji; basınç yükü, kot yükü ve hız yükü olmak üzere üç parça halinde temsil edilir. Enerji denklemi kullanılarak iki konum arasındaki yük eşitliği tanımlanır. Basınç yükü (P/γ), kot yükü (z) ve hız yüküne ($V^2/2g$) ek olarak pompa ile kazandırılan yük sisteme ilave edilir, sürtünmeden kaynaklı yük sistemden çıkartılır.

Bernoulli hesabı aşağıdaki denklik (Denklem 3.1) kullanılarak hesaplanmıştır (İller Bankası, 2013).

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (3.1)$$

P = Basınç (N/m^2)

γ = Özgül ağırlık (N/m^3)

z = Kot (m)

V = Hız (m/s)

g = Yerçekimi ivmesi sabiti ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h_p = Pompadan kazanılan yük (m)

h_L = Toplam yük kaybı (m)

Enerji denkleminin bileşenlerini ifade etmek için hidrolik eğim ve enerji eğimi olmak üzere iki farklı tanımlama kullanılır. Hidrolik eğim, basınç yükü (P/γ) ve kot yükünün (z) toplamına eşittir. Bu değer hidrolik modelde; hidrolik eğim, hidrolik eğim çizgisi veya HGL olarak adlandırılır. Enerji eğimi, hidrolik eğim ve hız yükünün ($V^2/2g$) toplamıdır. Bu değer hidrolik modelde; enerji eğimi, enerji eğim çizgisi veya EGL olarak adlandırılır.

Enerjinin korunumu prensibine göre düğümler (boru bağlantı noktaları) arasındaki yük kayıpları denge içerisinde olmalıdır. Basınçlı şebekelerde, sistemdeki herhangi iki nokta arasındaki yük kaybı yön seçiminden bağımsız olarak aynı olmalıdır. Enerji, sisteme enerji veren bir kaynak olmadıkça (pompa gibi) akış yönünde azalmalıdır.

WaterCAD içerisinde yük kaybı hesap yöntemi olarak Manning, Darcy-Weisbach ve Hazen-Williams yöntemleri ile çalışabilir. Bu çalışmada yük kaybı hesap yöntemi olarak Hazen-Williams seçilmiştir. Hazen-Williams formülü basınçlı boru şebekelerinin analizinde sürtünme ile kaybedilen enerjinin hesaplamasında kullanılır. Tablo 3.6.'da boru cinslerine göre pürüzlülük katsayısı verilmiştir.

Tablo 3.6. Çalışma alanındaki boru cinslerine ait C katsayısı (Connell, 2001)

Boru Cinsi	C Katsayısı
PE	150
PVC	150
DF	130

Yük kaybı hesabı aşağıdaki denklik (Denklem 3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$H = \left(\frac{Q}{0,279 * C * D^{2,63}} \right)^{1,85} \quad (3.2)$$

Q = Debi (m³/s)

C = Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı

D = Borunun iç çapı (m)

H = Hidrolik eğim (m/m)

3.2.3. Hidrolik modelleme ile DMA oluşturulması

Çalışma alanı içerisindeki DMA'lar oluşturulurken abone sayısı, boru metrajı, basınç farkı, yüksek sızıntı oranı ve tüketim miktarları bir bütün olarak dikkate alınmıştır. Bölge özelliklerine ve su kayıp miktarlarına göre her DMA için farklı kriterlere öncelik

verilerek bölge 6 DMA'ya ayrılmıştır. DMA-1, DMA-2, DMA-3, DMA-4, DMA-5 ve DMA-6 olarak isimlendirilmiştir.

Abone Sayısı: Çalışma alanı içerisindeki abone sayısı su tüketim miktarı hakkında fikir verir. Su tüketim miktarı abone sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bölge içinde DMA-1 ve DMA-6 oluşturulurken abone sayısı kriteri dikkate alınmıştır.

Boru Metraji: Bölge içerisinde su dağıtım yapılan hattın metraji büyük önem taşımaktadır. Su iletim hattının uzunluğu, dallanmış yapısı, boru cinsleri ve çapları modelleme açısından önemlidir. Abone sayısı az olan ancak boru metraji fazla olan kısımlar için DMA oluşturulması için gereklidir. Bu DMA'lardaki tüketim miktarları yüksek olmayabilir ancak olası bir su sızıntısının bulunması açısından oluşturulması önemlidir. DMA-3 ve DMA-4 boru metraji kriteri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Basınç Farkı: Su dağıtım yapılan bölge içindeki arazi eğimleri farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar hidrolik modellemede sistem çözümlenirken sıkça karşılaşılan bir durumdur. Su dağıtım sistemi tasarlanırken bölge içindeki abonelere su dağıtım yapılan boruların yakın kotlarda olması tercih edilir. Kot seviyeleri arasındaki farklılıkların hidrolik açıdan karşılığı basınç farkıdır. İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik'i gereği abonelere gelen basınç miktarı 30 – 60 mSS arasında olması gerekmektedir (İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik, 2017). İçme suyu hatlarındaki basınç miktarı ile birlikte sızıntı oluşması ihtimali de yükselir. Çalışma alanında basınç farkının fazla olduğu bir bölgeye DMA-5 oluşturularak çözüm üretilmiştir.

Yüksek Sızıntı Oranı: Boru metraji, abone sayısı, basınç farkı ne kadar olduğu farketmeksizin sızıntı oranının yüksek olduğu kısımlarda DMA oluşturulması gerekmektedir. Bölgenin takibi hem işletme açısından hem de su kayıplarının azaltılması açısından önemlidir. DMA-3 ve DMA-4 oluşturulurken, bölgeler yüksek sızıntı oranına sahip olduğu için bu kritere de öncelik verilmiştir.

Tüketim Miktarı: Abone sayısı ile tüketim miktarı doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak abone miktarı fazla olmasa da yüksek tüketime sahip aboneler de sistem

içerisinde bulunmaktadır. Hastane, okul gibi aboneler yüksek su tüketimine sahiptirler. Bu tarz alanların da takip edilmesi su kayıplarının kontrolü için önemlidir. DMA-1 ve DMA-2 oluşturulurken abonelerin tüketim miktarları da dikkate alınmıştır.

3.2.4. Hidrolik modelleme ile PMA'ların oluşturulması

Çalışma alanında DMA'lar oluşturularak debi, basınç ve bölge içi tüketim karakteristiklerinin takibi yapılmaktadır. DMA'lar üst seviyede basınç yönetiminin yapıldığı alanlar değildir. Aktif basınç yönetim çalışması için bölge içinde basınç farkının yüksek olduğu alanlara PMA yapılarak küçük izole alanlar oluşturulmuştur. PMA oluşturulacak alanda bulunan bina bağlantı noktalarının birbirlerine yakın yükseltide olması, basınç yönetimi yapılırken düşürülecek basıncın maksimum seviyede olmasını sağlamıştır. PMA'lar; abone sayısına, boru metrajına, tüketim miktarına, su kaybı miktarına göre oluşturulabilirler. Ancak PMA oluşturulurken en önemli kriter basıncın düşürülmesidir. PMA alanları da DMA'lar gibi bölgenin en düşük basınç alan bölgesine göre ayarlanmıştır. Basınç seviyesi ortalaması düşürülerek yapılan su arızalarının tekrarlanmaması ve boru dayanımının artırılması amacıyla çalışma alanı içinde 5 adet PMA oluşturulmuştur.

3.2.5. Basınç yönetimi

Basınç yönetim çalışmaları için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bölge içinde yer alan kritik noktadaki basınç seviyesi en önemli kriterdir. Kritik nokta basınç seviyesine göre basınç düşürme işleminin uygulanması, bölge içinde yer alan tüm abonelere su sağlayacaktır. Bölge içinde tüketimin az olduğu gece saatlerinde kritik noktadaki basınç maksimum; tüketimin fazla olduğu öğlen ve akşam saatlerinde ise minimumdur. DMA çıkış basıncı kritik noktadaki en düşük basınç seviyesine göre ayarlanarak sabit bir basınç yönetimi uygulanabilir. Ancak bölge içindeki kullanım karakteristiklerine göre farklı işletme koşulları uygulanarak su kaybını minimum seviyelere düşürmek gerekir. Yapılan çalışmalarda; DMA-1 ve DMA-6'da kritik nokta basınç metoduna, DMA-2'de debiye duyarlı basınç metoduna, DMA-3 ve DMA-5 zamana duyarlı basınç metoduna ve DMA-4'de ise sabit çıkış basınç metoduna göre

işletme yapılmıştır. Oluşturulan PMA’larda sabit çıkışlı basınç yönetim metodu uygulanmıştır.

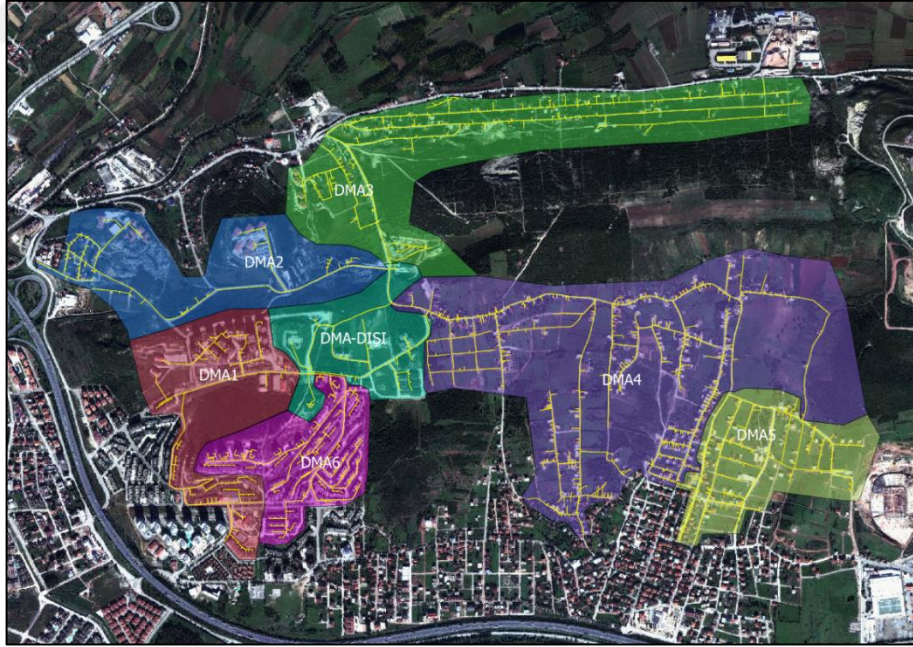
DMA sınırları içinde yer alan aboneler analiz edilmiştir. Bu abonelere ait temin ve tahakkuk miktarları arasındaki değişime göre bölge içindeki su kayıp oranları çıkartılmıştır. Su kayıp oranı yüksek olan DMA’lar için de step test ve akustik dinleme yapılarak su kayıpları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu yapılan çalışmalar ile su kayıp miktarı azaltılmıştır.



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Hidrolik Model ve DMA'ların Oluşturulması

Çalışma alanı için oluşturulan hidrolik modelde bölge 6 DMA'ya ayrılmıştır. Şekil 4.1.'de DMA'ların planları yer almaktadır. Bu 6 DMA alanı için bölge ihtiyaçlarına göre farklı DMA oluşturma kriterleri uygulanmıştır. Abone sayısı, boru metrajı, basınç farkı, yüksek sızıntı oranı, tüketim miktarı gibi veriler ile DMA'lar oluşturulmuştur. Oluşturulan DMA'lar dışında bölgede 5 adet PMA da oluşturulmuştur. DMA ve PMA'lar ile birlikte bölgede basınç yönetim çalışması yapılarak optimum basınç seviyeleri ayarlanmıştır.



Şekil 4.1. DMA planları

DMA'lar basınç ve debi değişimlerinin anlık takibinin yapıldığı alanlardır. DMA içerisinde yer alan abonelerin basınç seviyeleri model üzerinden belirlendikten sonra

bu alan içerisindeki en düşük basınç seviyesinin olduğu noktaya göre DMA çıkış basıncı ayarlanmıştır. Basınç seviyeleri abone bağlantılarında İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik sınır değeri olan 30 mSS seviyesinin altına düşmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

- DMA-1

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 4391 m, toplam abone sayısı 1461'dir. Bölge içerisinde kotları 30 – 115 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA içerisinde; 1421 mesken, 27 işyeri, 11 resmi, 1 inşaat ve 1 cami aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı abone sayısı ve tüketim miktarı göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. DMA içindeki su temin miktarı 7,23 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 5,37 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 1,86 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir.

Basınç yönetimi metodu olarak kritik nokta basıncına göre işletme yapılmıştır. Basınç yönetimi ile minimum basınç alan bölgenin sabit bir basınç seviyesinde tutulması amaçlanmıştır. DMA çıkış basıncı ile kritik nokta basınç seviyesi birbirlerine yakın olduğu için kritik nokta seviyesine göre basınç yönetimi metodu uygulanmıştır. Bu sayede kritik noktadaki su abonelerinin yeterli su alabilmesi sağlanmıştır. Yapılan basınç yönetim çalışması DMA içerisindeki alanın tamamına yeterli olmadığı için PMA oluşturularak basınç istenilen seviyeye düşürülmüştür. Oluşturulan DMA-1 ve PMA-1 sınırları Şekil 4.2.'de verilmiştir. DMA içinde basınç seviyelerindeki değişimler sonucunda, basıncın yüksek olduğu ve kot seviyelerinin birbirlerine yakın olduğu alan belirlenerek PMA-1 oluşturulmuştur.

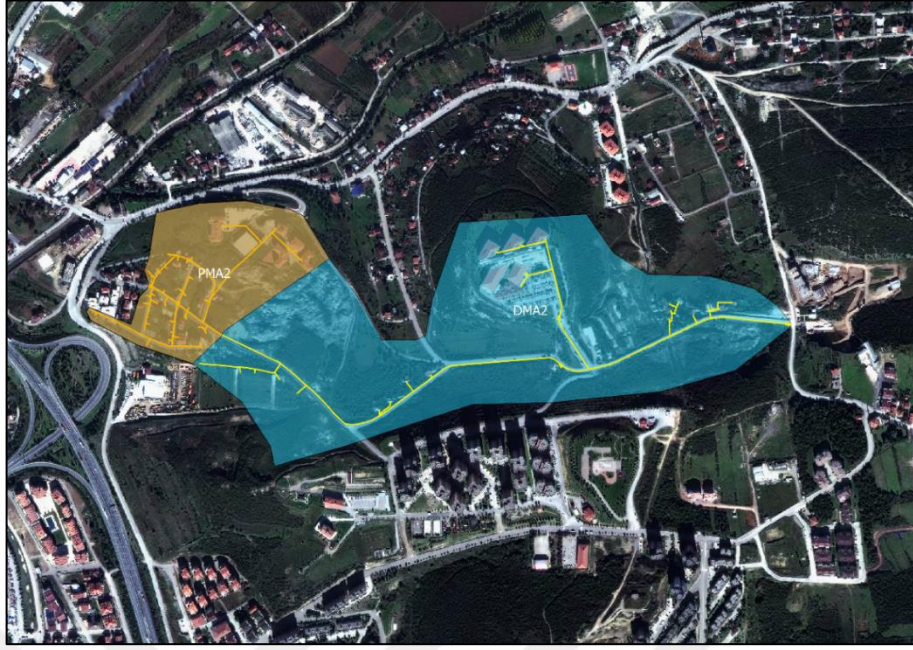


Şekil 4.2. DMA-1 ve PMA-1 planı

- DMA – 2

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 3814 m, toplam abone sayısı 139'dur. Bölge içerisinde kotları 25 – 92 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 135 mesken, 1 işyeri, 1 inşaat, 1 resmi ve 1 hastane aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı tüketim miktarına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 4,70 l/s ve normal (mesken, işyeri, inşaat) tüketime sahip abonelere ait tahakkuk miktarı 0,53 l/s'dir. Bölge içinde yer alan yüksek tüketime sahip abonelere (hastane, okul) ait tahakkuk miktarı 2,15 l/s'dir. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 2,02 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir.

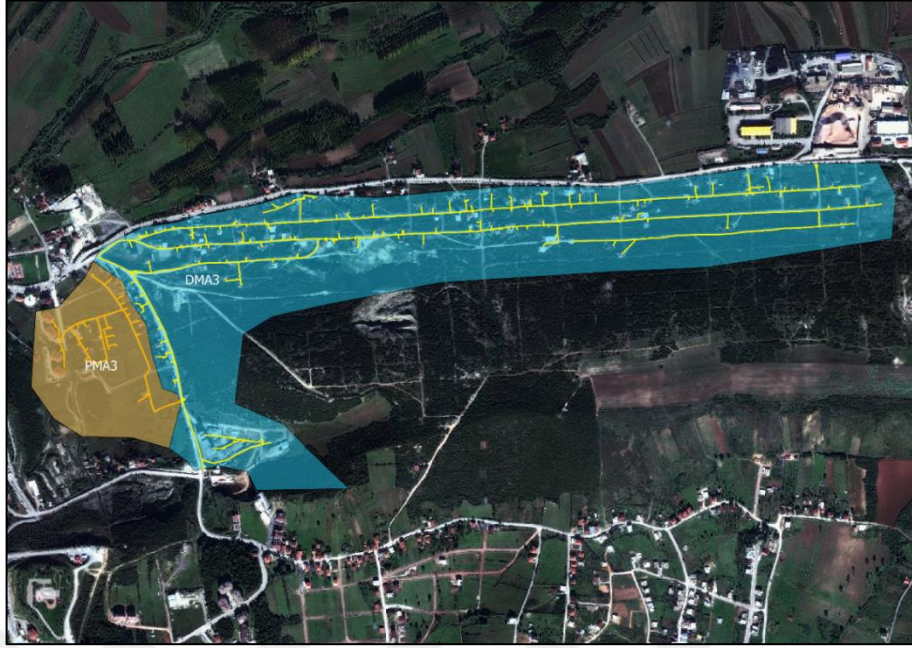
Basınç yönetimi metodu olarak debiye duyarlı işletme yapılmıştır. Yüksek tüketim aboneliğine ait tüketimler fazla olduğu için, bu abonelerin kullanımlarına göre basınç yönetimi yapılmıştır. DMA-2 alanı içerisinde basınç yönetimi için PMA alanı da tasarlanmıştır. Oluşturulan DMA-2 ve PMA-2 sınırları Şekil 4.3.'de verilmiştir. Basınç değerinin, su tüketiminin fazla olduğu saatlerde belirlenen seviyede kalması ve su tüketiminin az olduğu saatlerde ise basıncın düşürülmesi hedeflenmiştir.



Şekil 4.3. DMA-2 ve PMA-2 planı

- DMA – 3

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 9352 m, toplam abone sayısı 501'dir. Bölge içerisinde kotları 21 – 101 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 490 mesken, 6 işyeri, 1 resmi, 2 inşaat ve 2 cami aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı boru metrajı ve su kayıp oranına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 6,05 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 1,87 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 4,18 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir. Su kaybı miktarı temin miktarına göre çok fazla olduğu için basınç yönetimi metodu olarak zamana duyarlı işletme yapılmıştır. 06:00 – 00:00 saatleri arasında en düşük basınca sahip su aboneliği bina giriş basıncı 30 mSS seviyelerinde; 00:00 – 06:00 saatleri arasında ise 25 mSS seviyelerinde su sağlayacak şekilde basınç yönetimi yapılmıştır. DMA-3 alanı içerisinde basınç yönetimi için PMA alanı da tasarlanmıştır. Oluşturulan DMA-3 ve PMA-3 sınırları Şekil 4.4.'de verilmiştir. Bu çalışma ile su kullanımının az olduğu saatlerde basınç seviyesinin yükselmesi sonucunda su kaybı miktarının artması engellenmiştir.

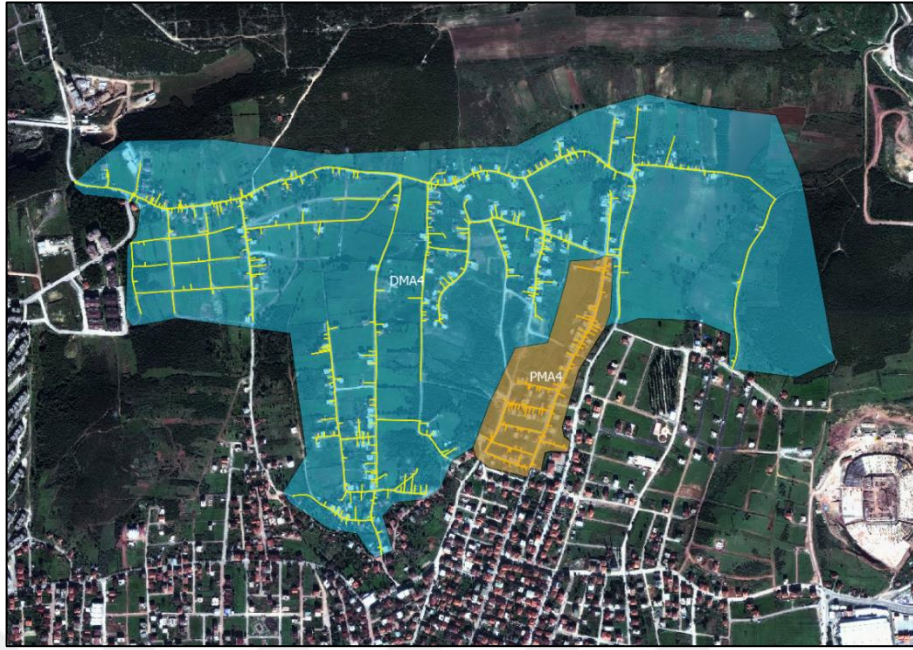


Şekil 4.4. DMA-3 ve PMA-3 planı

- DMA – 4

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 16040 m, toplam abone sayısı 628'dir. Bölge içerisinde kotları 26 – 109 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 612 mesken, 3 işyeri, 11 inşaat ve 2 cami aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı boru metrajı ve su kayıp oranına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 4.06 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 2.29 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 1,77 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir. Basınç yönetimi metodu olarak sabit çıkış basınçlı işletme yapılmıştır.

DMA giriş ve çıkış basınçlarının kritik noktaya yeterli su sağlayacak basınçta oluşturulması gerekmektedir. DMA-4 içerisindeki kritik noktada basınç değeri düşüktür. Bölge içerisinde de birçok alanda yüksek basınçta sahip olan abonelikler bulunmaktadır. DMA giriş ve çıkış basınçları kritik noktadaki basınçta göre ayarlandığında aralarındaki fark az olduğu için basınç düşürme çalışması verimli yapılamamıştır. Bu sebeple PMA alanı da tasarlanmıştır. Oluşturulan DMA-4 ve PMA-4 sınırları Şekil 4.5.'de verilmiştir.

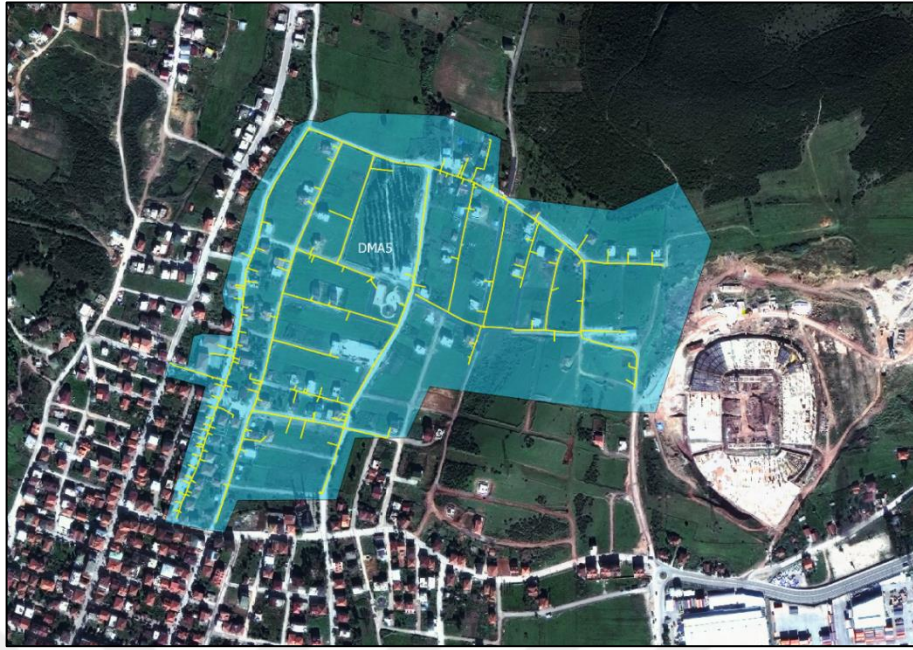


Şekil 4.5. DMA-4 ve PMA-4 planı

- DMA – 5

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 6145 m, toplam abone sayısı 371'dir. Bölge içerisinde kotları 13 – 52 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 344 mesken, 6 işyeri, 2 resmi ve 19 inşaat aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı basınç farkına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 5,26 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 1,48 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 3,78 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir.

Basınç yönetimi metodu olarak zamana duyarlı işletme yapılmıştır. 06:00 – 00:00 saatleri arasında en düşük basınca sahip su aboneliği bina giriş basıncı 30 mSS seviyelerinde; 00:00 – 06:00 saatleri arasında ise 25 mSS seviyelerinde su sağlayacak şekilde basınç yönetimi yapılmıştır. Oluşturulan DMA-5 sınırları Şekil 4.6.'de verilmiştir. Bu çalışma ile su kullanımının az olduğu saatlerde basınç seviyesinin yükselmesi sonucunda su kaybı miktarının artması engellenmiştir.

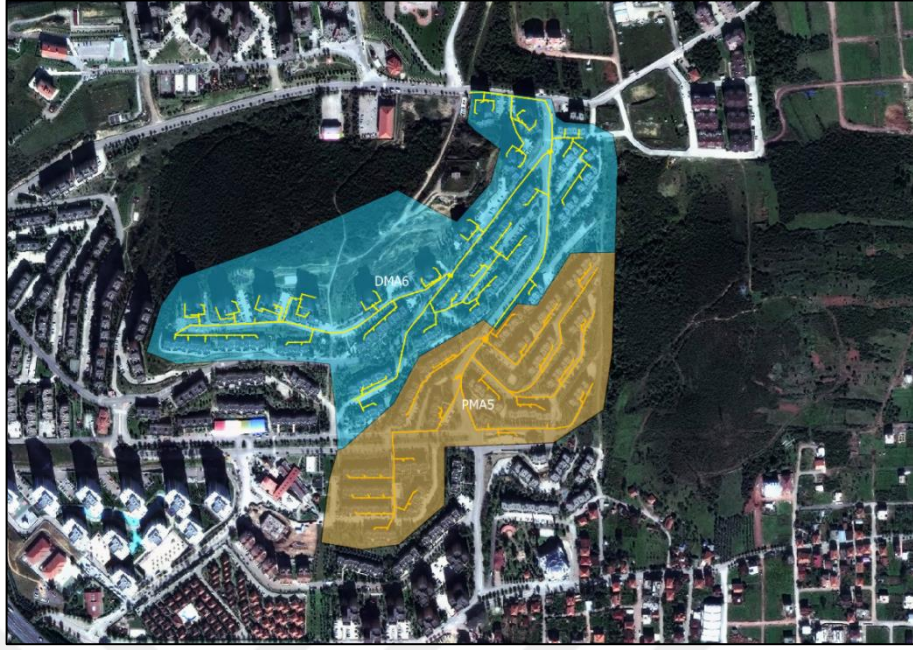


Şekil 4.6. DMA-5 planı

- DMA – 6

Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 6042 m, toplam abone sayısı 1506'dır. Bölge içerisinde kotları 34 – 118 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde 1499 mesken, 5 işyeri, 1 resmi ve 1 inşaat aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı abone sayısına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 6,62 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 5,50 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarları arasındaki 1,12 l/s'lik fark, bölge içerisindeki su kaybını göstermektedir.

DMA kritik noktasında basınç seviyesinin 30 mSS seviyelerinde olduğu hesaplanmıştır. DMA içinde herhangi bir basınç düşürme işlemi uygulanmamıştır. Ancak DMA sınırları içinde aktif bir basınç yönetim çalışması için PMA oluşturularak basınç düşürme işlemi yapılmıştır. Oluşturulan DMA-6 ve PMA-5 sınırları Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. DMA-6 ve PMA-5 planı

4.2. Basınç Yönetimi

Bölge içerisinde basınç yönetimi için 6 DMA ve 5 PMA oluşturulmuştur. Farklı kriterlere öncelik verilerek farklı sayılarda DMA ve PMA'lar oluşturularak basınç yönetim çalışmaları da yapılabilir. Ekonomik yönden kısıtlama olmaksızın daha yüksek basınç kırmak da mümkün olmaktadır. Sistemin daha verimli çalışabilmesi için DMA'ların çalışma koşulları da değiştirilebilir. Basınç yönetim çalışmalarında araştırmacıların kendi metodlarını geliştirmeleri de mümkündür.

Çalışma alanında basınç yönetimi yapılmadan önceki su basınçları Şekil 4.8.'deki haritada WaterCAD üzerinde modellenmiştir. Çalışma alanında basınç seviyeleri için aralıklar belirlenmiştir. Bu seviyeler farklı renklerle ifade edilerek basınç dağılım haritası oluşturulmuştur. Basınç dağılım haritası, 30 mSS basınç seviyesi temel alınarak oluşturulmuş ve seviye renklendirmesi yapılarak hidrolik modelleme ile harita üzerine aktarılmıştır. 30 mSS'den düşük basınca sahip alanlar az iken, genel olarak basınç dağılımı 60-120 mSS arasındadır.



Şekil 4.8. Çalışma öncesi bölgenin basınç dağılımı haritası

Oluşturulan DMA ve PMA'lar ile bölgede basınç yönetimi çalışması yapılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.9.'da verilmiştir. Basınç yönetimi sonrasında bölgedeki basınç dağılımı değişmiştir ve basınç seviyesi genel olarak 60 mSS'den azdır. Basınç yönetim çalışması ile bölge içinde 90 mSS seviyesinin aşıldığı noktalar önemli miktarda azalmıştır. Borular üzerindeki basınç seviyesindeki azalma; boru dayanımını arttırmaktadır ve bağlantı parçalarındaki basınç yükünü hafifletmektedir.



Şekil 4.9. Çalışma sonrası bölgenin basınç dağılımı haritası

Oluşturulan hidrolik model ile bölge içindeki bütün abone bağlantı noktalarının basınç seviyeleri belirlenmiştir. DMA-1 giriş basıncı 24,59 mSS'dir. DMA içinde aktif basınç yönetimi yapılabilmesi için kritik nokta basınç seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. DMA-1 sınırları içerisinde bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 29,96 mSS basınç hesaplanmıştır. Hidrolik modelleme ile elde edilen basınç verisiyle kıyaslamak için sahada anlık basınç ölçümleri yapılmıştır. Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. Ancak "İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik" gereği 30 mSS seviyesinin bina bağlantı noktalarında sağlanabilmesi gerekmektedir. Bu noktada yer alan site aboneliğine ait su deposu ve hidrofor hattı bulunduğundan dolayı verilen su basıncının 25 mSS olması yeterli olmuştur. DMA-1 çıkış basıncı 20,01 mSS'ye ayarlanarak kritik noktadaki su basıncı 25 – 26 mSS basınç seviyesine getirilmiştir. DMA-1 giriş basıncından 4,58 mSS basınç düşürülerek basınç yönetimi uygulanmıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrasında DMA-1 minimum basıncı 25,38 mSS ve maksimum basıncı 87,44 mSS olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. DMA basınç yönetim sonuçları

Bölge	DMA Giriş Basıncı (mSS)	DMA Çıkış Basıncı (mSS)	Minimum Basınç Noktası (mSS)	Maksimum Basınç Noktası (mSS)
DMA-1	24,59	20,01	25,38	87,44
DMA-2	80,98	71,00	26,30	75,67
DMA-3	82,33	70,00	21,22	99,63
DMA-4	46,38	40,00	29,74	91,31
DMA-5	83,22	38,00	29,76	68,74
DMA-6	27,01	27,01	23,18	69,61

DMA-2 giriş basıncı 80,98 mSS'dir. DMA-2 sınırlarında bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 36,28 mSS basınç hesaplanmıştır. Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. Kritik noktanın bulunduğu bölge ile kritik noktaya en yakın su aboneliğinin bulunduğu bölge arasında 5 m kot farkı bulunmaktadır. Bu sebeple kritik noktadaki basınç değerinin 25 – 26 mSS seviyelerine düşürmek mümkündür. DMA-2 çıkış basıncı 71,00 mSS'na ayarlanarak kritik noktadaki su basıncı 25 – 26 mSS basınç seviyesine getirilmiştir.

DMA-2 giriş basıncından 9,98 mSS basınç düşürülerek basınç yönetimi uygulanmıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrası DMA-2 minimum basıncı 26,30 mSS ve maksimum basıncı 75,67 mSS olarak hesaplanmıştır.

DMA-3 giriş basıncı 82,33 mSS'dir. DMA-3 sınırlarında bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 33,55 mSS basınç hesaplanmıştır. Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. Kritik noktanın bulunduğu bölge ile kritik noktaya en yakın su aboneliğinin bulunduğu bölge arasında 9 m kot farkı bulunmaktadır. Bu sebeple kritik noktadaki basınç değerinin 21 – 22 mSS seviyelerine düşürmek mümkündür. DMA-3 çıkış basıncı 70,00 mSS'ye ayarlanarak kritik noktadaki su basıncı 21 – 22 mSS basınç seviyesine getirilmiştir. DMA-3 giriş basıncından 12,33 mSS basınç düşürülerek basınç yönetimi uygulanmıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrası DMA-3 minimum basıncı 21,22 mSS ve maksimum basıncı 99,63 mSS olarak hesaplanmıştır.

DMA-4 ve DMA-5 sıralı DMA'lardır. Sıralı DMA sistemi, bir alan içerisinde birden fazla DMA'nın yer alması ve bu DMA'ların birbirine su aktaran iki ayrı izole bölge olarak tanımlanmasıyla oluşturulur. Su aktarımı DMA-4'ten DMA-5'e doğru gerçekleşmektedir. DMA-4'ün sınırları içinde PMA-4 yer almaktadır. DMA-4 üzerinden yapılacak herhangi bir işlem DMA-5 ve PMA-4 izole bölgelerini de etkilemektedir. Bu sebeple basınç yönetim çalışması yapılırken iki DMA da dikkate alınmalıdır. DMA-5 sınırları içinde kalan bütün abone bağlantı noktaları DMA-4'ün abone bağlantı noktalarındaki basınç seviyesinin üzerindedir. DMA-4 için uygulanacak basınç yönetiminin DMA-4'ün kritik noktasına göre ayarlanması gerekmektedir. DMA-4 giriş basıncı 46,38 mSS'dir. DMA-4 sınırlarında bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 36,12 mSS basınç hesaplanmıştır. Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. DMA-4 çıkış basıncı 40,00 mSS'ye ayarlanarak kritik noktadaki su basıncı 29 – 30 mSS basınç seviyesine getirilmiştir. DMA-4 giriş basıncından 6,38 mSS basınç düşürülerek basınç yönetimi uygulanmıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrası DMA-4 minimum basıncı 29,74 mSS ve maksimum basıncı 91,31 mSS olarak hesaplanmıştır.

DMA-5 basıncı DMA-4 üzerinde yapılacak olan değişikliklerden etkilenmesi sebebiyle DMA-4 çıkış basıncı 6,38 mSS kadar düşürülmüştür. Bu sebeple DMA-5 giriş basıncı 89,6 mSS olması gerekirken 83,22 mSS'dir. DMA-4 ve DMA-5 sıralı DMA'lar olduğundan dolayı basınç yönetimi yapılırken iki DMA'nın verileri de göz önünde bulundurulmalıdır. DMA-5 giriş basıncı 83,22 mSS'dir. DMA-5 sınırlarında bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 74,98 mSS basınç hesaplanmıştır. Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. DMA-5 çıkış basıncı 38 mSS'ye ayarlanarak kritik noktadaki su basıncı 29 – 30 mSS basınç seviyesine getirilmiştir. DMA-5 giriş basıncından 45,22 mSS basınç düşürülerek basınç yönetimi uygulanmıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrası DMA-5 minimum basıncı 29,76 mSS ve maksimum basıncı 68,74 mSS olarak hesaplanmıştır. DMA-5 sınırları içinde PMA bulunmamaktadır.

DMA-6 giriş basıncı 27,01 mSS'dir. DMA-6 sınırlarında bölgenin en düşük basınca sahip olan noktasında hidrolik modelleme ile 23.18 mSS basınç hesaplanmıştır Saha basınç ölçümleri de hidrolik modelde elde edilen basınç değerini doğrulamıştır. Kritik noktanın bulunduğu bölge ile kritik noktaya en yakın su aboneliğinin bulunduğu bölge arasında 9 m kot farkı bulunmaktadır. Bu sebeple kritik noktadaki basınç değerinin 22 – 23 mSS seviyelerinde kalması gerekmektedir. DMA-6 çıkış basıncı ve giriş basıncı aynı seviyede olduğundan dolayı, kritik noktaya en yakın bina bağlantısının basıncı 30 – 31 mSS olarak hesaplanmıştır. DMA-6 içerisinde herhangi bir basınç düşürme işlemi uygulanamamıştır. Tablo 4.1.'de verildiği üzere uygulama sonrası DMA-6 minimum basıncı 23,18 mSS ve maksimum basıncı 69,61 mSS olarak hesaplanmıştır.

Kot farkının fazla olması sebebiyle sadece DMA oluşturularak yapılan basınç yönetim çalışması yeterli olmamıştır. Kritik nokta basınç değerine göre ayarlanan DMA çıkış basınçları, yüksek basınç alan noktaların basınç seviyelerini düşürmek için yetersiz kalmıştır. Bu sebeple DMA'lar içerisinde daha fazla basıncın kırılması gereken bölgelere PMA'lar oluşturulmuştur. PMA-1, DMA-1'in sınırları içinde yer aldığından dolayı DMA-1 için uygulanan basınç yönetiminden etkilenmektedir. Bu sebeple DMA-1 çıkış basıncında düşürülen 4,58 mSS seviyesi kadar PMA-1 giriş basıncında azalma olmuştur. PMA-1 giriş basıncı 69,36 mSS ve kritik nokta basıncı 50 – 51 mSS

seviyesinde hesaplanmıştır. Kritik noktada 30 mSS basınç seviyesi sağlanması için PMA-1 çıkış basıncı 19,34 mSS düşürülmüştür. Tablo 4.2.'de verildiği üzere uygulama sonrası PMA-1 minimum basıncı 30,85 mSS ve maksimum basıncı 87,44 mSS olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. PMA basınç yönetim sonuçları

Bölge	PMA Giriş Basıncı (mSS)	PMA Çıkış Basıncı (mSS)	Minimum Basınç Noktası (mSS)	Maksimum Basınç Noktası (mSS)
PMA-1	69,36	50,02	30,85	87,44
PMA-2	60,06	26,30	29,50	60,00
PMA-3	77,86	21,63	30,81	47,14
PMA-4	60,48	30,01	29,74	71,72
PMA-5	74,42	34,12	30,00	67,26

PMA-2, DMA-2'nin sınırları içinde yer aldığından DMA-2 için uygulanan basınç yönetiminden etkilenmektedir. Bu sebeple DMA-2 çıkış basıncında düşürülen 9,98 mSS seviyesi kadar PMA2 giriş basıncında azalma olmuştur. PMA-2 giriş basıncı 60,06 mSS ve kritik nokta basıncı 63 – 64 mSS seviyesinde hesaplanmıştır. Kritik noktada 30 mSS basınç seviyesi sağlanması için PMA-2 çıkış basıncı 33,76 mSS düşürülmüştür. Tablo 4.2.'de verildiği üzere uygulama sonrası PMA-2 minimum basıncı 29,50 mSS ve maksimum basıncı 60,00 mSS olarak hesaplanmıştır.

PMA-3, DMA-3'ün sınırları içinde yer aldığından DMA-3 için uygulanan basınç yönetiminden etkilenmektedir. Bu sebeple DMA-3 çıkış basıncında düşürülen 12,33 mSS seviyesi kadar PMA-3 giriş basıncında azalma olmuştur. PMA-3 giriş basıncı 77,86 mSS ve kritik nokta basıncı 87 – 88 mSS seviyesinde hesaplanmıştır. Kritik noktada 30 mSS basınç seviyesi sağlanması için PMA-3 çıkış basıncı 56,23 mSS düşürülmüştür. Tablo 4.2.'de verildiği üzere uygulama sonrası PMA-3 minimum basıncı 30,81 mSS ve maksimum basıncı 47,14 mSS olarak hesaplanmıştır.

PMA-4, DMA-4'ün sınırları içinde yer aldığından DMA-4 için uygulanan basınç yönetiminden etkilenmektedir. Bu sebeple DMA-4 çıkış basıncında düşürülen 6,38 mSS seviyesi kadar PMA-4 giriş basıncında azalma olmuştur. PMA-4 giriş basıncı 60,48 mSS ve kritik nokta basıncı 60 – 61 mSS seviyesinde hesaplanmıştır. Kritik

noktada 30 mSS basınç seviyesi sağlanması için PMA-4 çıkış basıncı 30,47 mSS'na düşürülmüştür. Tablo 4.2.'de verildiği üzere uygulama sonrası PMA-4 minimum basıncı 29,74 mSS ve maksimum basıncı 71,72 mSS olarak hesaplanmıştır.

PMA-5, DMA-6'nın sınırları içinde yer almaktadır. Ancak DMA-6 çıkış basıncında düşürme işlemi yapılmadığından PMA-5 giriş basıncı etkilenmemiştir. PMA-5 giriş basıncı 74,42 mSS ve kritik nokta basıncı 70 – 71 mSS seviyesinde hesaplanmıştır. Kritik noktada 30 mSS basınç seviyesi sağlanması için PMA-6 çıkış basıncı 40,30 mSS düşürülmüştür. Tablo 4.2.'de verildiği üzere uygulama sonrası PMA-5 minimum basınç noktası 30,00 mSS ve maksimum basınç noktası 67,26 mSS olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanının kot farkının yüksek olmadığı alanlarda sıkı bir basınç yönetiminin yapılması gerekmemektedir. Gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalarda mevcut basınç miktarlarının istenilen seviyelere yakın olması sonucu fazla basınç kırılmaya gerek kalmadan da verimli sonuçlar elde edilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, bölge gerekliliklerine göre DMA oluşturulması ile basınç %13,64 oranında azaltılmıştır (Korkana ve ark., 2016). DMA oluşturularak Kos ve Kozani şehirlerinde temin edilen su miktarı sırasıyla yılda %1,10 ve %2,22 azaltılmıştır. Oluşturulan PMA'lar ile Kos adasında yaz haricinde temin edilen su miktarı %16-20 oranında azaltılırken; Kozani şehrinde %24-26 arasında azaltılmıştır (Kanakoudis ve Gonelas, 2014).

4.3. Basınç Yönetimi İle Su Kaybının Azaltılması

Hidrolik modelleme çözümleri ile sistem üzerinde yapılan değişiklikler sonucu bölgedeki su kaybı miktarının azalması hedeflenmiştir. Çalışma alanı içinde DMA oluşturulmadan önceki temin miktarı 36 – 37 l/s aralığında ve tahakkuk miktarı 20 – 21 l/s aralığında hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu temin miktarı 28 – 29 l/s aralığına gerilediği ve tahakkuk miktarının aynı seviyelerde olduğu (20 – 21 l/s) hesaplanmıştır. DMA ve PMA'lar oluşturulup basınç yönetim sistemine geçilmesi ile matematiksel olarak su kayıpları büyük oranda azalmıştır. Bölge içinde su kaybı oranı % 44 seviyelerinden %28 seviyesine düşürülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde

minimum gece debisi ise ortalama 20 l/s'den 10 l/s'ye düşürülerek yaklaşık % 50 azaltılmıştır. Basınç yönetimi öncesinde temin edilen su ile tahakkuk edilen su arasındaki fark ortalama 16 l/s'den basınç yönetimi sonrasında ortalama 8 l/s'ye düşürülmüştür. Yapılan basınç yönetimi ile su kaybı oranında %50'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

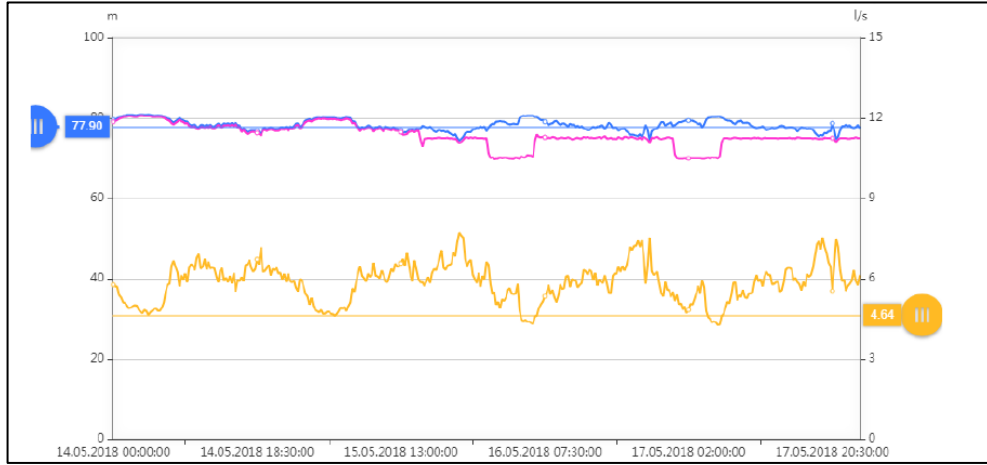
Yürütülen bir çalışmada basıncın %20 azaltılmasıyla, su kaybı oranında %36'lık bir azalma gerçekleşmiştir (Fantozzi ve Lambert, 2007). Laucelli ve arkadaşları tarafından (2015) boru cinslerinin basınç yönetimindeki önemini vurgulamak amacıyla, sistemdeki basınç seviyesi sebebiyle %35 olan su kaybı miktarı mevcut boruların PVC boru ile değiştirilmesi ile su kaybı oranı %18'e düşürülebileceği hesaplanmıştır

Oluşturulan DMA'ların sürekli takip edilmesi gerekmektedir. DMA içinde meydana gelen debi artışları analiz edilmelidir. Bölge içinde yer alan yüksek tüketim aboneleri, yaz aylarında özellikle belediyenin yeşil alan sulama sistemlerinin takibi gerekmektedir. Debi yükselmelerinin sebepleri araştırılarak bölge için boru patlağı olup olmadığı araştırılması gerekir.

4.4. Çalışma Alanında Yapılan Su Kaybı Azaltma Örnekleri

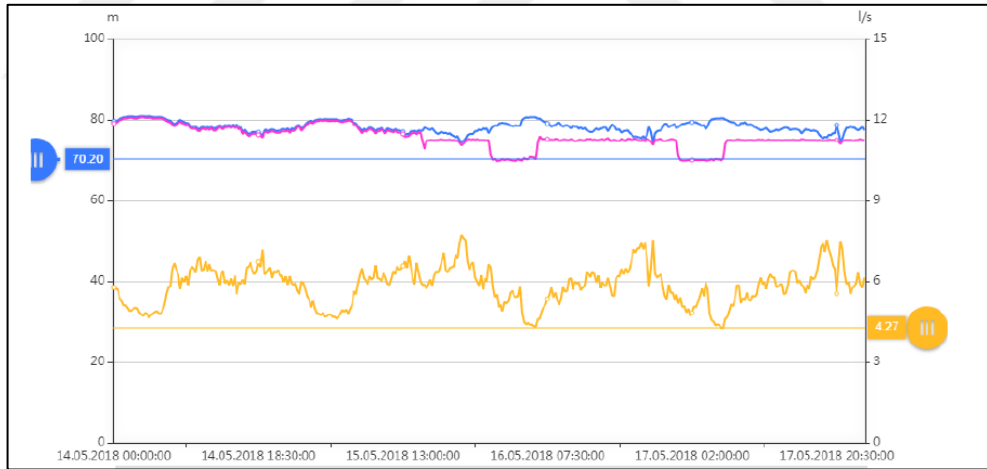
4.4.1. Çalışma-1

DMA-3 bölgesinde basınç yönetimi uygulanmadan önce ortalama basınç seviyeleri Şekil 4.10.'da verildiği üzere 77 – 78 mSS arasında ve gece minimum debi değeri 4,64 l/s'dir. Basınç yönetim metodu olarak zamana duyarlı olması ile saat 00:00 – 06:00 saatleri arasında 70 – 71 mSS; 06:00 – 00:00 saatleri arasında ise 74 – 75 mSS basınç seviyesinde işletme yapılmıştır.



Şekil 4.10. DMA basınç yönetimi öncesi debi-basınç seviyeleri

Şekil 4.11.'de verildiği gibi yapılan çalışma sonucunda gece minimum debi değeri 4,27 l/s seviyelerine gerilemiştir. DMA bazında basınç yönetimi yapılarak 0,37 l/s düşüş elde edilmiştir. Bu değer içinde sadece basınçtan kaynaklanan kazanç yoktur. Basıncın azalması ile kullanılan su miktarında da azalma meydana gelmiştir.



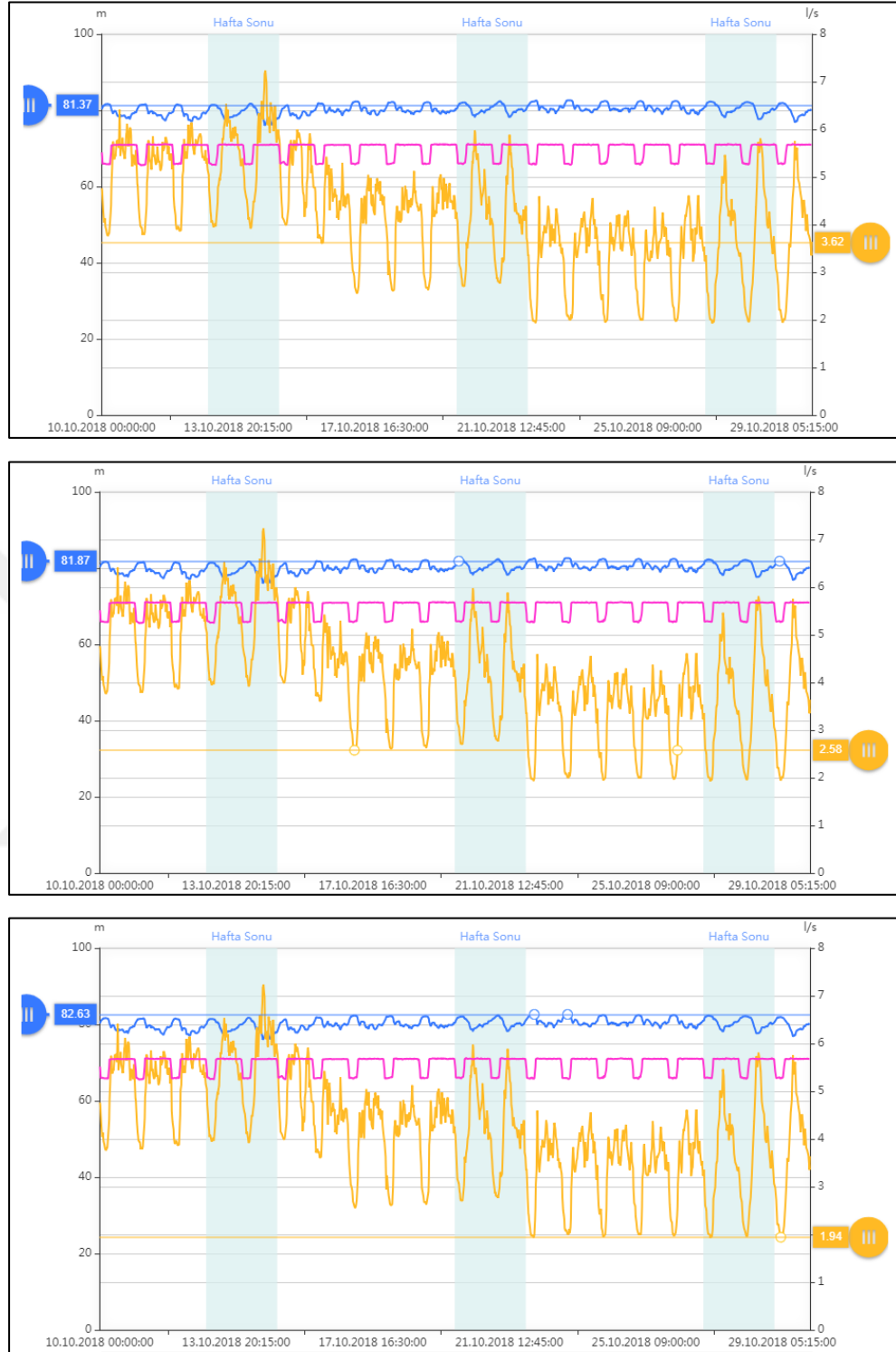
Şekil 4.11. DMA basınç yönetimi sonrası debi-basınç değişimi

DMA-3 içerisinde zamana duyarlı basınç yönetimi uygulanmıştır. Gece minimum debi değeri basınç yönetimi yapılmaya başlandığında 4,64 l/s'den 4,27 l/s seviyesine gerilemiştir. DMA içinde temin edilen su ile tahakkuk edilen su miktarı arasındaki farktan bölgede boru arızası olabileceği öngörülmüştür. Bu sebeple bölge içinde step test çalışması ile arıza tespitleri yapılarak su kayıp oranı düşürülmüştür. Step testi

sonucunda tespit edilen arızaların giderilmesi ile debinin Şekil 4.12.'de 3,62 l/s seviyelerine gerilediği gösterilmiştir.

Bölge içinde tespit edilen başka bir boru arızası onarımı sonucu gece minimum debi değeri 2,58 l/s seviyelerine gerilemiştir. Temin edilen su ile tahakkuk edilen su arasındaki fark azalmıştır. Devam eden akustik dinleme çalışmaları sonucunda farklı boru arızaları tespit edilmiştir. Arızanın giderilmesi sonucunda 2,58 l/s olan minimum gece debisi 1,94 l/s seviyelerine gerilemiştir.



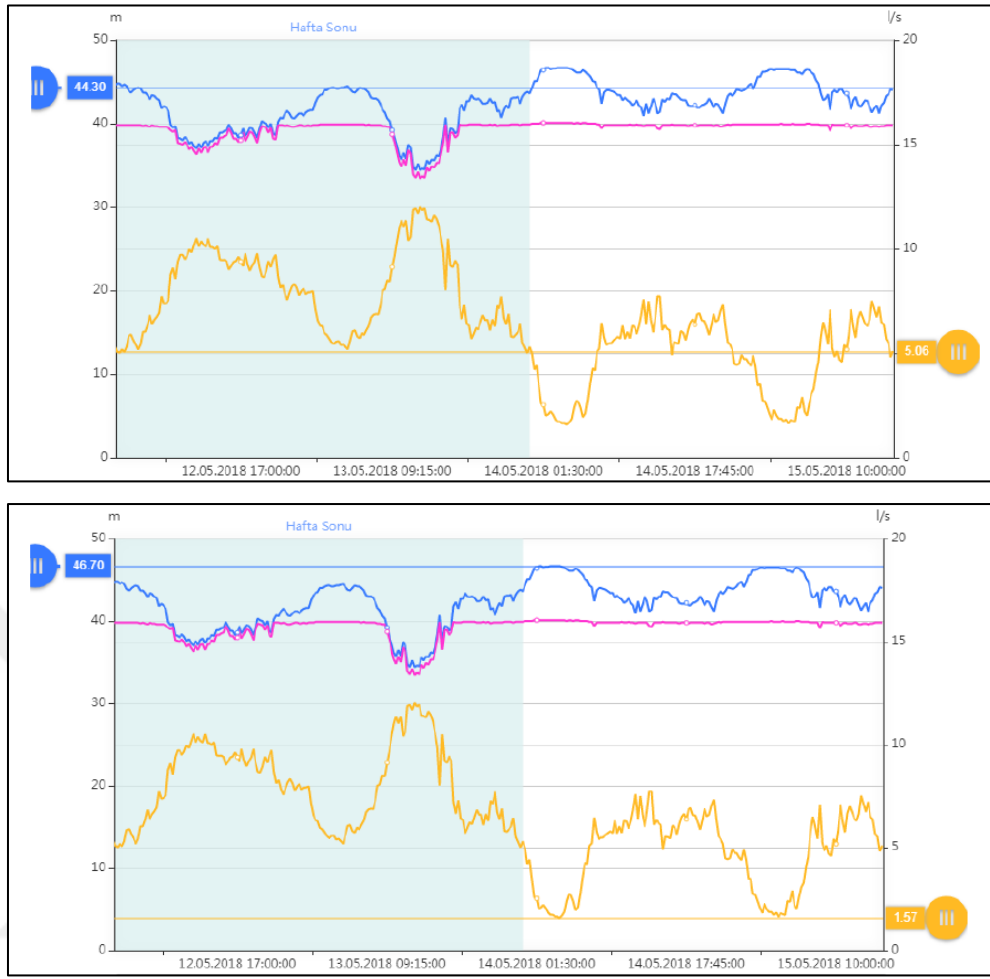


Şekil 4.12. DMA içi tespit edilen arıza sonrasında debi-basınç değişimi

Etkin DMA işletilmesi ve arıza tespitleri ile gece minimum debi değeri DMA-3 bölgesinde 4,64 l/s'den 1,94 l/s'ye düşürülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda 2,7 l/s su kaybı önlenmiştir.

4.4.2. Çalışma-2

DMA-5 bölgesinde basınç yönetim metodu olarak sabit çıkış basınç yönetimi uygulanmıştır. Şekil 4.13.'da verildiği üzere DMA giriş basıncı 35 – 44 mSS ve DMA çıkış basıncı 35 – 40 mSS seviyelerindedir ve bölgenin basınç salınımı yüksektir. Gece minimum debi değeri 5,06 l/s'dir. DMA giriş ve çıkış basınç aralıkları bölge içinde su kaybının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Step test ve akustik dinleme ile tespit edilen boru arızası onarımı sonucu gece minimum debi değeri 1,57 l/s seviyelerine gerilemiştir. Tespit edilen arızanın büyüklüğü ile elde edilen su kazancı sonucunda giriş basıncı 44 – 46 mSS ve çıkış basıncı 39 – 40 mSS seviyelerine ulaşmış ve gün içindeki basınç salınımı azalmıştır. Etkin DMA işletilmesi ve arıza tespitleri ile gece minimum debi değeri DMA-4 bölgesinde 5,06 l/s'den 1,57 l/s'ye düşürülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda 3,49 l/s su kaybı önlenmiştir.



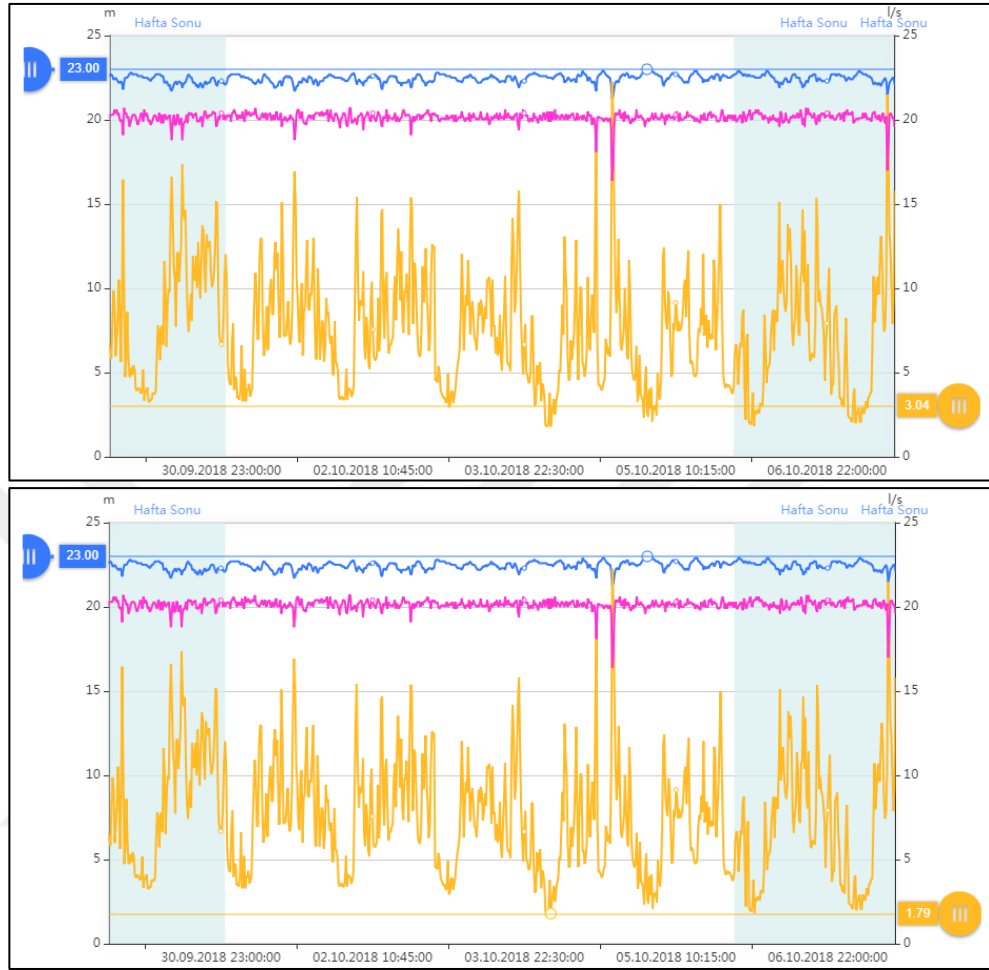
Şekil 4.13. DMA-5 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi

DMA-4 ve DMA-5 sıralı olarak oluşturulmuştur. DMA-5'e sağlanan su DMA-4 içersinden verilmektedir. Bu sebeple DMA-5 içerisinde giderilen bir arızadan elde edilen su kazancı doğrudan DMA-4'ü de etkilemektedir.

4.4.3. Çalışma-3

Kritik nokta basıncına göre işletilen DMA-1 giriş basıncı 23 mSS, DMA çıkış basıncı 19 – 20 mSS seviyesinde ve gece minimum debi değeri 3,04 l/s'dir. Step test ve akustik dinleme ile tespit edilen boru arızası onarımı sonucu gece minimum debi değeri 1,79 l/s seviyelerine gerilemiştir. Etkin DMA işletilmesi ve arıza tespitleri ile gece minimum debi değeri DMA-1 bölgesinde 3,04 l/s'den 1,79 l/s'ye düşürülmüştür.

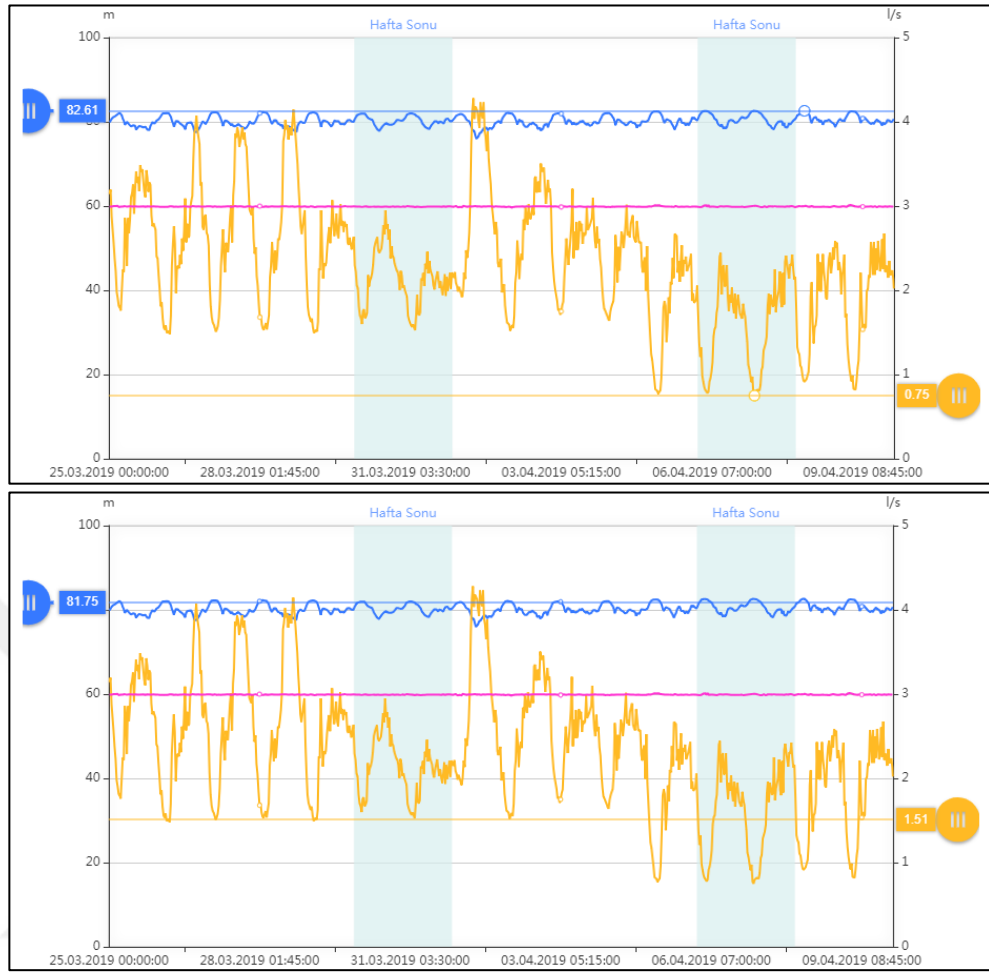
Yapılan çalışmalar sonucunda 1,25 l/s su kaybı önlenmiştir. Şekil 4.14.'de yapılan çalışmaya ait grafikler verilmiştir.



Şekil 4.14. DMA-1 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi

4.4.4. Çalışma-4

Sabit çıkış basınç yönetimi uygulanan DMA-2 bölgesindeki giriş basıncı 80 – 82 mSS seviyesinde, DMA çıkış basıncı ise 60 mSS seviyesindedir. Gece minimum debi değeri 1,51 l/s'dir. Step test ve akustik dinleme ile tespit edilen boru arızası onarımı sonucunda gece minimum debi değeri 0,75 l/s seviyelerine gerilemiştir. Etkin DMA işletilmesi ve arıza tespitleri ile gece minimum debi değeri DMA-2 bölgesinde 1,51 l/s'den 0,75 l/s'ye düşürülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda 0,76 l/s su kaybı önlenmiştir. Şekil 4.15.'de yapılan çalışmaya ait grafikler verilmiştir.

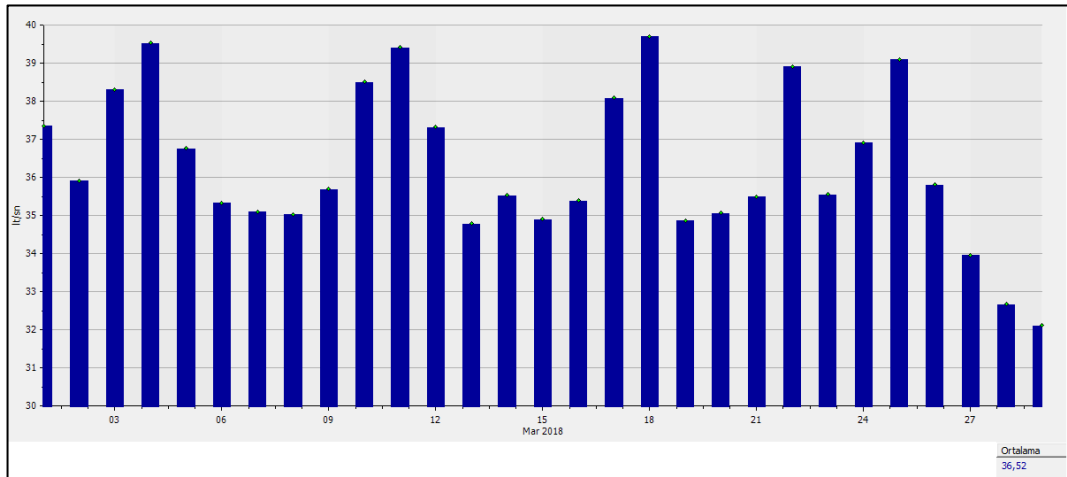


Şekil 4.15. DMA-2 arıza öncesi ve sonrasında debi-basınç değişimi

Oluşturulan hidrolik modelleme ile basınç yönetimleri sonucu sistemin işletmesine başlandığı andan itibaren kayda değer miktarda su kazancı elde edilmiştir.

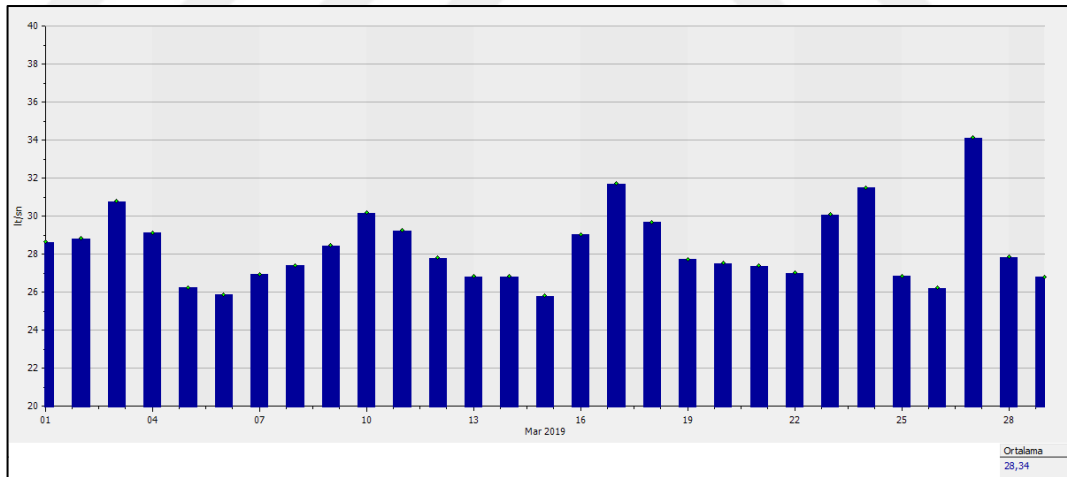
4.5. Modelleme Öncesi ve Sonrası Su Temin Miktarlarının Değişimi

Çalışma alanında basınç yönetimi ve hidrolik modelleme oluşturulmadan önce sistemdeki su temin miktarı 2018 yılının Mart ayında ortalama 36,52 l/s olarak ölçülmüştür. Şekil 4.16.'da Mart ayı günlük debi ortalamaları yer almaktadır. Cumartesi ve Pazar günleri farklı noktalarda kurulan halk pazarının etkisiyle haftasonu debi miktarlarında artış görülmektedir.



Şekil 4.16. Çalışma öncesi 2018 yılı Mart ayı günlük temin miktarları

Çalışma alanında basınç yönetimi ve hidrolik modelleme çalışmaları sonrasında sistemdeki su temin miktarı 2019 yılının Mart ayında ortalama 28,34 l/s olarak ölçülmüştür. Şekil 4.17.'de Mart ayı günlük debi ortalamaları yer almaktadır. Cumartesi ve Pazar günleri farklı noktalarda kurulan halk pazarının etkisiyle haftasonu debi miktarlarında bir önceki senede olduğu gibi artış görülmektedir.

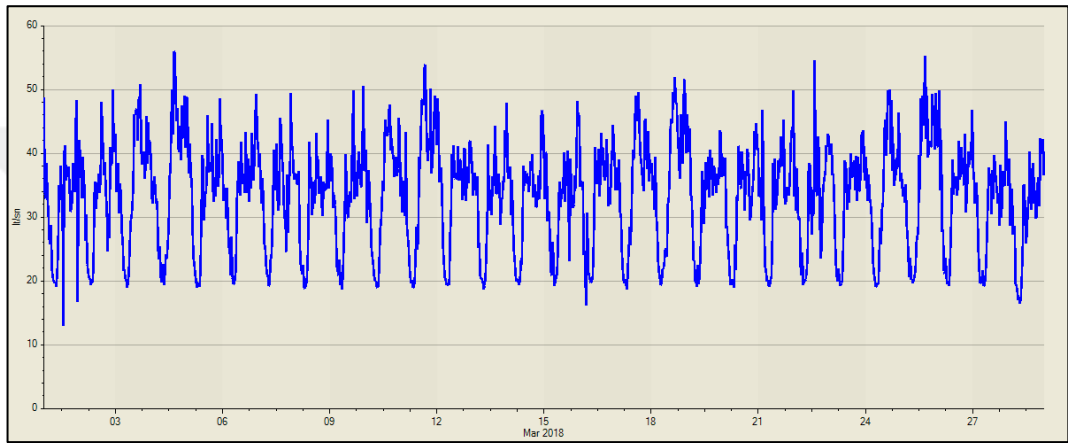


Şekil 4.17. Çalışma sonrası 2019 yılı Mart ayı günlük temin miktarları

Günlük tüketim dağılımı bölgeden bölgeye farklılık gösterebilmektedir. Yüksek tüketime sahip abonelerin ve bölge içinde faaliyet gösteren kuruluşların su kullanım alışkanlıklarına göre günlük tüketimler artıp azalabilmektedir.

4.6. Modelleme Öncesi ve Sonrası Minimum Gece Debisi Değişimleri

Çalışma öncesi 2018 yılı Mart ayına ait minimum gece debisi değişimleri SCADA sistemi üzerinden alınmıştır. 2018 yılının Mart ayında minimum gece debisi 19-20 l/s aralığında ölçülmüştür. Şekil 4.18.'de çalışma öncesine ait tüketimler verilmiştir. Ortalama 36,52 l/s günlük tüketime sahip bir bölge için minimum gece debisi oldukça yüksektir.



Şekil 4.18. Çalışma öncesi 2018 yılı Mart ayı minimum gece debisi değişimi

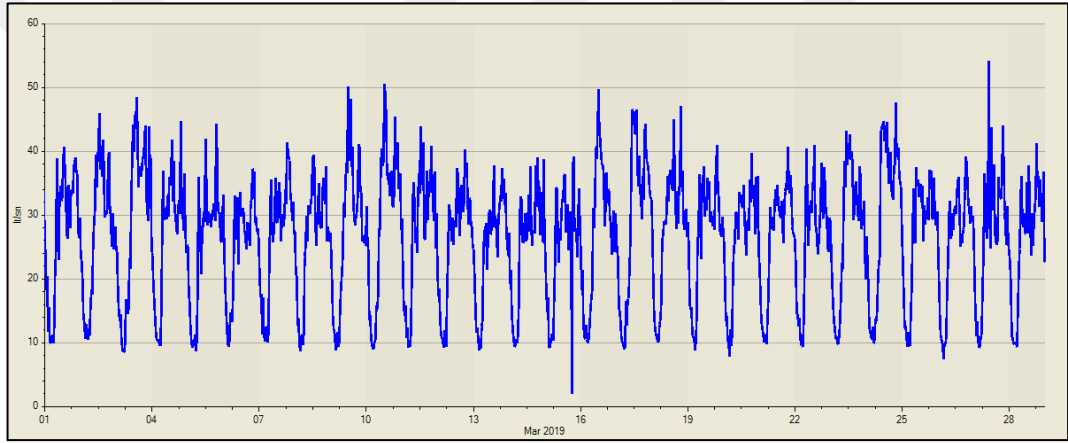
2019 yılının Mart ayında ise minimum gece debisi 9 – 10 l/s aralığında ölçülmüştür. Ortalama 28,34 l/s günlük tüketime sahip bir bölge için minimum gece debisi ortalaması su kaybının azaldığının göstegesidir. Minimum gece debisi ortalaması ile günlük ortalama tüketim miktarı oranı 0,3 seviyelerine gerilemiştir.

DMA yönetimi ile oluşabilecek potansiyel arızalar azaltılmaktadır ve oluşan arızalara da kısa sürede müdahale edilmektedir. Çalışma alanı içerisinde toplamda 28 tane boru arızası tespit edilmiştir. Bu tespit edilen arızalardan 15 – 17 l/s aralığında su kaybı engellenmiştir. Arızaların 9 tanesi ana boruda ve 19 tanesi abone hatlarında tespit edilmiştir. Çalışma alanında toplamda 10 l/s seviyesinde su kaybı engellenmiştir. Tespit edilen su arızalarının Tablo 4.3.'de DMA bazında sayısal verisi ve tahmini su kaybı miktarları listelenmiştir.

Tablo 4.3. DMA sınırlarında tespit edilen arızalar

Bölge	Tespit Edilen Arıza Sayısı	Tahmini Su Kaybı (l/s)
DMA - 1	2	1,65
DMA - 2	3	2,44
DMA - 3	10	4,12
DMA - 4	5	2,35
DMA - 5	7	5,17
DMA - 6	1	0,25

Yapılan çalışmalar ile bölge analiz ve sürekli takip edildiğinde su kaybının azaldığı ve bölge içindeki minimum gece debisinin 9 – 10 l/s seviyelerine gerilediği Şekil 4.19.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Çalışma sonrası 2019 yılı Mart ayı minimum gece debisi değişimi

Literatürde bulunan benzer bir çalışmada yapılan basınç yönetimi ile gece debisindeki değişim izlemiştir. Malatya'da yapılan basınç yönetim çalışması ile minimum gece debisinde %38 azalma sağlanmıştır (Boztaş ve ark., 2018). Aynı alan için yürütülen bir tezde ise DMA oluşturulması planlanan bölgelerdeki su kayıp oranları %40-80 aralığında değişmektedir ve oluşturulan DMA'lar sonucunda su arızaları ve potansiyel arıza noktalarının onarımı yapılmıştır. Su kazancı birim hat uzunluğu başına sisteme kazandırılan su olarak cinsinden hesaplanmıştır (Durmuşçelebi, 2018).

DMA ve PMA'larda uygulanan basınç yönetim çalışmalarına ait basınç düşürme oranları Tablo 4.4. ve Tablo 4.5.'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar ile DMA'lar arasında en yüksek basınç düşürme oranı DMA-5'te %54,34 olarak sağlanmıştır.

Tablo 4.4. DMA basınç düşürme oranları

Bölge	Basınç Düşürme Oranı
DMA-1	%18,63
DMA-2	%12,32
DMA-3	%14,98
DMA-4	%13,76
DMA-5	%54,34
DMA-6	%0

DMA-6 bölgesinde ise basınç düşürme işlemi kot farkından dolayı uygulanamamıştır. Ancak bölge içine yapılan PMA-5 ile basınç yönetimi tamamlanmıştır. Yapılan çalışmalar ile PMA'lar arasında en yüksek basınç düşürme oranı PMA-3'te %72,22 olarak sağlanmıştır.

Tablo 4.5. PMA basınç düşürme oranları

Bölge	Basınç Düşürme Oranı
PMA-1	%27,88
PMA-2	%56,21
PMA-3	%72,22
PMA-4	%50,38
PMA-5	%54,15

4.7. Oluşturulan Senaryolar

Bir su dağıtım şebekesi için yapılan hidrolik model, araştırmacılara ve önceliklere bağlı olarak farklı tasarlanabilir. Bu sebeple farklı senaryolar ve DMA oluşturma kriterleri uygulanarak yeni modellemeler yapılmıştır. Büyük su arızaları ve yangın çıkması durumlarında hidrantlardan anlık yüksek miktarda su çekilmesi gerekmektedir. Bu durumlar dikkate alınarak farklı bölgelerde çıkabilecek olası yangınlar için senaryolar oluşturulmuştur. Bölge içinde nüfus artışı sonrası olası değişimler de modelleme için önemlidir. Tüketim miktarının artması sonucu hesaplamalar farklılık gösterir. Boru çapları ve depo hacimleri yetersiz gelebilir. Bu sebeple 2030 ve 2040 yılları için nüfus projeksiyonları oluşturulmuştur.

4.7.1. Farklı sayıda DMA oluşturulması

Çalışma alanında 3 DMA'lı senaryo oluşturularak ana model ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.6.'da senaryo sonucu oluşturulan basınç yönetimine ait veriler yer almaktadır. Oluşturulan 3 DMA'lı bölge sınırları Şekil 4.20.'de verilmiştir.

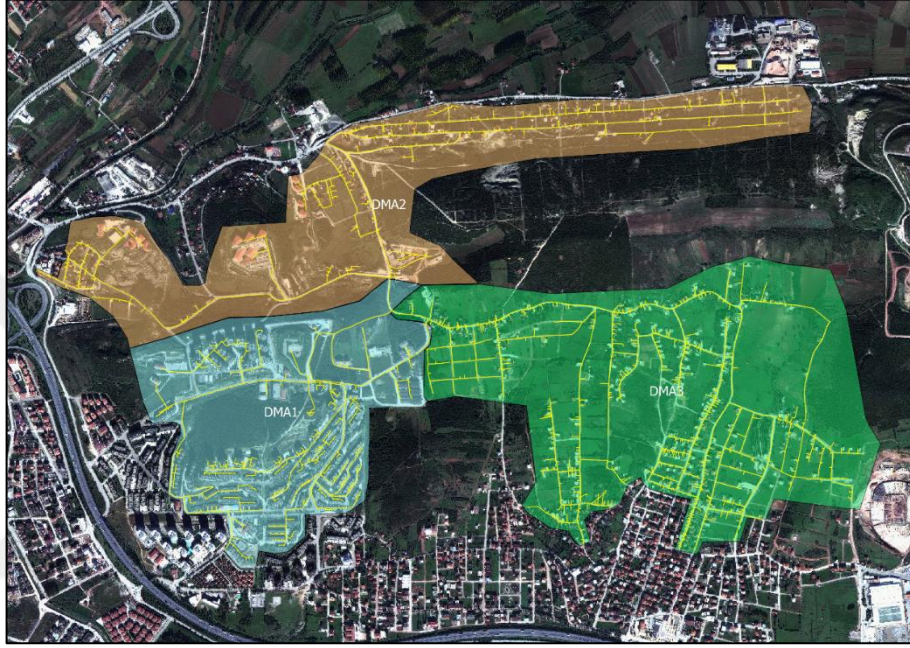
DMA – 1: Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 12905 m, toplam abone sayısı 3189'dur. Bölge içerisinde kotları 30 – 118 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 3140 mesken, 33 işyeri, 12 resmi, 1 cami ve 3 inşaat aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı abone sayısına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 14,23 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 11,76 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarı arasında 2,47 l/s su kaybı söz konusudur.

DMA – 2: Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 13263 m, toplam abone sayısı 640'dir. Bölge içerisinde kotları 21 – 101 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 625 mesken, 7 işyeri, 2 resmi, 1 hastane, 2 cami ve 3 inşaat aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı su kayıp oranına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 9,68 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 5,55 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarı arasında 4,13 l/s su kaybı söz konusudur.

DMA – 3: Oluşturulan DMA sınırları içerisindeki boru metrajı 22195 m, toplam abone sayısı 999'dur. Bölge içerisinde kotları 13 – 109 m arasında değişen şebeke ve abone hatları yer almaktadır. DMA alanı içerisinde; 956 mesken, 9 işyeri, 2 resmi, 2 cami ve 20 inşaat aboneliği bulunmaktadır. DMA tasarımı boru metrajına göre oluşturulmuştur. DMA alanı içindeki su temin miktarı 5,83 l/s ve abonelere ait toplam tahakkuk miktarı 3,77 l/s olarak hesaplanmıştır. Temin ve tahakkuk miktarı arasında 2,06 l/s su kaybı söz konusudur.

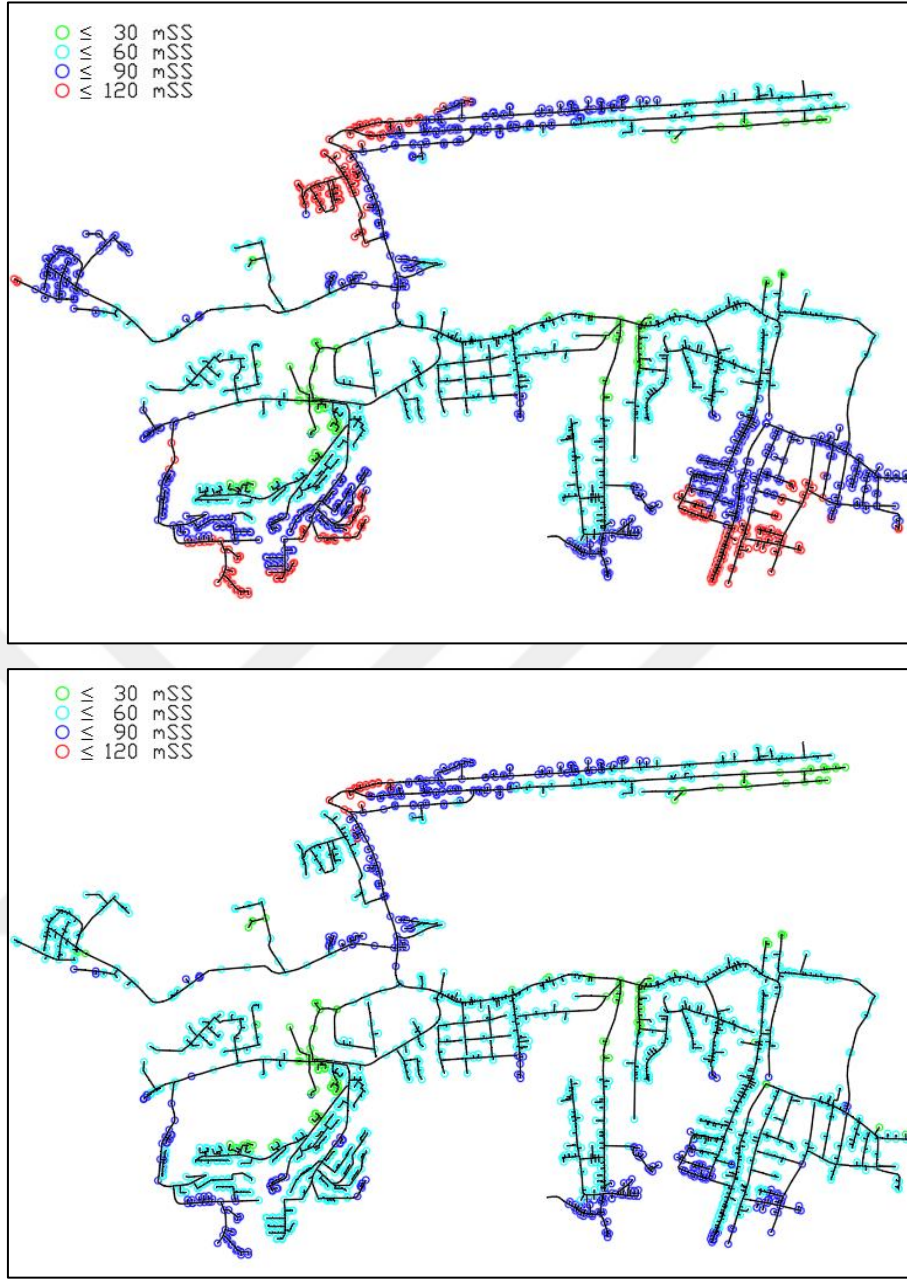
Tablo 4.6. Senaryo sonucu oluşturulan DMA basınç yönetimi

Bölge	DMA Giriş Basıncı (mSS)	DMA Çıkış Basıncı (mSS)	Minimum Basınç Noktası (mSS)	Maksimum Basınç Noktası (mSS)
DMA-1	24,03	24,03	21,34	111,37
DMA-2	80,48	71,03	24,26	106,42
DMA-3	46,78	40,01	29,38	114,12



Şekil 4.20. Senaryo sonucu oluşturulan DMA planı

Oluşturulan DMA'ların sayısının azalması ve buna bağlı olarak takip edilen alanın büyümesi ile bölge içinde meydana gelebilecek sorunların çözümü zorlaşmıştır. DMA'lar sürekli takip gerektiren alanlardır. Boru patlağı ya da su kesintisi meydana geldiğinde anlık olarak takip edilebilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu tip olumsuzların noktasal bazlı çözümünde büyük alanları yönetmek oldukça güçtür. Şekil 4.21.'de senaryo - 1 ve ana modele ait basınç dağılımları yer almaktadır.



Şekil 4.21. Senaryo-1 ve ana modelin basınç yönetiminin kıyaslanması

Ana modelde 100 mSS üzerinde basınç bulunmamaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan 2486 bağlantı noktasından 43 tanesi 90 mSS'nun üzerindedir. Senaryo sonucunda oluşturulan 3 DMA'ya sahip modelde ise 2486 bağlantı noktasından 472 tanesi 90 – 115 mSS arasında bulunmaktadır.

Araştırmacılar tarafından çalışma alanları için en uygun çözümü bulmak amacıyla senaryolar oluşturulmuştur. Mısır'da yapılan bir basınç yönetim çalışmasında ana

model dışında 5 farklı DMA senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolarda farklı borulara farklı basınç kırıcı vana ekleyerek basınç kırmayı amaçlamıştır. Ana modeldeki sızıntı miktarı oluşturulan üç senaryo sonucunda azaltılırken, iki senaryoda değişiklik olmamıştır. BKV etkisiyle basınç azaltılarak su kaybı oranı %37 azaltılmıştır. Toplam su kaybının ne kadar azaltıldığı ile ilgili bir veri bulunmamaktadır (Samir ve ark., 2017). Yapılan başka bir çalışmada ise basınç kırıcı vanaları farklı noktalara konumlandırarak yapılan farklı modellemeler sonucunda en iyi verimi 32 m ortalama basınç ile su temini miktarını 22 l/s'den 15,2 l/s'ye düşürerek sağlamıştır (Araujo ve ark., 2006).

4.7.2. Yangın simülasyonları

Çalışma alanı içerisinde meydana gelebilecek yangınlar için gereken çözümlere ait 4 farklı yangın simülasyonu oluşturulmuştur. Bu senaryolar ile değişen boru hızları hesaplanmıştır. Boru hızlarının yükselmesiyle basınç düşmektedir. Bu sebeple abone noktalarında basıncın yetersiz kalacağı bölgeler oluşmaktadır. Boru hızlarının yükseldiği alanlarda boru çapı yetersiz kalmaktadır. Yangın anında bu tip olumsuzların yaşanmaması için oluşturulan senaryolar gereği değiştirilmesi gereken borular için hesaplamalar yapılmıştır.

4.7.2.1. Yangın senaryosu - 1

Yangın senaryosu-1, bölge içinde hastane ve okul abonelikleri bulunduğundan dolayı DMA-2 içinde simüle edilmiştir. Şekil 4.22.'de belirtilen noktada yangın çıktığı ve bu noktaya en yakın hidrant üzerinden 3 saat boyunca 10 l/s su alındığı varsayılarak oluşturulan senaryo ile boru hız haritası model üzerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryo gereği Şekil 4.22.'de kırmızı ile gösterilen boru hattının devamında bulunan abone bağlantı noktalarında basınç seviyesinin negatif olduğu hidrolik model ile hesaplanmıştır. Hidrolik modelde negatif basınç hesaplanması bölgenin su alamadığının göstergesidir. Herhangi bir yangın durumunda olumsuzluk yaşanmaması için Şekil 4.22.'de kırmızı ile gösterilmiş Ø 90 mm çapa sahip 847 m PE ve 485 m PVC boru hattı, iç çapı en az Ø 110 mm olan boru hattı ile değiştirilmesi gerekir.

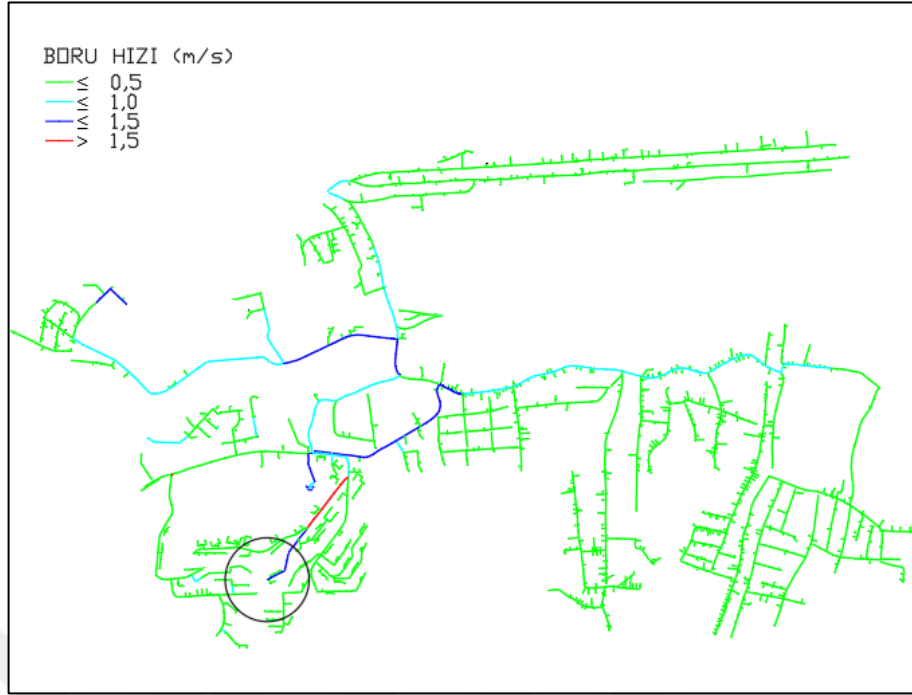
Ayrıca Ø 110 mm çapa sahip 134 m PVC boru hattı iç çapı en az Ø 125 mm olan boru hattı ile değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.22. Yangın Senaryosu-1 boru hızı değişimi

4.7.2.2. Yangın senaryosu - 2

Yangın senaryosu-2, bölge içindeki fiziki su kaybının yüksek oranda olduğu DMA-3 içinde simüle edilmiştir. Şekil 4.23.'de belirtilen noktada yangın çıktığı ve bu noktaya en yakın hidrant üzerinden 3 saat boyunca 10 l/s su alındığı varsayılarak oluşturulan senaryo ile boru hız haritası model üzerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryo gereği Şekil 4.23.'de kırmızı ile gösterimi gerçekleştirilen boru hattının devamında bulunan abone bağlantı noktalarında basınç seviyesinin negatif olduğu hidrolik model ile hesaplanmıştır. Herhangi bir yangın durumunda susuzluk yaşanmaması için Şekil 4.23.'de kırmızı ile gösterilmiş Ø 75 mm çapa sahip 157 m PE hat, iç çapı en az Ø 90 mm olan boru ile değiştirilmesi gerekir. Ayrıca Ø 90 mm ile Ø 110 mm çapa sahip 1176 m PVC boru hattı, iç çapı en az Ø 125 mm olan boru hattı ile değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.25. Yangın Senaryosu-4 boru hızı değişimi

4.7.3. Nüfus projeksiyonu

Bölge içindeki nüfus artışları ile doğru orantılı olarak tüketim miktarının artması ve buna bağlı olarak boru hızlarındaki değişimleri içeren bir senaryo oluşturulmuştur. Projeksiyon yılları olarak 2030 ve 2040 baz alınarak yapılan modelleme sonucu ile mevcut durumda oluşturulan hidrolik modelin boru hız haritaları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. TÜİK adrese dayalı nüfus verilerinden yararlanılarak Tablo 4.7.'de bölge içindeki nüfusun yıllara göre değişimi verilmiştir.

Tablo 4.7. TUİK nüfus verileri (2007-2017 arası) (TUİK, 2018)

Yıllar	Nüfus (kişi)
2017	12797
2016	12442
2015	12168
2014	11888
2013	11350
2012	10535
2011	10565
2010	10299
2009	10089
2008	10086
2007	9969

TUİK adrese dayalı nüfus verileri bölge için 2017 yılına kadar alınabilmektedir. İller bankası yöntemi ile 2019 – 2030 – 2040 yıllarına ait bir projeksiyon yapılarak model çözümleri oluşturulmuştur.

Nüfus projeksiyonu hesabı aşağıdaki denklik (Denklem 4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ng = Ny * \left(1 + \frac{\epsilon}{100}\right)^n \quad (4.1)$$

Ny: Hesaba katılan en son yılın nüfus değeri,

Ne: Hesaptaki ilk nüfus değeri,

a: Hesaba alınan en yeni ve en eski nüfus değerleri arasındaki fark

n: Hesaba alınan en son nüfus yılı ile bulunulan yıl arasındaki fark

Ng: Planlanan yıldaki nüfus değeri

‘Ç’ katsayısının; Yapılacak hesaplamalarda kullanılacak olan ϵ değeri için; $\epsilon \leq 1$ ise 1, $\epsilon \geq 3$ ise 3, 1 ve 3 arasında ise aynı değer alınır.

Nüfus projeksiyonu için kullanılan Ç katsayısı hesabı aşağıdaki denklik (Denklem 4.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\zeta = \left(\sqrt[a]{\frac{Ny}{Ne}} - 1 \right) * 100 \quad (4.2)$$

Tablo 4.8.'de hesaplanan nüfus projeksiyonu verileri yer almaktadır. Bölgenin genel özellikleri göz önünde bulundurulduğunda nüfus artışına açık bir alandır. Eski yerleşim alanlarının dışında yeni yerleşim alanları da mevcuttur. Bölgede aynı zamanda hastane, okul ve devlet daireleri bulunduğundan göç alabilecek bir konuma sahiptir.

Tablo 4.8. Nüfus projeksiyonları (2019-2030-2040)

Yıllar	Nüfus (kişi)
2019	13458
2030	17757
2040	22846

Evsel birim su tüketim miktarı için İller Bankası Tablo 4.9.'da l/kişi/gün olarak aralıklar belirlemiştir. Bu verilere göre bölge nüfusu için 80 – 100 l/kişi/gün aralığında olması gereken evsel birim su tüketimi, çalışma alanı dışında kalan alanın merkezi bir konumda olması ve nüfus verilerinin 100.000'den fazla olduğu göz önünde bulundurularak evsel birim su tüketimi 120 l/kişi/gün olarak seçilmiştir.

Tablo 4.9. İller Bankası evsel birim su tüketimi kabulleri (İller Bankası, 2013).

Proje Başlangıç Nüfusu (N) (Kişi)	Evsel Birim Su Tüketimi (qevsel) (l/kişi/gün)
$N \leq 50.000$	80-100
$50.000 < N \leq 100.000$	100-120
$100.000 < N$	120-140

Kişi başı toplam tüketim miktarı İller Bankası Yönetmeliğine göre hesaplanmıştır. Evsel birim su tüketimi ile bu tüketim dışında kalan tüketimler de hesaba katılmıştır. Ticaret, inşaat, hizmet, endüstri gibi su abonelikleri bölge içinde yer alan diğer abone türleridir. Çalışma alanına temin edilen toplam su miktarı ile tahakkuk edilen su miktarı arasındaki farka hesaplanarak su kaybı oranı belirlenmiştir. Belirlenen bu değerlerin hepsi bölge için kişi başı toplam tüketim miktarını oluşturmuştur. Tablo

4.10.'da bu verilere ait İller Bankası'nın yayınlamış olduğu hesaplamalar yer almaktadır.

Tablo 4.10. İller Bankası kişi başı tüketim dağılımı (İller Bankası, 2013)

Tüketim Tipi	Kişi başı tüketim (l/kişi/gün)
Evsel (qevsel)	120-140
Ticaret, inşaat, hizmet, endüstri (%1-5*qnet)	(qnet)*0.01-0.05
Net Tüketim (qnet)	(qevsel)/0.95-0.99
Kayıplar(qkaçak)(%25-35*qbrüt)	(qbrüt)*0.25-0.35
Toplam (qbrüt)	(qnet)+(qkaçak)

İller Bankası'na göre kişi başı toplam tüketim miktarı hesaplanırken evsel su abonelikleri dışında, çalışma alanındaki su abonelikleri %3 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında temin edilen ortalama su miktarı 29 – 30 l/s aralığındadır. Tahakkuk edilen su miktarı 20 – 21 l/s aralığında olup bölge içinde tahmin edilen su kaybı miktarı %28 seviyelerindedir. Tablo 4.11.'de 2019 yılına ait kişi başı toplam tüketim miktarına ait hesaplamalar yer almaktadır.

Tablo 4.11. 2019 yılı kişi başı tüketim hesapları

Tüketim Tipi	Kişi Başı Tüketim (l/kişi/gün)	2019 Yılı Kişi Başı Tüketim (l/kişi/gün)
Evsel (qevsel)	120	120
Ticaret, inşaat, hizmet, endüstri (%1-5*qnet)	(qnet)*0,03	4
Net Tüketim (qnet)	(qevsel)/0,97	124
Kayıplar(qkaçak)(%25-35*qbrüt)	(qbrüt)*0,28	48
Toplam (qbrüt)	(qnet)+(qkaçak)	172

Evsel birim su tüketimi gelişmişlik düzeyine göre artış göstermektedir. Bu sebeple 2030 yılında evsel birim su tüketim miktarı 130 l/kişi/gün kabul edilmiştir. Evsel su abonelikleri dışında, çalışma alanındaki su abonelikleri 2030 yılı için de %3 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında temin edilen ortalama su miktarı ile tahakkuk miktarı arasında 2030 yılında yapılan bu çalışmalar sonucu su kaybı miktarının %20 seviyelerine düşürülmesi hedeflenerek kabuller yapılmıştır. Tablo 4.12.'de 2030 yılına ait hesaplamalar yer almaktadır.

Tablo 4.12. 2030 yılı kişi başı tüketim hesapları

Tüketim Tipi	Kişi başı tüketim (l/kişi/gün)	2030 Yılı Kişi Başı Tüketim (l/kişi/gün)
Evsel (qevsel)	130	130
Ticaret, inşaat, hizmet, endüstri (%1-5*qnet)	(qnet)*0,03	4
Net Tüketim (qnet)	(qevsel)/0,97	134
Kayıplar(qkaçak)(%20*qbrüt)	(qbrüt)*0,20	34
Toplam (qbrüt)	(qnet)+(qkaçak)	168

2040 yılında evsel birim su tüketim miktarı 140 l/kişi/gün olarak kabul edilmiştir. Evsel su abonelikleri dışında, çalışma alanındaki su abonelikleri 2040 yılı için de %3 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında temin edilen ortalama su miktarı ile tahakkuk miktarı arasında 2040 yılında yapılan bu çalışmalar sonucu su kaybı miktarının %12 seviyelerine düşürülmesi hedeflenerek kabuller yapılmıştır. Tablo 4.13.'de 2040 yılına ait hesaplamalar yer almaktadır.

Tablo 4.13. 2040 yılı kişi başı tüketim hesapları

Tüketim Tipi	Kişi başı tüketim (l/kişi/gün)	2040 Yılı Kişi Başı Tüketim (l/kişi/gün)
Evsel (qevsel)	140	140
Ticaret, inşaat, hizmet, endüstri (%1-5*qnet)	(qnet)*0,03	4
Net Tüketim (qnet)	(qevsel)/0,97	144
Kayıplar(qkaçak)(%20*qbrüt)	(qbrüt)*0,12	20
Toplam (qbrüt)	(qnet)+(qkaçak)	164

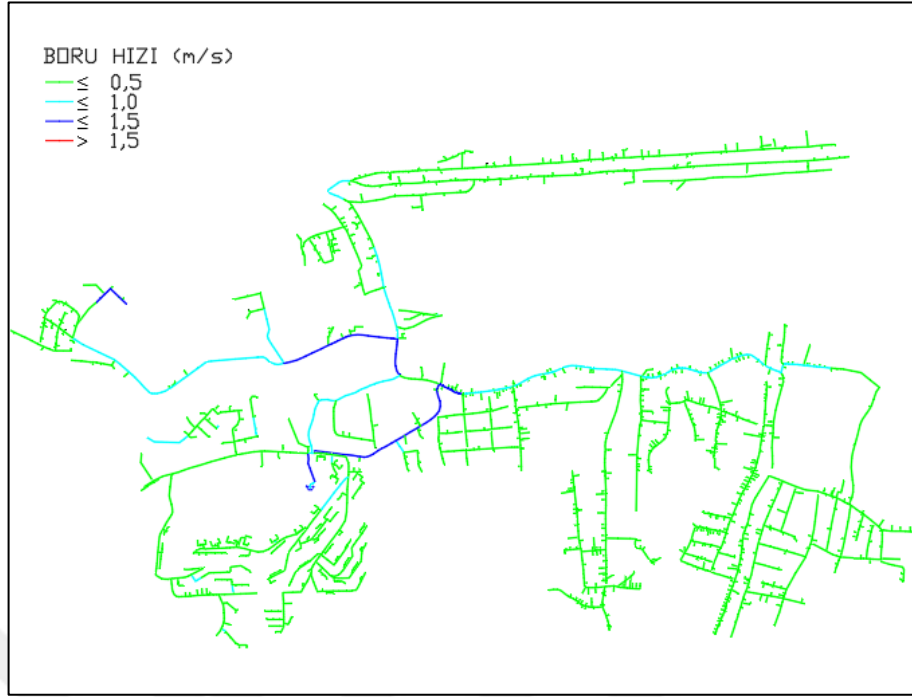
Tablo 4.11., Tablo 4.12. ve Tablo 4.13.'de kişi başına düşen toplam tüketim miktarı 2019 yılına göre 2030 ve 2040 yıllarında azalmıştır. Bunun sebebi su kaybı oranının düşmesidir.

Bölgede yer alan su abonelikleri içinde yüksek tüketime sahip aboneler de mevcuttur. Bu abonelikleri farklı bir kategoride değerlendirmek gerekir. Bölge içinde yer alan diğer aboneliklere göre tüketim miktarları oldukça fazladır. Tablo 4.14. üzerinde normal tüketim aboneliklerine ve yüksek tüketim aboneliklerine ait veriler bulunmaktadır. 2019 – 2030 – 2040 yıllarına ait günlük ortalama tüketim verileri hesaplanmıştır. Bu veriler ile hidrolik model üzerinde nüfus projeksiyonları oluşturulmuştur.

Tablo 4.14. Günlük ortalama tüketim hesapları (2019-2030-2040)

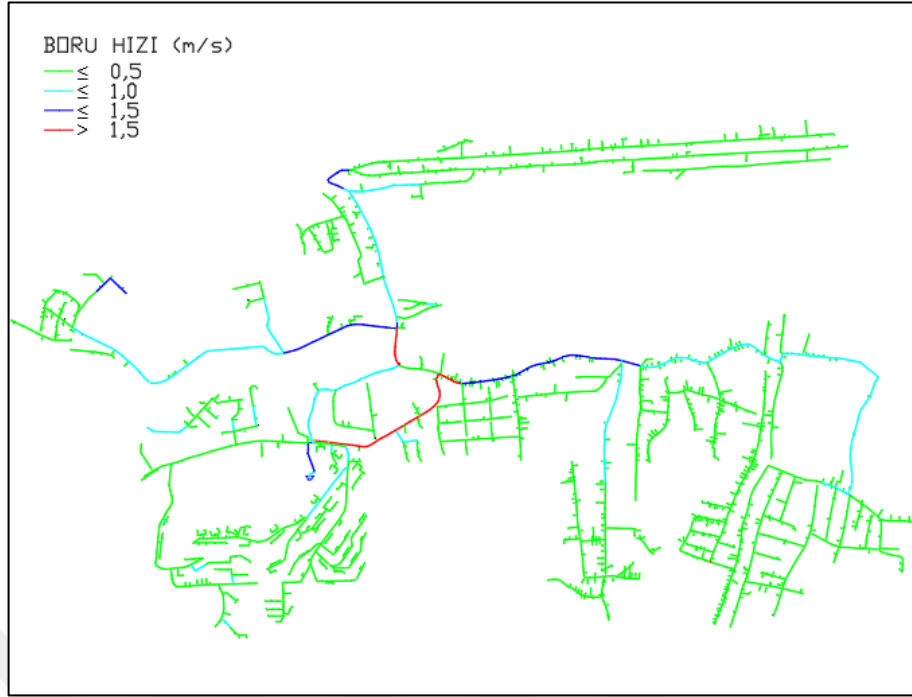
Yıllar	Nüfus	Kişi Başı Tüketim			Yüksek Tüketim Aboneleri	Günlük Ortalama Tüketim
		(l/kişi/gün)	(l/gün)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
2019	13458	172	2314776	26,79	2,95	29,74
2030	17757	168	2983176	34,53	3,69	38,22
2040	22846	164	3746744	43,37	4,43	47,79

2019 yılı için 29,74 l/s günlük ortalama tüketim için oluşturulan modele ait boru hızları Şekil 4.26.'da gösterilmiştir. Boru hız dağılımı 0 ile 2 m/s aralığında artış miktarı 0,5 m/s olarak renklendirmesi yapılmıştır. 1,5 m/s üzerindeki boru hızları kırmızı renk ile tanımlanarak hidrolik model üzerinden haritasal gösterimi gerçekleştirilmiştir. Hidrolik modelleme ile bölgede oluşan hız dağılımlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. 1,5 m/s üzerinde yer alan boru hızlarında abone noktalarında basınç değerleri düşmektedir. Düşen basınç seviyesi sonucu abonelere su aktarımı gerçekleştirilememektedir. Hidrolik modele göre negatif basınç değerleri oluşan bölgelere su aktarımı mümkün değildir. 2019 boru hız verilerine göre 1,5 m/s'nin üzerinde boru hızı bulunmadığından, bölge içinde su aktarımında bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Mevcut hidrolik modele göre boru hızları bölge içindeki şebeke ve abone hatlarına su aktarımının gerçekleşmesine engel olmamaktadır.



Şekil 4.26. 2019 yılına ait boru hız haritası

2030 yılı için günlük ortalama tüketim miktarı 38,22 l/s hesaplanarak hidrolik modelleme üzerinden nüfus projeksiyonu oluşturulmuştur. Hidrolik model ile hesaplanan boru hız dağılımına ait harita Şekil 4.27.'de verilmiştir. 2030 yılında bölge içinde yer alan 1,5 m/s hız limitinin üzerinde 825 m boru bulunmaktadır. Bu boruların su aktarımı yaptığı abone bağlantı noktalarında negatif basınç seviyeleri hidrolik model ile hesaplanmıştır. Kırmızı renk ile gösterimi gerçekleştirilen boru çaplarının büyütülerek bu sorun ortadan kaldırılabilir.



Şekil 4.27. 2030 yılına ait boru hız haritası

2040 yılı için 47,79 l/s günlük ortalama tüketime sahip nüfus projeksiyonu hidrolik modelleme ile oluşturulmuştur. Oluşturulan hidrolik model ile hesaplanan boru hız dağılımına ait harita Şekil 4.28.'de verilmiştir. 2040 yılında bölge içinde yer alan 1,5 m/s hız limitinin üzerinde 1529 m boru bulunmaktadır. Bu boruların su aktarımı yaptığı abone bağlantı noktalarında negatif basınç seviyeleri hidrolik model ile hesaplanmıştır. Kırmızı renk ile gösterimi gerçekleştirilen boru çaplarının büyütülerek bu sorun ortadan kaldırılabilir. Büyütülmesi gereken boru çapları için 2040 yılında yapılması gereken değişiklikler 2030 yılında yapılması gereken boru değişimlerini de kapsamaktadır. Mevcut şebeke içinde 68 m uzunluğundaki Ø 90 mm PVC hat, iç çapı en az Ø 125 mm olan boru hattı ile değiştirilmesi gerekir. 1354 m uzunluğundaki Ø 110 mm PVC hat, iç çapı en az Ø 140 mm olan ve 105 m uzunluğundaki Ø 200 mm DF hat, iç çapı en az Ø 250 mm olan bir boru ile değiştirilmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, uygulanan basınç yönetimi ile borulardaki ve bağlantı elemanlarındaki basınç yükünü azaltarak dayanımı arttırmak hedeflenmiştir. Basınç yönetim çalışmalarının yanında ani debi yükselmelerinin sebepleri takip edilerek DMA bazında hızlı çözümler bulunmaya çalışılmıştır. Bu çözümler step test çalışmaları ve devamında yapılan akustik dinleme çalışmaları ile tespit edilen su arızalarını kapsamaktadır. Oluşturulan DMA'lar sonucunda su arızaları ve potansiyel arıza noktalarının onarımı yapılmıştır. Oluşturulan hidrolik modelleme ile simülasyonlar yapılarak oluşabilecek problemlerin çözümü için değişmesi gereken borular ve çapları hesaplanmıştır. Artan nüfus ve sanayileşme sonucu şekillenecek yeni yerleşim alanlarının gereksinimleri, yapılan nüfus projeksiyonları ile belirlenmiştir. Yapılan basınç yönetim çalışmalarının tamamı bir takip mekanizması gerektirmektedir. Sistemin işletilebilmesi için sahada yapılan değişikliklerin hidrolik model üzerinden de değiştirilmesi sürdürülebilirlik açısından gereklidir.

Çalışma alanı genelindeki su kaybı, temin edilen ve tahakkuk edilen su arasındaki farktan hesaplanmıştır. Su kaybı miktarı %44'den %28 seviyesine gerilemiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde minimum gece debisi ise ortalama 20 l/s'den 10 l/s'ye düşürülerek yaklaşık % 50 azaltılmıştır. Basınç yönetimi öncesinde temin edilen su ile tahakkuk edilen su arasındaki fark ortalama 16 l/s'den basınç yönetimi sonrasında ortalama 8 l/s'ye düşürülmüştür. Yapılan basınç yönetimi ile su kaybı oranında %50'lik bir azalma gerçekleşmiştir ve minimum gece debisi hesaplamasıyla elde edilen su kaybı azaltma oranı da doğrulanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda azaltılan su kayıp oranları bölge şartlarına ve ekonomik önceliklere göre farklılık göstermektedir. Alan büyüklüğü, boru cins ve

Çapları, kot farkı, gelişmişlik oranları gibi sebeplerle literatürdeki çalışmaların sonuçlarını rakamsal olarak kıyaslamak mümkün değildir.

Çalışma alanı içerisinde oluşan su arızalarını kayıt altına alarak lokasyon haritası oluşturulmalıdır. Bu sayede sistemde meydana gelen arıza yoğunluklarına göre yapılacak iyileştirmeler belirlenmelidir. Gelecek yıllarda yapılabilecek hastane, yurt, sanayi kuruluşları, okul ve toplu konut gibi projeler öncesinde model üzerinden oluşturulan senaryolar sisteme entegre edilerek DMA ve PMA'ların sistem dışı kalması engellenmelidir. Etkin sızıntı tespit çalışmaları için sistemde yer alan vana ve hidrant üzerine ses ve sıcaklık kaydedici cihazlar monte edilmelidir. Bu cihazlar ile su kaybı bulunma süresi kısalmaktadır.

Boru patlağı ya da su kesintisi meydana geldiğinde anlık olarak takip edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla olumsuzlukların noktasal bazlı çözümünde büyük alanları yönetmek oldukça güçtür. Bu sebeple gelecek yıllarda oluşturulacak yeni DMA ve PMA'lar bu kriter göz önünde bulundurularak planlanmalıdır. Gelişmekte olan yeni teknolojiler ile birlikte mevcut sistemin entegre bir şekilde işletilmesi su kaybının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. İnsan sağlığına olumsuz etki edebilecek boruların ortam koşullarına uygun ve aşınma ihtimali az olan borular ile değiştirilmesi gerekmektedir. Farklı senaryolar ve DMA oluşturma kriterleri uygulanarak farklı modeller oluşturulabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Parena, R. 2016. Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition. Water Intelligence Online, 15(0), 9781780406336–9781780406336.
- Alvisi, S., Franchini, M. 2014. A procedure for the design of district metered areas in water distribution systems. In *Procedia Engineering*, 70, 41–50.
- Annan, M., Gooda, E. A. 2018. Effect of minor losses during steady flow in transmission pipelines – Case study “water transmission system upgrade in Northern Saudi Arabia.” *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 4299–4305.
- Araujo L. S., Ramos H, Coelho, S. T. 2006. Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management, 20, 133–149.
- Berardi, L., Laucelli, D., Ugarelli, R., Giustolisi, O. 2015. Hydraulic system modelling: Background leakage model calibration in Oppegård municipality. In *Procedia Engineering*, 119, 633–642.
- Boztaş, F., Özdemir, Durmuşçelebi, F. M., Firat, M. 2018. Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–14.
- Coelho, B., Andrade-Campos, A. 2014. Efficiency achievement in water supply systems - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 59–84.
- Connell, D. 2001. Hazen-Williams C-Factor Assessment in a Operational Irrigation Pipeline. McGill University, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Yüksek Lisans Tezi.
- Durmuşçelebi, F. M. 2018. Su Kayıplarının Azaltılması İçin İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinin Rehabilitasyonu Ve Fayda-Maliyet Analizi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Fantozzi, M., Lambert, A. 2007. Including the effects of pressure management in calculations of Short-Run Economic Leakage Levels. IWA Conference ‘Water Loss 2007,’ 1–10.

- Farley, M. 2001. Leakage Management and Control, World Health Organization 1–98.
- Gomes, R., Marques, A. S., Sousa, J. 2012. Decision support system to divide a large network into suitable District Metered Areas. *Water Science and Technology*, 65(9), 1667–1675.
- Grayman, W. M., Murray, R., Savic, D. 2009. Effects of Redesign of Water Systems for Security and Water Quality Factors, World Environmental and Water Resources Congress, 504-514.
- İller Bankası. 2013. İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite Ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname, İlbank, 44–66.
- IWA 2007. Leak Location & Repair Guidance Notes. International Water Association, 1–66.
- Kanakoudis, V., Gonelas, K. 2014. Applying pressure management to reduce water losses in two greek cities' WDSs: Expectations, problems, results and revisions. *Procedia Engineering*, 89, 318–325.
- Korkana, P., Kanakoudis, V., Makrysopoulos, A., Patelis, M., Gonelas, K. 2016. Developing an Optimization Algorithm to form District Metered Areas in a Water Distribution System. In *Procedia Engineering*, 162, 530–536.
- Lambert. 1996. Recent Developments i n Application of 'Bursts and Background Estimates' Concepts for LeakageManagement, *Water and Environment Journal*, 10 (2), 100–104.
- Lambert, A. 2000. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures, International Water Association the blue pages, 3,1-13.
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., Weimer, D. 1999. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Aqua*, 48(6), 227–237.
- Lambert A.O. 2002. International Report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20.
- Latchoomun, L., Ah King, R. T. F., Busawon, K. 2015. A new approach to model development of water distribution networks with high leakage and burst rates. *Procedia Engineering*, 119(1), 690–699.
- Laucelli, D., Berardi, L., Giustolisi, O. 2015. WDNNetXL: Hydraulic and topology analysis integration and features. In *Procedia Engineering*, 119, 669–679.

- Liemberger, R. 2002. Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be? IWA Managing Leakage Conference, 1-17.
- Liemberger, R. 2007. Water Loss Performance Indicators, IWA Managing Specilised Conference, 1-11.
- Nikjoofar, A., Zarghami, M. 2013. Water Distribution Networks Designing by the Multiobjective Genetic Algorithm and Game Theory. In *Metaheuristics in Water, Geotechnical and Transport Engineering*. Elsevier Insights. 1–496.
- Oertlé, E., Knobloch, A. 2010. Guidelines for Water Loss Reduction. Proceedings IWA International Specialised Conference Water Loss 2010, 1-12.
- Roma, J., Pérez, R., Sanz, G., Grau, S. 2015. Model calibration and leakage assessment applied to a real Water Distribution Network. In *Procedia Engineering*, 119, 603-612.
- Rossman, L. A. 2008. Epanet 2 Users Manual. Environmental Protection Agency, 1-200.
- Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., Fleifle, A. 2017. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, 56, 601–612.
- Savić, D., Ferrari, G. 2014. Design and performance of district metering areas in water distribution systems. In *Procedia Engineering*, 89, 1136–1143.
- Scibetta, M., Boano, F., Revelli, R., Ridolfi, L. 2014. Community detection as a tool for district metered areas identification. In *Procedia Engineering*, 70, 1518–1523.
- Thornton, J. 2005. Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. IWA Special Conference' Leakage, 1–10.
- TUİK. 2018. TUİK nüfus verileri. Erişim Tarihi: 11.11.2018.
- Water Distribution Analysis and Design Software. 2019. <https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>. Erişim Tarihi: 01.04.2019.
- Winarni W. 2009. Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), 126–134.
- WWDR. 2019. Leaving No One Behind, The United Nations World Water Development Report 2019, UNESCO, 1-186.

www.mae.gov.nl.ca. 2017. Pressure Monitoring and Data Management System. Erişim Tarihi: 01.04.2019.

İçme Suyu Temin Ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. 2014, Resmi Gazete (Sayı: 28994).

İçme ve kullanma suyu temini ve dağıtım sistemleri hakkında yönetmelik. 2017, Resmi Gazete (Sayı: 30208).



ÖZGEÇMİŞ

Durmuş Sınmaz, 11.11.1986 yılında Bolu'da doğdu. İlk öğrenimini Bolu'da, orta öğrenimini Karadeniz Ereğli'de ve lise öğrenimini Bolu'da tamamladı. 2004 yılında Bolu Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne başladı. 2012 yılında mezun olduktan hemen sonra Bodrum Belediyesi arıtma tesisleri sorumlusu olarak çalışma hayatına başladı. 2015 yılında iş değişikliği ile Siemens A.Ş.'de halen çevre mühendisi olarak görev yapmaktadır.