

İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir



Tarih: 9 Ağustos 2024

## İçindekiler Tablosu

1. Giriş.....	4
2. İçme Suyu Şebeke Sisteminde Kayıpları.....	6
3. Su Dengesi.....	12
4. İçme Suyu Şebekesinde Kontroller.....	15
5. İçme Suyu Şebekesinde Basınç Yönetimi .....	16
6. Su Kaybını Azaltmanın Faydaları Nelerdir? .....	20
6.1. Detaylar.....	20
7. Şebeke Sisteminde Su Kaybıyla Mücadele .....	22
7.1. Su Kaybı Nedir ve Neden Önemli .....	22
7.2. Detaylar.....	23
7.3. Tipik Sorular (Stratejik Cevaplarıyla Birlikte).....	24
7.4. Yüksek Su Basıncı .....	25
8. Akıllı Su Sayaçları .....	27
8.1. Akıllı Su Sayacının Getirdiği Yenilik ve Kolaylıklar .....	28
8.2. Akıllı Su Sayaçlarının En Önemli On Faydası.....	29
8.3. Türkiye’de Belediyeler .....	31
9. İçme Suyu Şebekesindeki Su Kaybı Nasıl İzlenebilir? .....	35
9.1. Akustik Sızıntısı Tespiti .....	35
9.2. Akustik Su Sızıntısı Cihazları, Basınç Sensörleri, Akış (Hız/Debi) Ölçerler veya Termal Kamera ile Donatılmış Dron Görüntüleri .....	36
9.3. Akustik Sızıntısı Tespiti Detektörüyle Kaçak Tespit Cihazı .....	38
9.3.1. Akustik Olmayan Su Kaçağı Tespit Cihazı .....	38
9.3.2. İletim İçin Şebeke Sızıntı Algılama Donanımları .....	38
10. Şebekede Su Kaybı Ölçümü.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
11. Dronlara Monte Edilmiş Termal Kamera ile Sızıntı Suyu Tespiti.....	40
12. Şebekenin İzole Ölçüm Bölgelerine (DMA) Bölünmesi.....	44
13. Gaz Enjeksiyon Yöntemiyle Sızıntı Tespiti .....	53
13.1. İzleyici Gazla Su Boru Hatlarında Kaçak Tespiti .....	53

13.2. İzleyici Gaz Nedir? .....	53
13.3. İzleyici Gaz Yöntemi Nasıl Çalışır? .....	54
13.4. Ne Kadar İzleyici Gaza İhtiyaç Vardır Ve Nereye Enjekte Edilir? .....	54
13.5. İzleyici Gaz Nasıl Enjekte Edilir? .....	54
13.6. İzleyici Gazın Avantajları Nelerdir? .....	55
14. Şebekedeki Su Kaybı Nasıl Azaltılır? .....	56
14.1. Detaylar .....	57
15. Özet: Kaçak/Kayıp Tespiti .....	58
16. Kaynaklar .....	59

## Şekiller ve Tablolar

Şekil 2.1. İçme Suyu Şebeke Sisteminde Yüzde Cinsinden Gelir Getirmeyen Su Oranı .....	7
Şekil 2.2. Ortalama Şebeke Fiziksel Kayıpları (Gelir Getirmeyen Su Miktarı) ( $m^3/km/yıl$ ) .....	7
Şekil 2.3. Çeşitli Ülkelerde İçme Suyu Dağıtım Şebekesindeki Sızıntılar .....	8
Şekil 2.4. Sahra Altı Afrika'daki seçili ülkelerinde Gelir Getirmeyen Su Oranı (2024). .....	9
Şekil 2.5. Yıllara Göre Büyükşehir Belediyelerinin Su Kayıp Oranları .....	10
Şekil 5.1. İçme Suyu Şebeke Sisteminde 24 Saatlik Su Tüketimi ve Basınç Değişimi .....	16
Şekil 7.1. Seçilen Yöntemlere ve Aralarındaki Bağlantılara Genel Bir Bakış .....	22
Şekil 7.2. Tek bir 6 mm Delikten Sızıntı Akış Hızı ve Eşdeğer Su Hacmi .....	25
Şekil 9.1. Akustik Su Sızıntısı Detektörüyle Sızıntı Suyu Tespiti .....	38
Şekil 10.1. Dronlarla Şebekedeki Su Sızıntıları Tespiti .....	41
Şekil 11.1. Büyük bir İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde Birkaç DMA Oluşturulabilir .....	46
Şekil 11.2. İçme Suyu Şebekesinde Örnek Bir DMA Oluşturma .....	47
Şekil 11.3. DMA Kontrolü İçin Sıfır Basınç Testi Yapılmalıdır. a) DMA Girişindeki SCADA İstasyonunda Kaydedilen Debi Sıfıra İner, b) DMA İçinde Ölçülen Basınç Değerleri Sıfıra İner. ....	48
Şekil 11.4. Sabit Basınç Yönetimi Örnek Basınç Profili .....	49
Şekil 11.5. Debi Ayarlı Basınç Yönetimi Örnek Basınç Profili .....	50
Şekil 11.6. Basınç Düşürücü Vanaların (PRV) Şematik Gösterimi .....	51
Şekil 11.7. Besleme Basıncı ve Su Akışı .....	52
Şekil 12.1 Şebeke Sistemini Gazla İzleme .....	53
Şekil 12.2. Şebeke Sistemine İzleyici Gaz Verme .....	55
Tablo 2.1. Gelir Getirmeyen Suyun Tipik Rakamları .....	11
Tablo 3.1. Su Dengesi .....	13
Tablo 7.1. Farklı Basınçlar Ve Boru Malzemeleri İçin 6 mm'lik Bir Delikten Sızıntı Akış Hızı .....	26
Tablo 10.1. Fiziki Kayıplar Hedef Matrisi .....	33

## 1. Giriş

Son 40 yılda, su kullanımı küresel olarak yılda yaklaşık %1 oranında artmıştır ve gelecekte de benzer bir oranda artması beklenmektedir. Su kullanımındaki bu artış, nüfus artışı ve sosyoekonomik gelişmenin yanı sıra değişen tüketim kalıpları tarafından yönlendirilmektedir. Kentleşme, yüksek su tüketimi ile birleştiğinde su kıtlığına neden olabilir.

Su kıtlığı, fiziksel su stresinin yerel etkisinin ve tatlı su kirliliğinin hızlanmasının ve yayılmasının bir sonucudur. Fiziksel tatlı yüzey suyu ve yeraltı suyu kıtlığı, kıtlık ve stres olarak ikiye ayrılabilir. Su kıtlığı, kişi başına düşük su mevcudiyetinin etkisini ifade eder. Su stresi, su mevcudiyetine kıyasla yüksek su kullanımının (örneğin, çekilme veya tüketim) etkisini ifade eder. Su stresi önemli bir çevresel, ekonomik ve toplumsal sorundur.

2019 yılında, küresel ölçekte gelir getirmeyen su hacminin günde 346 milyon metreküp veya yılda 126 milyar m<sup>3</sup> olduğu (yani kişi başı günde 77 litre su israfı) ve metreküp başına sadece 0,31 dolar olarak değerlendirilen bunun yıllık maliyetinin 39 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir ve ortalama küresel gelir getirmeyen suyun %30'un üzerinde olarak beliriyor.

Temiz su kaynakları Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin neredeyse yarısında endişe verici derecede düşüktür (kişi başına yılda 3000 m<sup>3</sup>'ün altında).

Birleşmiş Milletlere (BM) göre, kişi başına yılda 1700 m<sup>3</sup>'ün altındaki yıllık su kaynakları seviyesi su stresine neden olur, bu da su temini güvenlik seviyesinin aşılması anlamına gelir.

DSİ'nin Mart 2023'te tamamlanan havzaların su potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları sonucunda, teknik ve ekonomik kullanılabilir yer üstü suyu potansiyeli 91,9 milyar metreküp, yer altı suyu potansiyeli de 18,6 milyar metreküp olarak kayıtlara geçerken, teknik ve ekonomik kullanılabilir su potansiyelinin ortalama yıllık 110,5 milyar metreküp olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin su potansiyeli yönünden zengin bir ülke olarak değerlendirilebilmesi için kişi başına su potansiyelinin yılda 1700 m<sup>3</sup>'den büyük olması gerekiyor. Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1 652 m<sup>3</sup>, 2009 yılında 1 544 m<sup>3</sup>, 2020 yılında ise 1 346 m<sup>3</sup> olmuştur. 2024 yılı verilerine göre teknik ve ekonomik kullanılabilir su potansiyeli dikkate alındığında kişi başına düşen su miktarı yılda 1294 m<sup>3</sup> seviyesinde olduğu göz önüne alındığında Türkiye'nin su potansiyeli bakımından zengin bir ülke olmadığı görülüyor.

AB'deki su ve atık su sektörü, elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %3,5'inden sorumludur. Su üretimi, küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %7-8'ini oluşturmaktadır (örneğin, su temini, arıtma, pompalama, dezenfeksiyon ve bakım için). Hem suyun hem de enerjinin rasyonel kullanımı, sürdürülebilir kalkınmanın temelidir. Bu nedenle, su sektörü yönetimi için önceliklerden biri, su temin sistemlerinin yüksek enerji verimliliğidir.

Su kaybı ile ilgili bir strateji geliştirmenin ilk adımı, şebeke özellikleri ve işletim uygulamaları hakkında bazı sorular sormak ve ardından stratejiyi formüle etmek için kullanılan uygun çözümleri önermek için mevcut araçları ve mekanizmaları kullanmaktır. Tipik sorular;



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

- Mevcut durum tespiti yapılıyor mu?
- Kaybedilen suyun hacmi ne kadar?
- Ne kadar su kaybediliyor?
- Nereden kayboluyor?
- Neden kayboluyor?
- Kayıpları azaltmak ve performansı artırmak için hangi stratejiler uygulanabilir?
- Stratejiyi nasıl sürdürebilir ve kazanılan başarıları nasıl sürdürebiliriz?

Gelir getirmeyen su (GGS) yönetiminin tek seferlik bir faaliyet olmadığını anlamak özellikle önemlidir, bu nedenle tüm su hizmetleri birimlerinin uzun vadeli taahhüt ve katılımını gerektirir.



## 2. İçme Suyu Şebeke Sisteminde Kayıpları

Gelir getirmeyen su, su kaynaklarının israf edilmesi ve kaybedilen paradır.

AB ülkelerinde içme suyunun yaklaşık dörtte birinin (yaklaşık %23) su kayıpları nedeniyle tüketicilere ulaşmadığı tahmin edilmektedir.

Su kayıpları yalnızca kamu hizmetleri ve tüketiciler için ek, gereksiz maliyetlere neden olmakla kalmayıp aynı zamanda kaynak israfı, arıtılmış su kaybı ve aşırı enerji tüketimi gibi olumsuz çevresel etkilere de neden olmaktadır.

Dağıtılan her su birimi, belirli miktarda sera gazı (GHG), özellikle karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretimi ve emisyonuyla sonuçlanır. Su tedarik şirketlerinin neden olduğu GHG emisyonları, elektrik şirketlerinin kullandığı enerji kaynaklarından büyük ölçüde etkilenir.

AB Üye Devletlerindeki su kayıpları ülkeden ülkeye değişmektedir. 2021 raporunda, Gelir Getirmeyen Suyun (GGS) en düşük ortalama yüzdesi;

- Hollanda'da, %5,
- Almanya'da %6,
- Danimarka'da %8'dir.

Birçok AB ülkesinde Gelir Getirmeyen Su (GGS) daha yüksektir, örneğin;

- Fransa'da yaklaşık %20,
- Belçika'da yaklaşık %21,
- İspanya'da %23,
- Polonya'da yaklaşık %25,
- Slovakya'da yaklaşık %32,
- İtalya'da yaklaşık %41,
- Romanya'da yaklaşık %42,
- Bulgaristan'da yaklaşık %60'dir.

Su kayıpları: Kuzey İtalya'da %26 - Orta İtalya'da %46 - Güney İtalya'da %45'dir.

2022 yılında İtalya'da içme suyu dağıtım şebekelerinde 3,4 milyar m<sup>3</sup> veya yüzde 42,4 oranında içme suyu kaybolmuştur. Bu miktar yaklaşık 43,4 milyon insanın yıllık su tüketimine eşittir.

İtalya'nın Montodine kentinde şebekede basınç yönetimi ile gelir getirmeyen su %30 oranında azaltılmıştır.

İngiltere'de her gün yaklaşık 3.200 milyon litre su, su şebekelerindeki sızıntılar nedeniyle israf edilmektedir

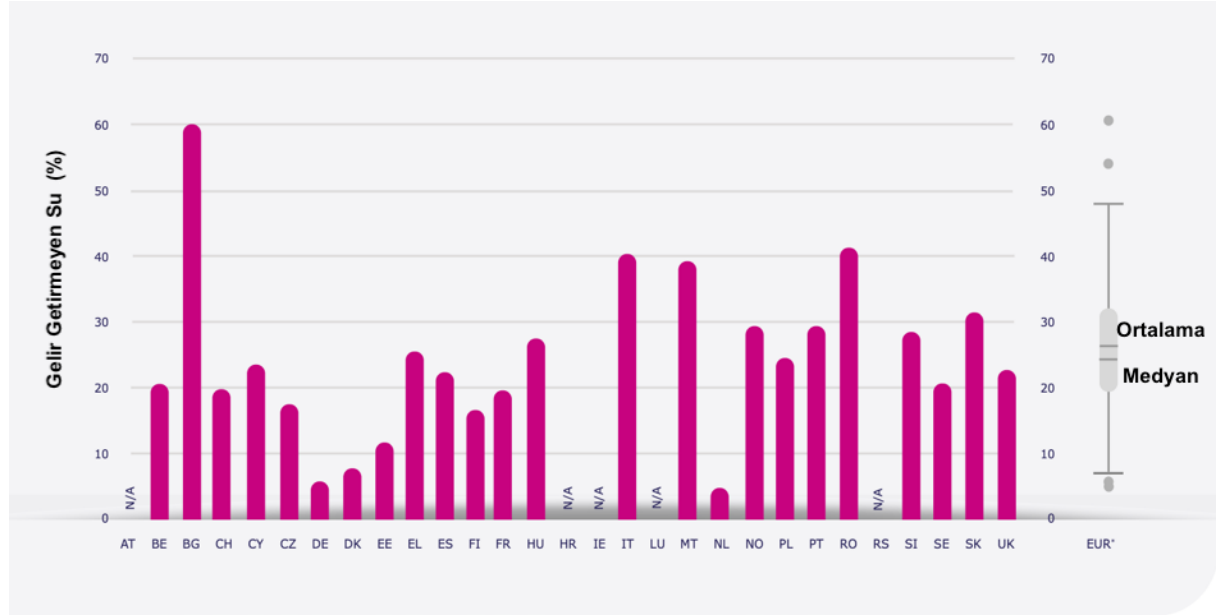
Almanya'da suyun yalnızca %6'i eski boru şebekeleri, malzeme yorgunluğu, korozyon veya boru hattı basıncı sonucu patlamalar, kırık borular ve sızıntılar nedeniyle sızarken, bu rakam örneğin Bulgaristan'da %60'ye ulaşıyor.

İstanbul'da günlük su tüketim miktarı 3,5 milyon m<sup>3</sup>'dür.



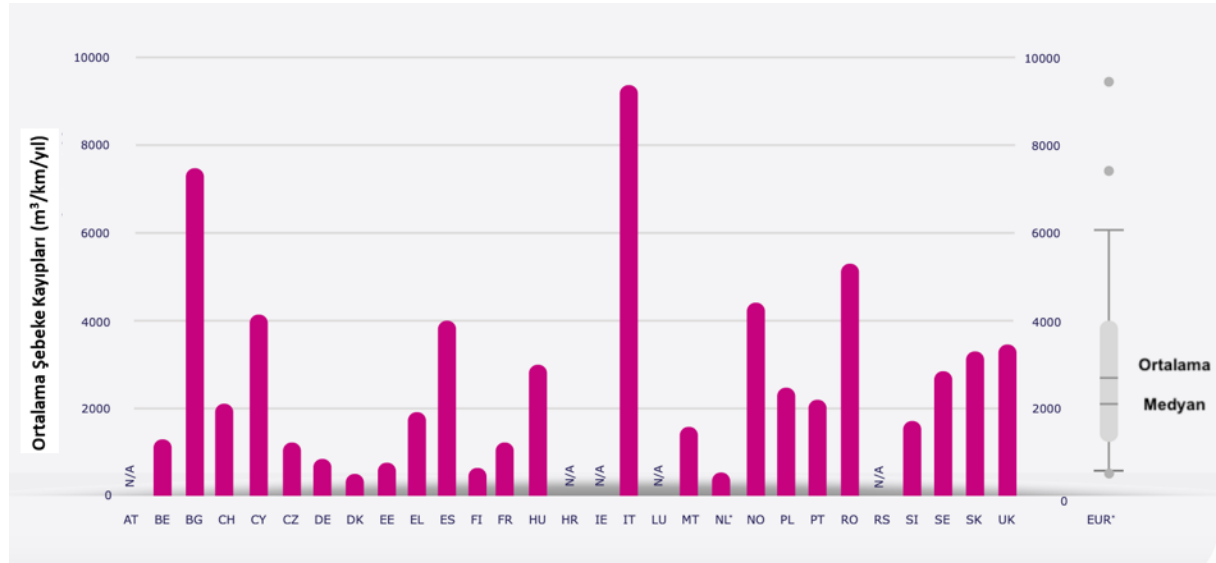
## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

AB ülkelerinde içme suyu şebekeleri için Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranı **Şekil 2.1'**de verilmiştir.



**Şekil 2.1.** İçme Suyu Şebeke Sisteminde Yüzde Cinsinden Gelir Getirmeyen Su Oranı

AB ülkelerinde gelir getirmeyen suya ilişkin ortalama değerler %25 ve 2 bin 696 m<sup>3</sup>/km/yıl fiziksel kayıp tespit edilmiştir. Ülkelere göre şebeke uzunluğu başına yıllık kayıplar aşağıdaki grafik ile verilmektedir.



**Şekil 2.2.** Ortalama Şebeke Fiziksel Kayıpları (Gelir Getirmeyen Su Miktarı) (m<sup>3</sup>/km/yıl)

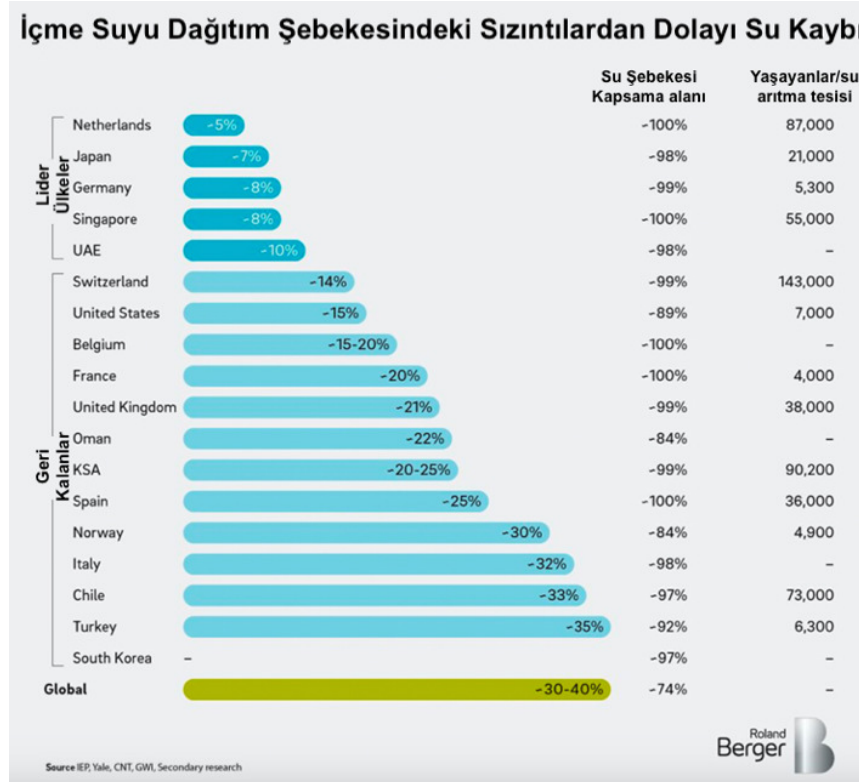
Uluslararası Su Örgütü (The International Water Loss Association), IWA'nın tahminlerine göre, Küresel olarak içme suyu şebekelerinden kaynaklanan su kayıpları günde 346.000.000.000 litredir (346 milyar litre). Bu su kaybı sadece %30 oranında önlense, 800 milyon kişiye artılmış su sağlamak için yeterli tasarruf sağlanır.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

2025 yılına gelindiğinde 1,8 milyar insanın mutlak su kıtlığıyla karşı karşıya kalması beklenmektedir.

BM, halihazırda 2,3 milyar insanın su sıkıntısı çeken ülkelerde yaşadığını ve su kullanımının geçen yüzyıldaki nüfus artış hızının iki katından daha fazla bir hızla arttığını tahmin ediyor.

İçme suyu şebeke sisteminde sızıntılar, su dağıtım sürecindeki kayıplarla bağlantılıdır ve bildirilen, bildirilmeyen veya arka plan sızıntısı olarak sınıflandırılır.



**Şekil 2.3.** Çeşitli Ülkelerde İçme Suyu Dağıtım Şebekesindeki Sızıntılar

AB'de ortalama %24, ABD'de %12-15, Avustralya'da ise %10 su kaçağı bulunmaktadır. Brezilya'da 2019 yılında su dağıtımında yaklaşık %38 oranında kayıp olduğu tahmin edilmektedir.

Almanya'da kişi başı su tüketimi 1990'lı yıllarda 144 litre/gün iken 2019 yılında 128 litre/güne düşmüştür.

Amerika Birleşik Devletleri'nde her gün tahmini 22 milyon 713 bin m<sup>3</sup> arıtılmış su kayboluyor.

Danimarka, 1977'den bu yana belirli su kayıplarını %75'ten fazla azaltmayı başardı ve su kayıpları 13,3 m<sup>3</sup>/gün/km ana seviyesinden 3,1 m<sup>3</sup>/gün/km ana seviyesine düşürüldü ve bu da NRW seviyesinde %9'dan %5'e genel bir azalmaya denk geliyor.

Danimarka Aarhus su yönetiminde benimsenen yöntemler:

- Altyapı yönetimi
- Yüksek kaliteli inşaat işleri
- Kaçak tespiti



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

- Basınç yönetimi
- DMA gece akışlarının izlenmesi
- Akıllı boru değiştirme programı

Singapur'da 1990'da gelir getirmeyen su, toplam su üretiminin %9,5'ini oluşturuyordu. 2006'ya geldiğinde, gelir getirmeyen su %4,5'e düşürülmüştür.

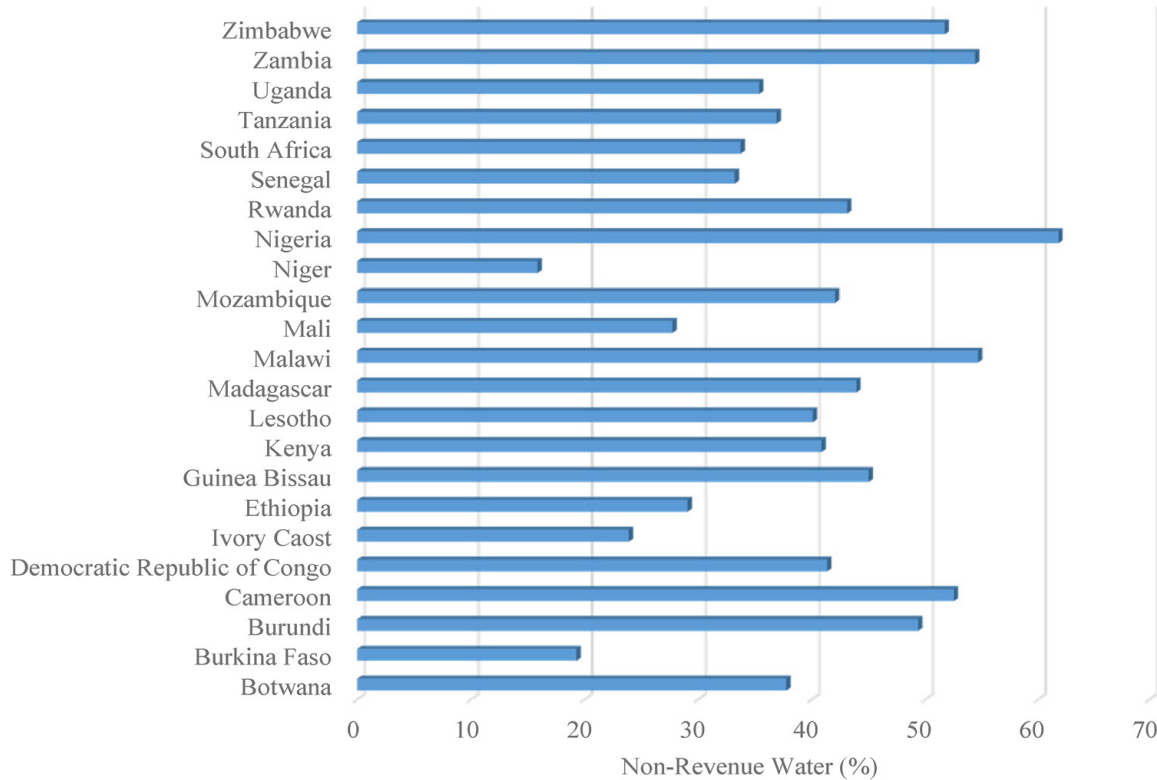
Singapur su yönetimi, 2014'te 100 km'lik boru başına 10 sızıntıdan düşerek yılda 100 km'lik boru başına 5 sızıntı kaydediyor.

Gelişmekte olan ülkelerde her gün yaklaşık 45 milyon metreküp su kaybedilmektedir.

Birleşik Arap Emirlikleri'nin Abu Dabi Emirliği'ndeki Al Ain şehri, 19 Bölge Ölçüm Alanı (DMA) için bir yıl içinde gelir getirmeyen su seviyesini %45'ten %10'a düşürdü. Sonuçlar, gerçek zamanlı hidrolik modelleme, otomatik su dengesi hesaplamaları, akış ve basınç izleme araçlarının kurulumu ve otomatik sızıntı tespiti için gürültü kayıt cihazlarının ve en üstte Holistik Yönetim Bilgi Sistemi 'HOMIS'in konuşlandırılmasını içeren entegre bir yaklaşımla elde edildi.

Hindistan'ın su temininin yaklaşık %40'ı gelir getirmeyen suya giriyor.

Sahra altı Afrika ülkelerinde gelir getirmeyen su oranı **Şekil 2.4'**de verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Sahra Altı Afrika'daki seçili ülkelerinde Gelir Getirmeyen Su Oranı (2024).

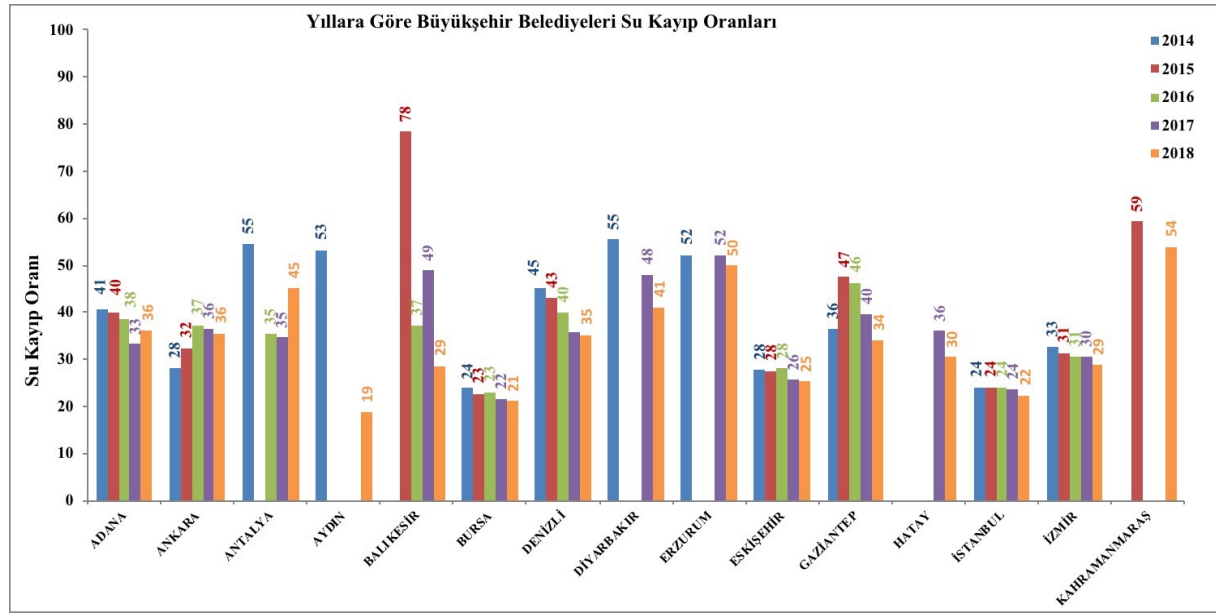
Türkiye'de su kaybı oranı raporları her yıl Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yayınlanmaktadır. Kamu hizmetlerindeki (toplam 30 kamu hizmeti) su kaybı oranları 2021 yılında %34 civarında gerçekleşmiştir. Yani şebekeye verilen her 100 m<sup>3</sup> içme suyunun 35 m<sup>3</sup>'ü gelir getirmiyor.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Türkiye Su Enstitüsü (SUEN) tarafından 2022 yılında hazırlanan raporlarda, su kayıplarının kamu hizmetleri için neden olduğu ekonomik kayıpların güncel rakamlarla yaklaşık yaklaşık 12 milyar 784 milyon TL (Türk Lirası) (386 milyon 314 bin dolar) olduğu belirlenmiştir.

Ülkemiz büyükşehir belediyelerinde ortalama %40-50 seviyesinde olan su kayıp oranı, diğer belediyelerde %60-70 seviyelerine kadar çıkabilmektedir.

Türkiye’de Büyükşehir Belediyelerinin 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait su kayıp-kaçak oranları **Şekil 2.5**'da verilmiştir.

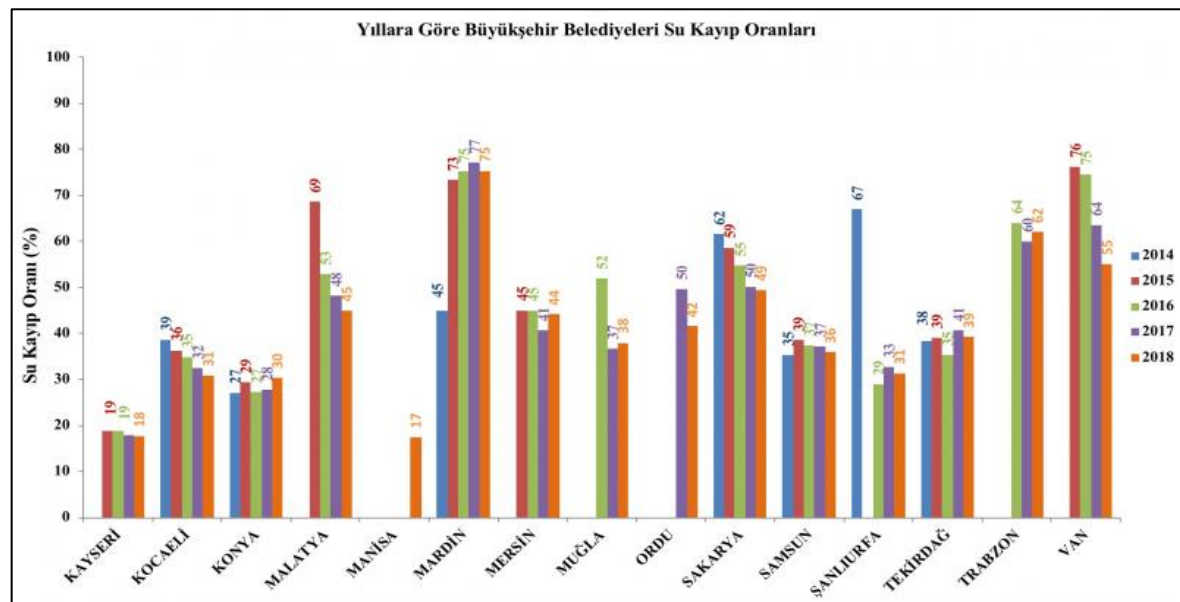


\*2021 yılında Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan çalışmada;

- İçme suyu şebeke sistemine verilen su miktarı 155 milyon 166 bin 877 m<sup>3</sup>/yıl.
- Şebekeye verilen suyun gelir getirmeyen su miktarı 64 milyon 715 bin m<sup>3</sup>/yıl (%41,7).

\*İstanbul’da 2019 yılında yüzde 22,31 olan su kayıp oranı, 2023 yılı sonunda %18,94’e seviyesine düştü.

\*Erzurum’da içme suyu şebeke sisteminde su kaybı %40 civarında (2023).



**Şekil 2.5.** Yıllara Göre Büyükşehir Belediyelerinin Su Kayıp Oranları

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Gelir getirmeyen su kaybının yüksek olduğu şebeke sistemlerinde sızıntı kirleticileri borulara sızabilir, buda su kalitesini bozabilir ve dezenfeksiyonu riskli hale getirebilir.

Kabul edilebilir sızıntı seviyesi, su kaybıyla ilişkili kaynak ve çevresel maliyetleri ve sızıntıdan kaynaklanan diğer maliyetleri içermelidir. Bu ek maliyetler, binaların çökmesi, yolların hasar görmesi veya hatta su arızalarının onarımından kaynaklanan trafik sıkışıklığıyla ilgili olabilir.

**Tablo 2.1.** Gelir Getirmeyen Suyun Tipik Rakamları

Toplam arzın yüzdesi	Tipik uygulama koşulları
%5-15	Az sızıntılı küçük içme suyu şebeke sistemler; az sızıntılı büyük içme suyu şebeke sistemlerin konut bölümleri
%16–20	Genellikle tüm şehirler için bildirilen en düşük değer, genellikle aktif sızıntı kontrol stratejisiyle ilişkilendirilir
%20-25	Aktif sızıntı ve atık kontrol yöntemleri ve iyi sistem izleme ve ağ verileriyle büyük sistemlerde elde edilebilir
%25–35	Orta ila kötü durumdaki eski şebeke ve servis borularından oluşan büyük sistemler, düşük sayaç kapsamı ve zayıf veriler için raporlandı
%35–55 ve üzeri	Kötü durumdaki birçok eski şebeke ve servis borusuna sahip sistemler; verimsiz ölçüm, sızıntılara ve tüketici israfına dikkat edilmemesi ve sınırlı finansal kaynaklar

Rakamların geniş yelpazesi, su kayıplarını tahmin etmek için kullanılan yöntemlerin çeşitliliğinin yanı sıra gerçek kayıpların çeşitliliğini de yansıtmaktadır. Ölçüm hatalarının yanı sıra her zaman tahmin edilmesi gereken bir miktar ölçülmemiş su tüketimi vardır. %30'u aşan yüksek rakamlar kısmen borulardaki sızıntılardan kısmen de geçerli tüketim verilerinin eksikliğinden kaynaklanıyor olabilir. Yeni veya kapsamlı bir şekilde yenilenmiş bir sistemdeki kayıplar düşük olmalıdır, örneğin %5-10, ancak rapor edilen düşük rakamlar, ölçülmemiş tüketimin liberal tahminlerinden veya ana şebeke kayıplarının veya sayaç yanlışlığının hesaplamadan hariç tutulmasından da kaynaklanabilir.

### 3. Su Dengesi

Gelir getiren ve gelir getirmeyen suyun oluşturduğu tüm bileşenler su dengesi tablosunda ortaya konulmaktadır. Bu tabloda içme suyu sistemine giriş hacmi, dağıtım sistemini besleyen tüm kaynakların debimetreler ile düzenli bir şekilde ölçülmesi ile elde edilmektedir. Su dengesinin diğer önemli bileşeni olan yasal faturalandırılmış tüketimlerin düzenli bir şekilde belirlenmesi için idarede güncel abone yönetim sisteminin olması ve abone okumalarının sürekli ve sistematik olarak yapılması gerekir. Su dengesinden beklenen faydaların elde edilmesi için diğer tüm bileşenlerin saha verilerine göre belirlenmesi gerekir. Ancak bazı idarelerde veri, personel, farkındalık ve finansal eksikliklerden dolayı bileşenlerin belirli bir kısmı tahmin edilmektedir. Bu durumda su bütçesi sahayı temsil etmeyen veriler esas alınarak hesaplanmış olmaktadır. GGS, bir su idaresinin gelir hanesine girmemekle birlikte, bu kavramı oluşturan üç ana bileşen aşağıda açıklanmaktadır.

- **Fiziki (Gerçek) Kayıplar**, ham sudan son kullanıcıya kadar ulaşan servis altyapısında meydana gelen sızıntılar (kayıplar) olarak tanımlanmaktadır. Kayıplar, sistemin tüm bölümlerinden gelen sızıntıları ve depolardaki taşmaları içerir. Bu nedenle, kaçak ve taşma nedeniyle tüketici sayaçlarından önce su kaybını gösterir. Ülkemiz düzenleyici sisteminde "Gerçek Kayıplar", "Fiziksel Kayıplar" veya "Sızıntılar" olarak adlandırılmakta olup, bu nedenle Kılavuzda "Gerçek Kayıpları" tanımlamak için öncelikli olarak "Fiziksel Kayıplar" terimi kullanılacaktır
- **İdari (Ticari) Kayıplar**, yasadışı su kullanımı ve sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpları ifade etmektedir. Görünür (Ticari-İdari) Kayıplar, sayaç ve okuma hataları, veri işleme hataları ve çeşitli şekillerde su hırsızlığından kaynaklanan su kayıpları olarak tanımlanır. Ülkemiz düzenleyici sisteminde "Görünür Kayıplar", "İdari Kayıplar" olarak anılmakta olup, bu nedenle Kılavuzda "Görünür-Ticari Kayıpları" tanımlamak için öncelikli olarak "İdari Kayıplar" terimi kullanılacaktır.
- **Faturalandırılmamış İzinli Kullanımlar**, gelir getirmeyen suyun (GGS) üçüncü bileşeni faturalanmamış izinli kullanımları kapsamaktadır. Faturalandırılmamış izinli tüketim, su idaresinin politikası nedeniyle faturalandırılmamış ölçülmüş veya ölçülmemiş izinli tüketimden oluşur. Bu tüketim, yangınla mücadele ve eğitim, şebeke ve kanalizasyonların yıkanması, su depolarının temizlenmesi, su tankerlerinin doldurulması, hidrantlardan alınan su, sokak temizliği, belediye bahçelerinin sulanması, çeşmeler, donmaya karşı koruma, bina suyu vb. olarak listelenebilir.

Toplam su kaybı ile gelir getirmeyen su arasındaki farkı ayırt etmek önemlidir.

Su dengesi hesaplaması, şebekeden kaynaklanan sızıntılar (fiziksel (gerçek) kayıplar) ve 'idari' veya fiziksel olmayan kayıpların boyutu hakkında bir rehber sağlar. GGS'nin bileşenleri bir su dengesi yapılarak belirlenebilir. Dengede olması gereken bu hesaplama, üretilen, tüketilen veya kaybedilen suyun ölçümüne veya tahminine dayanır.

IWA Su Kayıpları ve Performans Göstergeleri Çalışma Grubu, birçok ülkeden en iyi uygulamalardan yararlanarak, bileşenlerinin tanımları da dahil olmak üzere su dengesi



hesaplamaları ve kamu hizmeti işletmecileri arasındaki performansı karşılaştırmak için uluslararası bir en iyi uygulama yaklaşımı üretmiştir.

**Tablo 3.1'**de su temin sisteminin değerlendirilmesinde kullanılan örnek bir su dengesi tablosu verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Su Dengesi

Sisteme Verilen Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Tüketim	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su	
		Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım		
	İzinli Tüketim	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getirmeyen Su	
		Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım		
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (görünür kayıplar)	İzinsiz Tüketim		Gelir Getirmeyen Su
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları		
		Fiziki Kayıplar (gerçek kayıplar)	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kaçak Kayıplar		
			Depolardan Meydana Gelen Kaçaklar ve Taşmalar		
Abone Sayacına kadar olan Abone Bağlantılarında Oluşan Kaçak Kayıplar					

**Gerçek kayıplar** genellikle gelir getirmeyen suyun (NRW) çoğunluğunu temsil eder. Gerçek kayıplar, dağıtım boruları ile tüketicilerin tesisleri arasındaki ana hatlar, dağıtım boruları, depolama tesisleri ve servis bağlantılarından kaynaklanan sızıntı, taşma ve israfı içerir. Sızıntılar, borulardan, boru bağlantılarından ve bağlantı parçalarından; vanalardan, yangın musluklarından ve yıkamalardan ve tüketicilerin sayaçlarının veya sınır musluklarının yukarıdaki servis borularından kaynaklanır. Servis borularının şebekeye olan ferül bağlantıları genellikle dağıtım sızıntısının başlıca nedenidir. Bu nedenle dağıtım kayıpları hem tüketicilere hizmet eden şebekenin uzunluğundan hem de kilometre başına servis borusu bağlantı sayısından etkilenir.

İçme suyu şebeke sisteminde yeraltı sızıntıları aylarca tespit edilemeyebilir.

**Görünür kayıplar**, tüketiciye ölçülmeyen veya faturalandırılmayan yetkisiz tüketimi temsil eder, örneğin yasadışı bağlantılar, sayaç kurcalama veya baypas etme ve sayaç yanlışlıkları olabilir. Görünür kayıplar, tüketici sayacı yanlışlığını ve yetkisiz tüketimi belirleme ve ortadan kaldırmada önemli olan sayaç okuma ve faturalama süreçlerindeki hataları içerir. Görünür kayıpların en büyük oranını oluşturan ölçüm yanlışlıkları, sayaçların bakımı (muayene, yeniden kalibrasyon ve değiştirme) ve veri girişi ve faturalamadaki hataları en aza indirmek için faturalama prosedürlerinin yönetilmesiyle en aza indirilebilir. Yetkisiz tüketimi yönetmek, yasadışı kullanımın niceliklendirilmesi ve bağlantıların yerinin belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle karmaşıktır. Sonuç olarak yetkisiz tüketim, meşru kişi başına tüketim rakamlarına dahil olma eğilimindedir.

Türkiye genelinde, 2021 yılında içme ve kullanma şebekesine giren su miktarı yaklaşık 6,22 milyar m<sup>3</sup>/yıldır. Bu suyun yıllık 2,18 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı kullanıcılara ulaşmadan kaybolmuş ve içme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki 2021 yılı su kayıp oranı %35 olarak hesaplanmıştır. Bunun anlamı **her yıl 29 milyon 494 bin insana yetecek kadar su içme suyu şebeke sisteminde israf edilmektedir.**

Su dağıtım sistemlerindeki kaçak temelleri aşağıda sıralanmıştır:

- Ana boru veya boru kırıkları
- Korozyon
- Çatlak
- Delik
- Sızıntı
- Çökme
- Akılsız pompalar veya vanaların kaçağı
- Boru bağlantı kaçakları
- Servis bağlantı borularında sızıntı

Mevcut içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların izlenmesi ve kontrolü, su kaynaklarının kısıtlı olması, iklim değişikliğinin artan etkileri, artan suya erişim maliyeti ve şebeke maliyetleri nedeniyle günümüz koşullarında çok önemli hale gelmiştir. Mevcut varlıkların optimum düzeyde korunması ve izleme ve kontrol mekanizması ile çalışır durumda tutulması ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan en kritik öneme sahiptir. Örneğin, gerçek zamanlı debi ve basınç verilerini kullanarak kalibrasyonunu kurmayı amaçlayan bir belediye su idaresi, abone sayısı ve türü, hizmet verilen nüfus, boru uzunlukları, çaplar, kurulum yılı ve malzemesi, sisteme verilen toplam su miktarı, tüketilen su miktarı, günlük su tüketimi, faturalanan su tüketimi, basınç, debi, vana tipi, sayısı ve türü gibi parametreleri kaydetmeli ve güncellemelidir.

## 4. İçme Suyu Şebekesinde Kontroller

Veri girişi hatalıysa, veriye bağlı uygulamaların sonuçları yanlış sonuçlara yol açabilir.

İçme suyu dağıtım sistemlerindeki enerji verimliliği, akıllı pompa sistemlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi, basınç yönetimi, sızıntıların yönetimi, pompaların türbin olarak kullanılmasıyla enerji geri kazanımı (PAT'ler), izleme, otomasyon, varlık yönetimi vb. yoluyla iyileştirilebilir. Çevresel yönetim araçlarının ve standartlarının uygulanması, su tedarik şirketlerinin sürdürülebilirliğinin ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine de katkıda bulunabilir

İçme suyu şebeke sisteminde kaçaklar/kayıplar kontrol altına alınmadığı zaman içme suyu şebekesine giren su miktarındaki artışlar ve belediye bütçesinden boru patlakları, aktif kaçak kontrol (AKC) faaliyetleri ve enerji tüketimi için ayrılan paylar nedeniyle harcamaları artırır.

İçme suyu şebekesinde su kaybı, temiz su tedarik sistemlerinin güvenilirliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini etkilediği için su mühendisleri için büyük bir zorluktur. Şebekedeki su kaybını nasıl ölçüyor ve izlenir ve bunu azaltmak için hangi stratejileri ve teknolojileri kullanılıyor. Bu çalışmada, su kaybı ve kaçaklarının sistematik ve proaktif bir şekilde nasıl yönetileceğine dair bazı kavramlar ve ipuçları verilmiştir. IWA su dengesi, kaçak tespiti ve yeri belirlemeye yönelik araçlar ve teknikler ile su kaybını azaltmanın kamu hizmeti, müşteriler ve çevre için faydaları hakkında uygulanabilir bilgiler vermektedir. Su kaybı yönetimindeki en büyük zorluklar veya başarılar nelerdir?

Gelir getirmeyen içme suyu kaybının azaltılması, enerji ve su kaynaklarından tasarruf edilmesini ve içme suyunu kirlilikten (örneğin şebekedeki sızıntılardan kaynaklanan) korunmasını hedefler.

***İçme suyu şebeke sisteminde uzun süreli su sızıntısı yapısal hasarlara, çukurlara, çökmelere ve hatta hastalığa neden olan patojenlerin su şebeke sistemini kirletmesine neden olabilir.***

***Su kaybı nedeniyle gelir azalır, sonunda su maliyeti artar ve hizmet kalitesi düşer.***

***Şebeke sisteminde sızıntıdan kaynaklanan kirlilikler genellikle su kalitesinin kabul edilebilir seviyelerin ötesine düşmesine neden olarak halkın sağlığını riske atar.***

İçme suyu şebeke sisteminde sızıntı ve kayıplar azaldıkça suyun kalitesi artar.

Eski ve ekonomik ömrünü tamamlamış boruların oranının yüksek olduğu su dağıtım sistemlerinde (WDS), kaçaklar genellikle yüksektir ve bu da sistemin işletme maliyetini artırmaktadır.

İçme suyu şebeke sisteminde boru çapı ve hızı: minimum çap 100 mm ve minimum hız 0,5 m/s ve maksimum hız 1,5 m/s alınır.

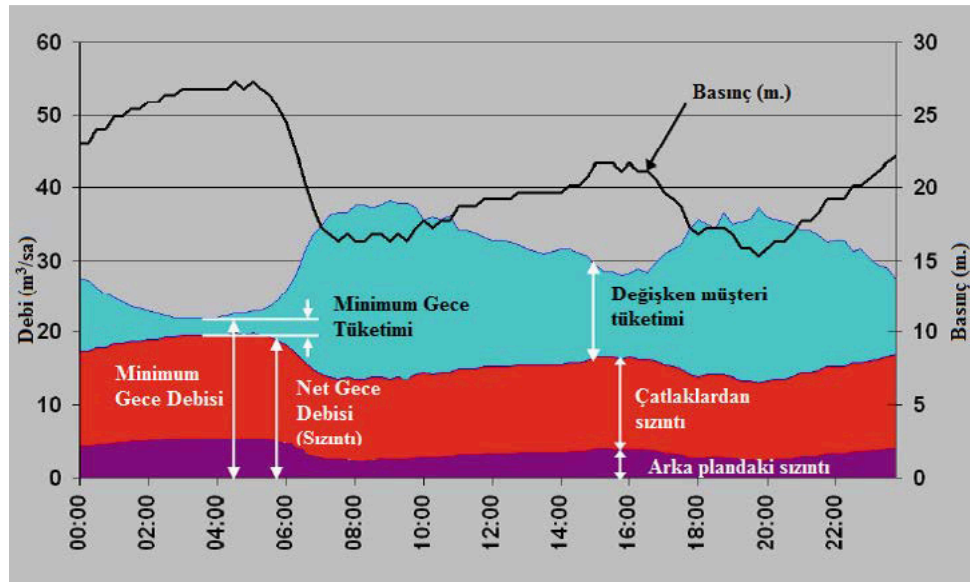
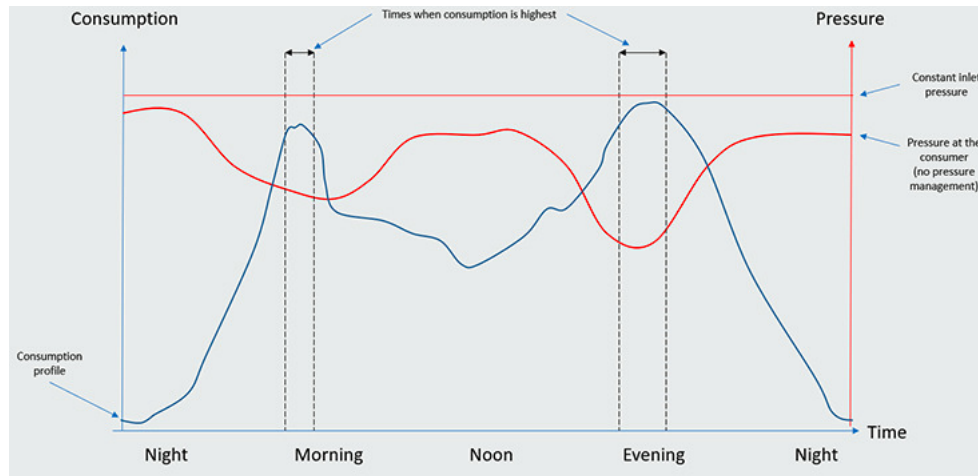


## 5. İçme Suyu Şebekesinde Basınç Yönetimi

Basınç yönetimi (PM), su dağıtım şebekesindeki su basıncının ne çok yüksek ne de çok düşük olmasını sağlamak için ayarlama işlemidir.

Optimum basınç yönetimi (PM), su dağıtım sistemlerinde (WDS) su kaybını en aza indirmek için standart bir stratejidir.

Su dağıtım şebekesindeki (WDS) su basınçları, dinamiktir ve tüketici uçlarındaki su taleplerindeki dalgalanmalar nedeniyle saatlik olarak değişir. Genellikle, su talepleri en yüksek seviyededir ve su basınçları genellikle boruların içindeki artan basınç kayıpları nedeniyle öğle saatlerinde en düşük seviyelerdedir. Alternatif olarak, minimum su talepleri sırasında (genellikle gece vakti), su basınçları en yüksek seviyelerde olur.



Şekil 5.1. İçme Suyu Şebeke Sisteminde 24 Saatlik Su Tüketimi ve Basınç Değişimi

$$\text{Net Gece Debiti (Sızıntı)} = \text{Minimum Gece Debiti} - \text{Minimum Gece Tüketimi}$$

Su sızıntıları, dağıtım şebekesindeki basınç ile doğrudan ilişkilidir. DMA içindeki debiler gibi, DMA içindeki ortalama basınç değerleri de 24 saat süresince sürekli değişir. Su basıncı, şebekedeki debi ve ona bağlı olarak değişen sürtünme kayıpları ile doğrudan ilişkilidir. Buna



göre, DMA içinde en düşük debilerin bulunduğu zamanda en yüksek su basıncı oluşur (**Şekil 5.1**). Bunun nedeni, en düşük debi zamanında, borulardaki su hızlarının azalması ve dolayısıyla sürtünme kayıplarının da azalmasıdır.

**Minimum Gece Debisi (MNF)**, 24 saatlik zaman süresince DMA girişindeki en düşük debidir ve ağırlıklı olarak evsel su kullanımının olduğu yerleşim bölgelerinde su abonelerinin aktif olarak su tüketmediği gece 02:00-04:00 saatleri arasında tespit edilebilir. DMA girişinde ölçülen debi verilerinden doğrudan MNF belirlenebilir. Gece belirtilen saatler arasındaki su tüketimi en düşük düzeyde olsa bile ilgili su idaresi tarafından Minimum Gece Tüketimi dikkate alınmalıdır.

**Minimum Gece Tüketimi**, minimum gece debisinin gerçekleştiği saatler arasında aktif olan bazı abonelerin su kullanımı (hastaneler, taksi durakları, tuvalet kullanımı, bulaşık/çamaşır makineleri, vb.) ile oluşur. Bu tüketimi tahmin etmek için Minimum Gece Debisinin belirli bir oranı (örnek olarak %15) alınır. Alternatif olarak, DMA içindeki tüm sayaçlar, Otomatik Okuma Sayaçları (Automatic Reading Meters-AMR) ise Minimum Gece Tüketimi belirtilen sayaç verilerinden kolaylıkla hesaplanabilir.

Aslında bu, tüketicilerdeki basıncın suya en az ihtiyaç duydukları zamanlarda en yüksek ve gerçekten çok su kullandıklarında en düşük olacağı anlamına gelir.

İçme suyu dağıtım şebekeleri, esas olarak yüksek işletme basıncından kaynaklanan sızıntılar ve kırılmalar nedeniyle yüksek seviyelerde su kaybı yaşarlar. Su kayıplarını azaltmak için en iyi bilinen yöntemlerden biri akıllı basınç yönetimidir. Ancak, bir su dağıtım şebekesindeki işletme basıncı azaldığında, suyun şebekede kalma süresi (su yaşı olarak adlandırılır) artar. Artan su yaşı, bozulan su kalitesi anlamına gelir. Simülasyon ve optimizasyon araçları kullanılarak, su yaşını ve işletme basıncını aynı anda azaltmak için optimum çözüm buluna bilinir.

Su basıncı günün farklı saatlerinde değişebilir. Basınç, genellikle daha az su talebi olduğunda gece geç saatlerde daha yüksek ve daha fazla suyun birçok kişi tarafından paylaşıldığı sabah saatlerinde daha düşüktür. Nedeni ne olursa olsun, dalgalanan su basıncı ve akışı evinizin çalışma şeklini bozabilir.

Dağıtım sistemindeki normal çalışma basıncı 60 ila 75 psi arasında değişir.

Tipik konut içme suyu sistemleri 40-70 psi basınç altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Su basıncı 75 psi'yi aşarsa ikaz sistemi devreye girmeli ve 100 psi basıncı ise kabul edilebilir bir aralığa düşürmek için hatta bir basınç regülatörü takılması gerekir.

Basınç regülatörü, evlerdeki ekipmanı suyun uygulandığı aşırı kuvvetin neden olduğu hasardan korur. Bunun tersi de olabilir; basınç 40 psi'nin düşerse, kabul edilebilir seviyelere getirmek için bir basınç yükselticiye ihtiyaç duyulabilir.

Su dağıtım sistemlerinin uygun su kalitesi sağlayabilmesi için, su dağıtım şebekesine basınç regülatörleri uygular. Su dağıtım sistemleri ayrıca tüketicilere 20 psi'den düşük olmayan bir basınçta uygun veya yeterli su sağlamalıdır. Su ana basınç seviyeleri değişebilse de, birçok sistem tüketicilere yeterli su sağlandığından emin olmak için basınç sensörleri kullanır.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

İran'da yapılan bir çalışmada su dağıtım şebekesinde optimum basıncın 68 psi olarak hesaplanmıştır.

Su dağıtım sistemleri, su basıncı sorunlarının oluşmasını önlemek için su sayaçlarını ve sensörlerini yakından izler. Aşırı yüksek veya düşük basınçlar gibi basınç seviyelerindeki hatalar, borulara, vanalara ve pompalara zarar verebilir ve güvenlik riskleri yaratabilir. Su kalitesinin risk altında olmasını önlemek için birçok sistem mevcuttur.

Yüksek su basıncının çok daha fazla suyu israf ettiği ve boruları patlatabileceği, armatürlere zarar verebileceği ve bunları kullanan kişileri yaralayabileceği bilinmektedir. Günümüzde birçok belediyenin sadece ev sahiplerinden ve işletmelerden su tüketimi için yüksek ücretler almakla kalmayıp, aynı zamanda tüketicilerden de atık suyun bertarafı için aynı derecede yüksek ücretler aldığını düşündüğünüzde, israf edilen su iyi değildir.

Bir su dağıtım şebekesindeki (WDN) fiziksel (gerçek) kayıpları azaltmak için en bilinen önlemlerden biri akıllı basınç yönetimidir. Azaltılmış basıncın su dağıtım şebekelerinin (WDN) ekonomik ömrü üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir, çünkü sızıntılar ve kırılmalar nedeniyle oluşan su kayıpları daha azdır ve ekipmanlar (borular vb.) 24 saat içindeki basınç değişimleri nedeniyle daha az yük altındadır.

İçme suyu şebekesinde su kesintisi olduğunda şebekedeki basıncın düşmesi ve vakumlama etkisi ile şebeke dışındaki kirli su, borulardaki çatlak ve deliklerden şebeke içerisine girebilir. Buda içme suyunu riskli duruma sokar. Bu durumda, şebeke ile dağıtılan içme suyu kirlenir ve önemli sağlık riskleri ortaya çıkabilir.

İçme suyu şebekesinde kayıplar azaldığında, şebekeye dış ortamdan giren kirli su girişi de azalır ve bu da su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımıyla sonuçlanır.

Bir su dağıtım şebekesi (WDN) içindeki basınç optimize edildiğinde, su yaşı değerleri artar. Su yaşı, suyun su dağıtım şebekesi (WDN) içindeki tutulma (kalma) süresidir.

ABD'de 800'den fazla su temin şebekesini kapsayan bir anketin sonuçlarına göre, bir şebekedeki ortalama su yaşı 1,3 gün olarak ölçülürken, maksimum 3,0 gündür.

Artan su yaşı değerleri, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu, nitrifikasyon, mikrobiyal yeniden büyüme, patojen girişi, artan sıcaklık, tortu birikimi vb. gibi su kalitesi sorunlarıyla bağlantılıdır.

Bakiye serbest klor, su dağıtım şebekesinde suyun yaşı arttıkça azalır ve hatta tamamen kaybolabilir ve su riskli hale gelebilir.

Su yaşı, su dağıtım şebekelerinde (WDN) bir su kalitesi göstergesi olarak kabul edilir. Genel olarak, su yaşı değerleri düşük olmalıdır.

Basınç, doğru şekilde yönetilirse su şirketlerinin bakım maliyetlerini azaltabilen ayarlanabilir bir parametredir.

Su dağıtım sistemlerindeki (WDS) sızıntı, önemli kaynak israfına yol açan büyük bir sorundur.



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Şebeke sisteminde ortalama basınçta %37'lik bir düşüşün, boru patlama sayısında %51'lik bir azalmaya yol açar.

Su dağıtım şebekesinde akıllı basınç yönetimi sızıntıyı ortalama %33 ve enerji tüketimini %25 oranında azaltılabilir.

İçme suyu şebekesinde sızıntı doğrudan basınçla ilgilidir, bu nedenle ağdaki yüksek basınç durumları sızıntı sıklığını önemli ölçüde artırabilir.

Aşırı basınçlı şebekelere basınç düşürücü vanaların (PRV) takılması, sızıntıyı kontrol etmenin etkili bir yolu olduğunu kanıtlamıştır ve basınç yönetimi tekniklerinin uygulanması, su temin maliyetlerini %20-55 oranında azaltmıştır.



## 6. Su Kaybını Azaltmanın Faydaları Nelerdir?

Su kaybının azaltılması su idaresine, müşterilere ve çevreye birçok fayda sağlayabilir. Kayıp suyun azaltılması, işletme maliyetlerinin azaltılmasıyla gelir ve karlılık artırılabilir. Ayrıca, yeterli ve adil su temini ve hizmet kalitesi sağlanarak müşteri memnuniyeti ve güveni artırılabilir. Ayrıca, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının korunması, enerji tüketiminin ve sera gazı karbon emisyonlarının azaltılması ve altyapı arızası veya kirlenme risklerinin hafifletilmesi yoluyla su sisteminin sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı artırılabilir. Son olarak, halk sağlığına, sanitasyona ve ekosistemin korunmasına katkıda bulunarak toplumun sosyal ve çevresel hedefleri desteklenebilir.

### 6.1. Detaylar

Su kaybını azaltmayı sihirli bir değnek gibi düşünüle biliniz; kamu hizmetini, toplumu ve çevreyi dönüştürür. Sadece dolan değil, kayıp suyu azaltarak gelirleri artırılabilir. Sadece boş vaatler değil, güvenilir su akışı ile mutlu müşteriler sağlanabilir. Sadece beton borular değil, sağlıklı su kaynakları ile gelişen bir ekosistem sağlanabilir. Su kaybını azaltmak sadece kaçakları tıkamak değil, sürdürülebilirlik, refah ve esenliğin özgürce aktığı bir geleceğin kilidini açmaktır. Harekete geçilmesi, bir su savaşıdır ve sihrin gerçekleşmesi izlenmelidir.

*Su sorununun bir finansman sorunu olduğunu unutulmamalıdır.*

*Gelir getirmeyen su miktarının azaltılması maliyeti en aza indirecek, suyu kaliteli hale getirecek ve su hizmetlerine yapılan yatırımı karlı hale getirecektir.*

***Su kaybının azaltılması, fazladan bir miktarımızın olduğu anlamına gelir.***

***Su yönetimleri, sızıntılardan kaynaklanan su kayıplarının azaltılması, suyun müşteriye ulaşana kadar kalitesini garanti eder.***

*Kısaca, su kayıplarının azaltılması, şebekenin hizmet seviyesini ve suyun kalitesini artırır.*

WDS'lerde yaşanan sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, tüm sistemi aynı anda bir bütün olarak değerlendirip ele almak yerine, daha küçük ve yönetilebilir sistemlere bölmek sonuca daha kısa sürede ulaşılmasına önemli katkı sağlayacaktır. Su kayıp yönetiminde daha etkin bir strateji sağlamak ve sistemi daha iyi yönetebilmek için sistemin daha küçük ve ölçülebilir bölge ölçüm alanlarına (District Metered Area, DMA) ayrılması, her bir sistemde debi, müşteri sayısı, tüketimler, su hırsız ve kaçakların ayrı ayrı değerlendirilmesinin önemli bir avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Temel amaç; (i) su kayıplarının belirlenmesi, azaltılması, önlenmesi ve kontrolü için DMA planlaması ve oluşturulmasının kentsel su yönetimindeki önemini detaylı olarak tartışılması, (ii) DMA oluşturmanın avantajları, beklenen faydaları, tasarım kriterlerinin analizi ve değerlendirilmesi, (iii) DMA planlaması, uygulaması ve çalışma alanındaki gerçek saha uygulamalarından elde edilen fayda ve yararların tartışılması olarak verilebilir.

Karmaşık yapıya sahip WDS'deki temel sorunlar şu şekilde verilebilir;

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

- Çevresel ve işletme faktörlerine bağlı olarak farklı zamanlarda inşa edilen boruların basınç dayanımlarındaki farklılıklar,
- Vanaların yerlerinin ve besleme bölgelerinin net olarak bilinmemesi, bakım ve onarım için bölge bazlı su kesintisi stratejisinin uygulanması,
- Sistem performansının analizinde ve en uygun su kaybı yönetim stratejisinin belirlenmesinde kullanılacak veriler ile sistemi temsil eden veriler doğru, sürdürülebilir bir şekilde elde edilememektedir,
- Arıza oranlarının ve su kayıplarının azaltılmasında ve kontrolünde sistemin geneli için aynı yöntemin uygulanmasındaki zorluklar
- Su kaybı tespit, önleme, azaltma ve kontrol yöntemlerinin doğru uygulanmasındaki sorunlar ve beklenen faydaların elde edilmesindeki zorluklar
- Yaşlanan ve bakımı kötü yapılan su dağıtım sistemleri (WDS'ler),



## 7. Şebeke Sisteminde Su Kaybıyla Mücadele

Su kaybı ile mücadele yönetimine başlamak istiyorsanız, mevcut durumunuzu değerlendirmeniz, amaç ve hedefleri belirlemeniz ve eylem planınızı geliştirip uygulamanız gerekir. Ayrıca yeterli kaynak ayırmanız, ilgili paydaşları sürece dahil etmeniz, ilerlemenizi ve sonuçlarınızı izlemeniz ve gözden geçirmeniz gerekir. Ayrıca diğer su idarelerinin en iyi uygulamalarından ve deneyimlerinden faydalanabilir ya da uzmanlardan veya danışmanlardan rehberlik alabilirsiniz. Su kaybı yönetimi bağıllık, yenilikçilik ve adaptasyon gerektiren sürekli ve dinamik bir süreçtir. Su kaybını etkin bir şekilde yöneterek su mühendisliği performansı ve sonuçları iyileştirilebilir.

### 7.1. Su Kaybı Nedir ve Neden Önemli

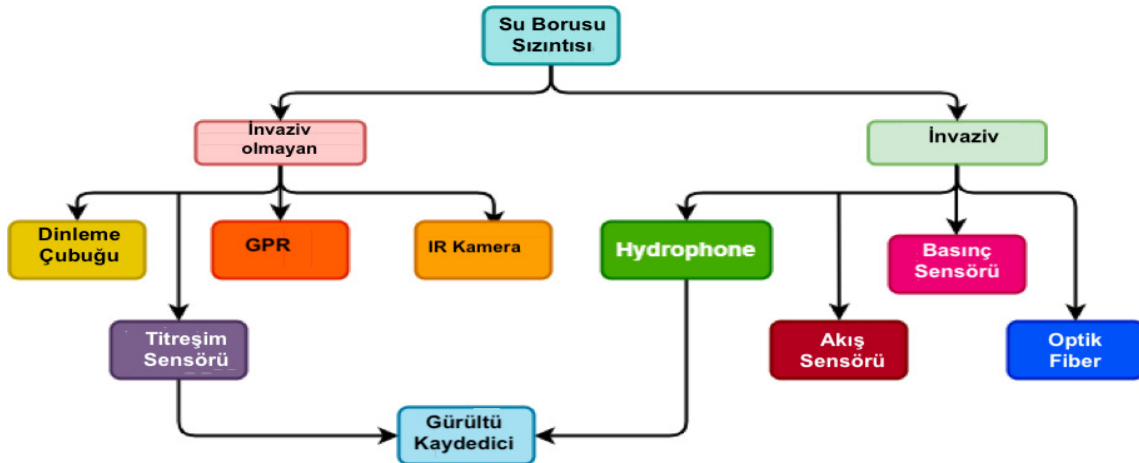
Geleneksel karasal, akustik tabanlı teknolojilerle yeraltından geçen şebeke sisteminin yerlerini tespit etmek zordur ve tespit edilmesi, yerlerinin belirlenmesi ve onarılması maliyetlidir.

İçme suyu şebeke sistemindeki su kaybı, her yıl milyarlarca dolara mal olan sessiz bir sorundur.

Bir yeraltı sızıntısı çeşitli yollarla keşfedilebilir. Araştırmacılar bu teknikleri çok çeşitli kriterleri göz önünde bulundurarak sınıflandırmışlardır.

Kaçak tespiti ve lokalizasyonu, bir şebekedeki su kaybını azaltmanın ilk adımıdır. Sızıntıyı tespit etmek ne kadar hızlı mümkün olursa, bakım ekibi değerli kaynaktan tasarruf etmek için bunu düzeltebilir.

Bu alanda sensörler aracılığıyla veri toplama, verileri bir algoritma ile analiz etme ve sonucu bir iletişim bağlantısı aracılığıyla sunucuya gönderme olmak üzere üç ana bölüm vardır. Bu üç görevi sahada yönetmek için bir MCU kullanılır. Akış ve basınç sensörleri daha düşük hassasiyete sahiptir, bu nedenle patlama tespiti için ideal bir seçimdir. Bu, arka plan sızıntısı veya küçük sızıntı algılama görevleri için yer bırakır. Titreşim sensörleri ve ivme sensörleri, temaslı mikrofonlar ve hidrofondar gibi türevleri, diğer sensörlere kıyasla oldukça hassas ve ucuz oldukları için daha fazla ilgi görmektedir. Diğer tüm sensörler arasında en ucuzu olduğu için sızıntı tespit çalışmalarında ivme sensörünün kullanımının arttığını görebiliriz. Seri üretilebilir, çok düşük bir maliyet gerektirir ve boyutları küçüktür.



Şekil 7.1. Seçilen Yöntemlere ve Aralarındaki Bağlantılara Genel Bir Bakış

Su sızıntılarını erken tespit etmek, daha fazla hasarı önlemek, onarımlarda paradan tasarruf etmek ve güvenli bir ortam sağlamak için önemlidir.

Su kaybı, içme suyu dağıtım sistemine giren su miktarı ile müşterilere ulaşan su miktarı arasındaki farktır. Veya su kaybı, içme suyu arıtma tesisinden sisteme pompalanan su ile faturalanan su arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Su kaybı iki kategoride sınıflandırılabilir: görünür kayıp ve gerçek kayıp.

**Su kaybı önemlidir. Çünkü;**

- **Su hizmetlerinin gelirini ve karlılığını azaltır,**
- **Değerli su kaynaklarını israf eder,**
- **Su arıtma ve pompalamanın enerji ve kimyasal madde maliyetlerini artırır,**
- **Altyapıya ve çevreye zarar verir.**

## 7.2. Detaylar

Tecrübelere göre, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok su idaresi, kuyular, rezervuarlar, pompalar, basınç bölgelerine girişler gibi ana şebeke tesisatlarında akış (debi) ölçümleri olmadığı için gerçekte ne kadar su kaybedildiğinin farkında değildir. 5-6 yıl önce takılmış, ancak bakım eksikliği (eksik parçalar, pilsiz, bağlantısı kesilmiş kablolar) nedeniyle işlevsel olmayan çok sayıda (%90'a varan) su sayaçlarıdır. Bu durum, saha operasyonları için nitelikli ve yeterli personel kilit önem taşımaktadır. Projeler bittikten sonra bakım, onarım ve yedek parçalar için takip ve ödenek yoksa ciddi kayıplar oluşur.

İçme suyu temini genellikle sadece sosyal bir sorun olarak görülür. Gerçekte bunun ekonomi üzerinde daha da büyük bir etkisi vardır. Çünkü ekonomiyi istikrara kavuşturmak ve büyümesini teşvik etmek için gerekli olan içme suyu tedarikçileri tarafından sızıntı yapan borular, verimsiz ve akılsız pompalar vb. nedenlerle israf edilmektedir.

**Su kayıp ve kaçakları her şehrin trajedisidir. Şehirlerin kayıp ve kaçakları daha iyi izlemeye yönelik çabalarını artırmaları ne kadar büyük bir fark oluşturur. Sızıntıları izlemek ve onarmak için düzenli programlara yatırım yapmak çok olumlu bir etki oluşturur.**

**Her metre küp su sızıntısının giderilmesinin, dağıtım sisteminde su üretmek ve taşımak için gereken yaklaşık 1,0-1,5 kWh enerji tasarrufu anlamına geldiğini tahmin etmiştir.** Üretilen, dağıtılan ve tüketiciye ulaşmayan içme suyu başına tahmini 0,05 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> ila 0,3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> arasında sera gazı salımı oluşur.

Gelir getirmeyen su miktarı arttıkça;

- İşletme maliyeti artar.
- Üretimde ve dağıtımda daha fazla elektrik tüketilir.
- Altyapı ciddi hasar görür ve bakım-onarım maliyeti artar.
- Arıtma maliyeti artar.
- Sera gazı emisyonu artar.
- Su kaynakları daha hızlı şekilde tükenir.

***Türkiye’de 2021 yılı verilerine göre içme suyu kayıp-kaçak miktarı 2,18 milyar m<sup>3</sup>/yıl olup buna göre israf edilen elektrik miktarı, 2.18 milyar kWh ila 3,27 milyar kWh/yıl arasında değişmektedir. Bu miktar 272 MW ila 415 MW kapasiteli termik santrallerde üretilen elektriğe eşdeğerdir.***

***Türkiye’de su kaybı ve kaçağı, ortalama yılda 654 bin ton sera gazı emisyonuna neden olmaktadır.***

Su kaybı, bahsedildiği gibi farklı nedenlerden kaynaklanıyor ve maliyeti kontrol etmek ve işi yatırımcılar için daha kârlı hale getirmek için düzeltici önlemler alınmalı. Bu, su kıtlığının çözümlenmesine yardımcı olacaktır.

### **7.3. Tipik Sorular (Stratejik Cevaplarıyla Birlikte)**

- Ne kadar su kaybediliyor? Su dengesi mutlaka hesaplanmalı.
- Nerede kayboluyor? Bir ağ denetimi gerçekleştirilmeli.
- Neden su kayboluyor? Ağ uygulamaları gözden geçirilmeli.
- Kayıpları azaltmak ve performansı artırmak için hangi stratejiler uygulamaya konabilir? Sızıntı kontrol stratejileri geliştirilmeli ve politikaları ele alınmalı.
- Stratejiyi nasıl sürdürebilir ve elde edilen başarıları nasıl sürdürebiliriz? Eğitim, işletme ve bakım/onarım programları uygulaya konmalı.

"Toplam su kaybı" ve "gelir getirmeyen su" ifadeleri artık uluslararası alanda kabul görmüş olup, daha az tutarlı olan ve ülkeler arası karşılaştırmaları zorlaştıran "hesaplanmayan su" (UFW) gibi ifadelerin yerini almıştır. Toplam su kaybı, üretilen su miktarından faturalanan veya tüketilen su miktarının çıkarılmasıyla hesaplanır.

*İçme suyu şebeke sisteminde sızıntılar ve patlaklar, fiziki su kayıplarının en sık rastlanılan türüdür ve aşağıdaki nedenlerden dolayı meydana gelmektedir:*

- Kalitesiz kurulum ve eğitimsiz işçilik
- Kalitesiz ve yanlış malzeme kullanımı
- Kurulum öncesinde malzemelerin yanlış yönetimi ve yanlış dolgu malzemesi
- Geçici basınç, değişken basınç ve yüksek basınç
- Aşınma (korozyon), titreşim ve akış hacmi
- Boruların veya sistemin yaşlanması
- Soğuk hava gibi çevresel etmenler
- İkincil kişi ya da kuruluşların kazıları
- Altyapı faaliyetler (elektrik, doğalgaz, telefon, atıksu toplama ve benzeri altyapı çalışmaları)
- Yol asfaltlama
- Planlı ve düzenli bakım eksikliği
- Zemin özellikleri, çökmeler
- Ağır trafik yükü, borulardaki yetersiz koruma
- Sonradan yapılan kazılarda borulara hasar verilmesi



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

- Şebeke yükünün artması
- Şebekenin yetersiz ve hatalı işletilmesi
- İyi tespit ve tamir edilmeyen servis bağlantıları
- Su dağıtım şebekelerinde kullanılan ve uzun süre güneş altında bekletilmiş veya yanlış depolanmış plastik (PVC) su borularında oluşan çatlaklar
- Yüksek basınç altında şebekenin çalıştırılması

Borular eskidikçe sızıntı artar.

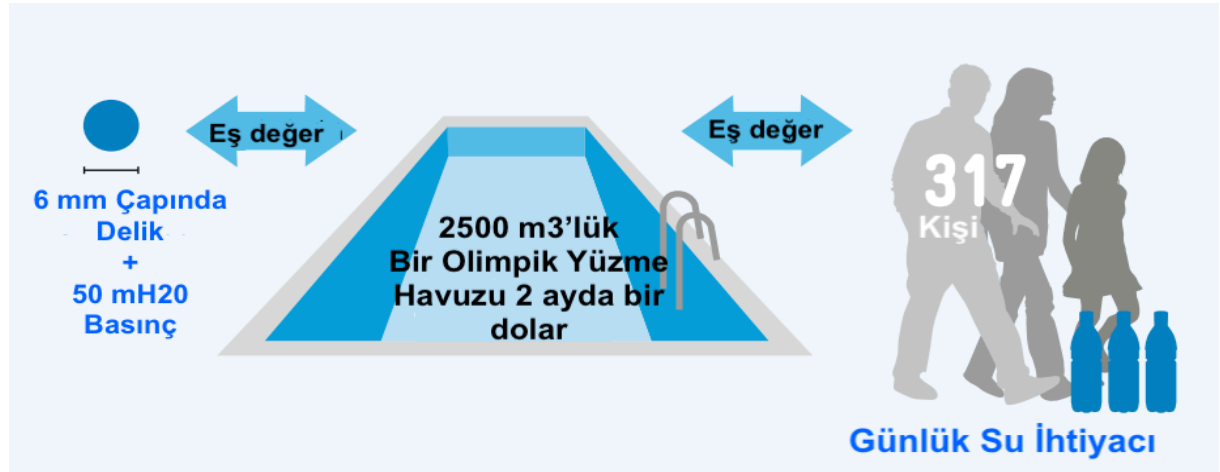
### 7.4. Yüksek Su Basıncı

Gündüzleri, gecelere göre su kullanımı daha yoğundur. İçme suyu şebeke sistemine gündüz ile gece aynı basınç uygulanırsa, gündüzleri uygulanan basınç geceleri içme suyu şebeke sisteminde ve binalardaki içme suyu isteminde hasarlara, çatlaklar ve sızıntılara neden olur.

**Su kaçaklarında yüksek su basıncı çok önemlidir. Yapılan çalışmalar da; su basıncının 1,5 bardan 5 bar'a çıkması ile sızıntı oranının 2-3 kat arttığı gözlenmiştir.**

**Öte yandan, basınç 5 bardan 4 bara (58 psi) düşürülürse, yıllık su kaçağı %11, yani 1.267 m<sup>3</sup> azalacaktır.**

50 mH<sub>2</sub>O (71 psi) basınç altında 6 mm çapında bir içme suyu şebeke sistemindeki boru deliğinden günde 43 bin 200 litre su sızıntısı (kayıbı) oluşur. Bu da 317 kişiye 24 saat boyunca su sağlama ya da bir olimpik yüzme havuzunu iki aydan (50\*25\*2 = 2.500 m<sup>3</sup>) daha kısa bir sürede doldurma imkanı anlamına geliyor. Veya saatte 1.8 m<sup>3</sup> su kaybı demektir.



Şekil 7.2. Tek bir 6 mm Delikten Sızıntı Akış Hızı ve Eşdeğer Su Hacmi

**Tablo 7.1.** Farklı Basınçlar Ve Boru Malzemeleri İçin 6 mm'lik Bir Delikten Sızıntı Akış Hızı

Delik	Boru malzemesi	Sızıntı	Aşağıdaki basınçta sızıntı akış hızları		
			50 m	40 m	30 m
6 mm	Katı (örn. çelik, dökme demir, )	0.5	1,800 m <sup>3</sup> /h	1,610 m <sup>3</sup> /h	1,394 m <sup>3</sup> /h
6 mm	Esnek (örn. PE, PVC, ...)	1.5	1,800 m <sup>3</sup> /h	1,288 m <sup>3</sup> /h	837 m <sup>3</sup> /h

Basınç-kaçak ilişkisi, basıncın zaten düşük olduğu bir dağıtım şebekesinde basıncı yönetmenin veya azaltmanın neden hala ekonomik olabileceğini açıklar: ortalamanın 30 m'den 27 m'ye (%10) düşürülmesi, kaçak akışını %5 ila %15 oranında azaltabilir, bu da su kaynaklarının kıt olduğu veya kaçakların yüksek olduğu bölgelerde önemli olabilir.

Kısaca şebekede basınç kontrol altına alındıkça ve düştükçe sızıntı miktarı düşer.

Diğer bir örnek, boru üzerinde 5 mm'lik bir delik ve 5 bar (72,52 psi) basınç günlük 32 bin litre (yıllık 11 bin 680 m<sup>3</sup>) su kaybına neden olabilir. Bu da ortalama 120 Litre /kişi\*gün tüketimle 266 kişinin günlük içme suyu ihtiyacına karşılık gelmektedir.

Boru hattındaki her 5 mm delik için yaklaşık 461 kWh/yıl elektrik israfına karşılık gelir.

***Su dağıtım şebekelerinde meydana gelen yüksek basınçlar hem su kayıplarını hem de boru arızalarının, aşınmalarının meydana gelme sıklığını arttırmaktadır.***

## 8. Akıllı Su Sayaçları

Manuel sayaç okumaları yanlış olabilir, böylece tüketilen ve ölçülen suyun bir kısmı faturalandırılmamış olarak kalır. Manuel sayaçlar hem zaman alıcıdır hem de hataya açıktır, bu da veri çok sık aktarılmadığından daha düşük veri kalitesiyle sonuçlanır.

Akıllı su sayaçları, evlerde, ticari alanlarda ve endüstriyel sektörlerde su tüketimini izleyen, verimsizliği belirleyen ve ölçen yeni nesil cihazlardır. Akıllı su sayaçları otomatik veri toplama ve iletimini sağlayan sensörlere ve iletişim özelliğine sahiptir.

Akıllı Su Sayaçları, modern akıllı su yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır ve verimliliği, sürdürülebilirliği ve kaynak korumasını önemli ölçüde etkileyen bir dizi avantaj sunar.

Akıllı su sayaçları, gerçek zamanlı veri toplama, iletişim ve analiz sağlayarak geleneksel ölçümün ötesine geçmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT) özelliklerinin entegrasyonu, işlevselliklerini geliştirerek kamu hizmetlerine tüketim modelleri, kaçak tespiti ve faturalama doğruluğu hakkında benzeri görülmemiş bilgiler sağlar.

Elektronik akıllı su sayacı sistemi, uygulamada birçok kolaylığı beraberinde getirmektedir. Bu sistemin, su dağıtım kuruluşlarının işlerini oldukça kolaylaştıran bir sistem olduğu görülmüştür. Ayrıca tahsilat işlemlerinde büyük kolaylıklar sağladığı ve kaçakları önlemede etkin olduğu bilinmektedir.

Bu sayaçlar, akıllı sayaç ile tedarikçi arasında tam çift yönlü iletişimi kolaylaştıran bir elektronik hesaplama birimine (ECU) sahiptir. Su kullanımını izlemek için bu sayaçlar, çok hassas okumalar sağlayan elektromanyetik ve ultrasonik okumalar kullanır.

Elektronik Akıllı Su Sayacı, ekranı sayesinde kullanım bilgilerini vermekte, bu yüzden de kullanımı oldukça kolaylaşmaktadır. Sayaç sürekli olarak kendini kontrol edip herhangi bir aksaklığa müsaade etmemektedir.

Her akıllı sayaç kendine özgü bir akıllı karta sahiptir. Akıllı sayaç kendine yapılan yetkisiz ve kötü niyetli bir müdahaleyi tespit edip hafızasına alarak akıllı vanasını kapatıp kendini koruma altına almaktadır. Abonenin satın alarak akıllı sayacına yüklediği kredi bitmeden önce sayaç, aboneyi yeni kredi alması için uyarılmaktadır. Abone uyarıya rağmen su kredisi almazsa, elektronik akıllı sayaç 'bitti' mesajı vererek akıllı vanasını kapatmaktadır. Akıllı sayaç, pillerinin değişme zamanı geldiğinde aboneyi ikaz etmektedir. Abone ikaza uymadığı takdirde bilgileri hafızasına kaydederek tüm bilgilerini korumaya almaktadır. Akıllı sayaç kendisine takılan akıllı kartı kontrol edebilmektedir.

Akıllı kart başka bir sayaca takıldığı takdirde işlem yapılamamaktadır. Kötü niyetli olarak yapılan yabancı kartla su sayacını açma denemelerini hafızasına kaydetmektedir. Daha sonra yetkili kişiler bu girişimleri özel kartları ile sayacın hafızasından okuyabilmektedir. Abone akıllı

kartını kaybederse idareye başvurup eski kartı sistemden iptal ettirerek yeni bir kart alabilmektedir

Akıllı sayaçlar gibi veri toplama cihazları, içme suyu dağıtım sistemleri boyunca giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kamu hizmetleri akıllı sayaçları uygulamaya koyduğunda, örnekleme çözünürlüklerinin seçimi toplanan verilerin uygulanabilirliği ile iletim maliyetleri arasında bir denge kurar. Akıllı sayaçların kurulu olduğu bir şehirde ölçüm alanının analizi, kamu hizmetlerinin şebekelerinin temsili talep modellerine sahip olması koşuluyla, 1 ila 24 saat arasındaki ortak örnekleme çözünürlüklerinin su kaybı değerlendirmeleri için yeterli olduğunu ortaya koymuştur.

1 saatten kısa sürede örnekleme çözünürlükleri güvenilir su kalitesi simülasyonları elde etmek için potansiyel olarak önemlidir. Toplanan verilerin otomatik olarak doğrulanması ve yeniden yapılandırılması kamu hizmetleri için son derece önemlidir

Akıllı su sayaçları, geleneksel sayaçlara kıyasla genellikle daha hassastır; bu sayede su kullanımındaki tutarsızlıklar en aza indirilir ve müşterilerin yalnızca tükettikleri su için ödeme yapmaları garanti altına alınır.

### **8.1. Akıllı Su Sayacının Getirdiği Yenilik ve Kolaylıklar**

- Akıllı su sayaçları, kullanımı takip ederek, tasarrufu teşvik ederek ve sızıntıların tespit edilmesine yardımcı olarak etkili su yönetimi ve faturalandırma sağlar.
- Akıllı su sayaçları, sızıntıların ve kaçakların zamanında tespit edilmesini sağlayarak bilinçli su kullanımına olanak tanır.
- Evde ve işyerinde olunmadığı halde su tüketiliyorsa akıllı sayaç bunu tespit edebilmekte ve gerekli ikazlar yapılmaktadır.
- Abone istediği an, kullandığı su miktarını, kalan kredi miktarını, v.b. bilgileri sayacından okuyup izleyebilmektedir.
- Abone, istediği kadar su kredisini sabit fiyat garantisi ile alabilir ve yapılan tarife değişikliklerinden (zam) etkilenmemektedir.
- Su peşin satılacağından mülk sahibi ve kiracı arasındaki çeşitli ihtilaflar da ortadan kalkmaktadır. Yine aynı şekilde, peşin su satışı yapıldığı için, ödemelerde kuyrukta beklemeler olmamakta, abone ihtiyacı kadar su kredisi alma imkanına kavuşmaktadır.
- Akıllı su sayaçları, mekanik sayaçların sayaç okuma endekslerinin her dönem bilgisayar ortamına aktarılması, fatura hazırlanması ve bildirim dağıtılması gibi işlemler ortadan kalkmaktadır.
- Sayaç okuma işlemleri ve maliyet giderleri ortadan kalkmaktadır.
- Borcunu ödemeyen abonelerin sayaç sökme-takma, açma-kapama gibi işlem ve giderlerini ortadan kaldırmaktadır.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

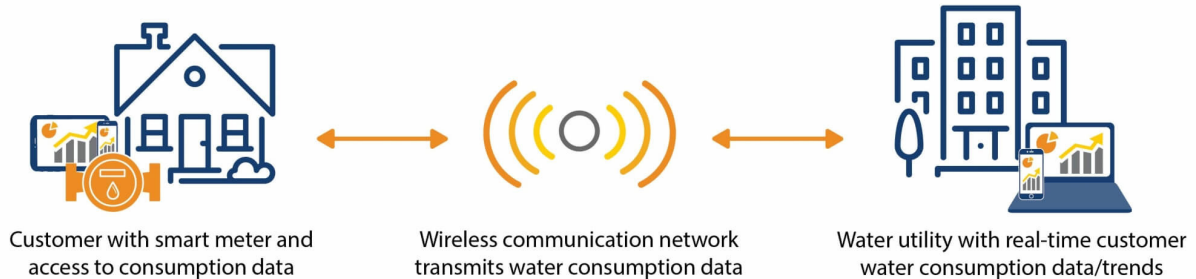
- Yüksek oranda su tüketen, kaçak su kullanma eğiliminde olan, su parası tahsilatında zorluk çekilen abonelerin su paralarını ödememe problemleri de bu sistem sayesinde çözüme kavuşturulmuş olmaktadır.
- Akıllı su sayacı, su tüketimindeki verimsizlikleri ve kalıpları belirlemeye yardımcı olur. Bu sayaçlar, her bir tüketicinin su kullanımını düzenli olarak izleyen IoT sensörleriyle donatılmıştır. Bu, suyun aşırı tüketilmesi ve bunun sonucunda oluşan israfı azaltır.
- Akıllı su sayaçları, su tedarikçileri ile konut müşterileri arasında çift yönlü iletişim sağlar. Bu sayede şebekeye bağlı evlerde su kullanımı gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve böylece her ay faturalandırma amacıyla manuel sayaç okumalarına yönelik geleneksel gereklilik ortadan kalkmaktadır.

Basınç bölgelerinde yapılan değişiklikler gibi diğer girişimler uygulanarak Norveç Larvik'in 6 ay içinde ILI değerini 5.0'dan 2.5'e düşürülmesi sağlanmıştır.

Akıllı su sayacın ölçüm altyapısına entegrasyonu ile kamu hizmetleri, günlük su tüketimine dayalı olarak aylık faturaları hassas bir şekilde hesaplayabilir. Bu otomatik faturalandırma sistemi, kamu hizmeti sağlayıcıları için işlemleri önemli ölçüde basitleştirir ve manuel faturalandırma yöntemleriyle ilişkili masrafları azaltır.

Dijital su sayaçları kablosuzdur ve kompakt, hava koşullarına dayanıklı bir muhafazada katı hal teknolojisine dayanır. Su akışını içinden geçerken ölçen sensörlere sahiptirler. Bu sensörler en küçük su kullanım miktarlarını bile tespit edebilir ve bu da onları geleneksel sayaçlardan daha doğru hale getirir. Sayaçlar su kullanımı hakkında sürekli veri toplar ve izleme ve faturalandırma için kablosuz veya hücreli bağlantılar aracılığıyla su idaresine iletilir.

Su akışında ani ve beklenmedik bir artış, tesisat sisteminde bir sızıntı olduğunu gösterebilir.



**Şekil 8.1.** Akıllı Su Sayacı İzleme Sistemi

### **8.2. Akıllı Su Sayaçlarının En Önemli On Faydası**

1. **Doğru Faturalandırma;** Akıllı su sayaçları su kullanımıyla ilişkin hassas ve gerçek zamanlı veriler sağlar. Gelir getirmeyen su miktarını azaltır.
2. **Sızıntı Tespiti;** Akıllı su sayaçları anormal su kullanım modellerini tespit edebilir, bu da bir mülkün tesisatındaki sızıntıları tespit belirleyecektir. Bazı akıllı su sayaçları su dağıtım sistemindeki sızıntıları da tespit edebilir.

3. **Su Gelirlerinin Optimizasyonu;** Doğru sayaç okumaları ve zamanında kaçak tespiti sayesinde faturalandırılmamış su miktarının azaltılması kamu hizmeti gelirlerini artırabilir.
4. **Azaltılmış İşletme Maliyetleri;** Otomatik veri toplama ve uzaktan izleme özellikleri, manuel sayaç okuma ihtiyacını azaltarak su hizmetleri için zaman ve işçilik maliyetlerinden tasarruf sağlar.
5. **Veri Analitiği;** Akıllı su sayaçları, kamu hizmeti şirketlerinin eğilimleri belirlemek, su dağıtımını optimize etmek ve altyapı yükseltmelerini daha etkili bir şekilde planlamak için analiz edebileceği çok sayıda eyleme dönüştürülebilir veri üretir. Bu veri odaklı yaklaşım daha verimli operasyonlara yol açabilir.
6. **Uzaktan Erişim ve Kontrol;** Kamu hizmeti şirketleri su hizmetlerini uzaktan yönetebilir, böylece hizmetlerin bağlantısını kesmek veya yeniden bağlamak daha kolay hale gelir. Örneğin, kış fırtınaları sırasında donma sıcaklıkları nedeniyle önemli su kaybını ve maddi hasarı önlemek için uzaktan kapatma kullanılabilir.
7. **Ölçeklenebilirlik;** AMI (gelişmiş ölçüm altyapılar, Advanced Metering Infrastructures), teknolojilerinin çoğu gerçek zamanlı su verilerine izin verir ve dağıtım kaçağı tespiti, basınç izleme, su kalitesi ve bölge ölçümü gibi diğer hizmetleri geliştirmek için bir platform sağlar.
8. **Müşteriler için Gerçek Zamanlı İzleme;** Su müşterileri, çevrimiçi portallar veya mobil uygulamalar aracılığıyla su kullanımlarını gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve su tüketimleri hakkında bilinçli kararlar vermelerini sağlayabilir.
9. **Uzun Ömürlülük ve Güvenilirlik;** Akıllı su sayaçları genellikle geleneksel sayaçlardan daha dayanıklı ve güvenilir olacak şekilde tasarlanır ve bu sayede kamu hizmetleri şirketleri için bakım ve değiştirme maliyetleri azalır.
10. **Su Tasarrufu;** Akıllı sayaçlar, tüketicilere su kullanımları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak su tasarrufunu teşvik eder. Müşteriler aşırı su kullanımını, sızıntıları veya savurgan alışkanlıkları tespit edip ele alarak su tüketimini azaltabilir.



**Şekil 8.2.** Akıllı Su Sayacı

### **8.3. Türkiye’de Belediyeler**

Belediyeler, yeni yapılan/yapılacak binalarda, mevcut binalarda arızalanmış, yanlış ölçüm yapan, kalibrasyon süresi dolmuş, bozulmuş mevcut, ömrünü tamamlamış ve 10 yaş üzerinde olan geleneksel sayaçları, hassas ölçümler yapan akıllı su sayaçları ile değiştirmeyi zorunlu olarak uygulamaya koymalı.

Türkiye’de geleneksel su sayacı satışı yasaklanmalı.

Belediyeler öncelikle kendi park-bahçelerinde akıllı su sayacı uygulamasını başlatmalı. Hangi park-bahçelerde suyun israf edildiğini tespit etmeli. Şebekede suyun israf edildiği anlar ortaya konur ve çözümler geliştirilir. Park-bahçelerde özellikle yaz ayları verimsiz, akılsız ve israfi teşvik edici sulama saatlerine son verilir.

Akıllı su sayacı sistemi sayesinde; kış aylarında suyun donması, sayaca uygulanan yüksek basınç dolayısıyla su sayacının patlaması ve deformasyona uğrayarak tekrar kullanılamayacak hale gelmesi engellenir. Sistem, yeşil alanlarda yaşanan su kayıp ve kaçaklarının ve aşırı su tüketiminin de önüne geçerek su kaynaklarını korur.

Akıllı su sayaçları ile uzaktan okuma, açma-kapama ve dolum işlemleri yapılabilirken; su kaçakları ve arızaları vakit kaybetmeden tespit edilebilmektedir.

Akıllı su sayaç uygulamasıyla ulaşım kaynaklı yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi ciddi oranda azalırken, özellikle erişimin zor olduğu bölgelerde sayaç okumadan doğan iş yükünün de önüne geçilir.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Akıllı sayaç uygulamasına öncelikle suyu yoğun olarak kullanan oteller, hastaneler, okullar, üniversiteler, lokantalar, aş evleri, sanayi tesisleri ve benzeri yerlerde acilen başlanılmalı.

Belediyeler, mesken sahiplerinin satın aldıkları akıllı su sayaçları, tüketicilerin faturalarına 12 ay taksitle yansıtabilecek şekilde kurabilir. Tüketicinin yanlış sayaç almasının ve takmasının önüne geçilebilir. Ve tüketicilerin üzerine aşırı fatura yükü gelmesi önlenir.

Akıllı su sayacı uygulaması ile tüketici, anlık su tüketimini internet üzerinden okuduğu için evinde ve işyerinde verimli su tüketimini uygulamaya koyabilir ve su israfını önleyebilir.

Akıllı su sayaçları ile doğru okuma ile su tasarrufu sağlar.

Akıllı sayaçlarla belediyeler şehirlerinde gerçek zamanlı su tüketimini tespit edebilir ve alınması gereken önlemleri ortaya koyabilir.





## 9. Şebekede Su Kaybı Ölçümü

Şebekedeki su kaybını ölçmek için sisteme su girişi, tüketimi ve çıktısına ilişkin verileri toplamak ve analiz etmek, su dengesini oluşturmak gerekir. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, su kaybının tüm bileşenlerini hesaba katan ve gelir getirmeyen su (NRW), altyapı kaçak endeksi (ILI) ve ekonomik kaçak seviyesi (ELL) gibi performans göstergeleri sağlayan standartlaştırılmış bir çerçeve olan Uluslararası Su Birliği (IWA) su dengesidir. IWA su bilançosu, sistemdeki su kaybının kaynaklarını ve büyüklüğünü belirlenmesi ve performansı diğer kamu hizmetleriyle kıyaslanmasına yardımcı olabilir.

ILI indeks, Mevcut Yıllık Fiziki Su Kayıpları Hacminin (Current Annual Volume of Physical Losses-CAPL), Kaçınılmaz Yıllık Fiziki Kayıplar Hacmine (Minimum Achievable Annual Physical Losses-MAAPL) bölünmesi ile hesaplanır.

$$ILI = CAPL/MAAPL$$

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilen fiziki kayıplar hedef matrisinde farklı şebeke basıncı uygulamaları için farklı ülkelerdeki su idareleri için tahmini ILI ve fiziki kayıplar (litre/bağlantı/gün) değerleri sunulmaktadır.

**Tablo 9.1.** Fiziki Kayıplar Hedef Matrisi

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

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de yer alan farklı kategoriler aşağıda açıklanmaktadır:

**Kategori A** = İyi. Daha fazla su kaybı azaltması ekonomik olmayabilir.

**Kategori B** = Önemli gelişme sağlama potansiyeli var. Basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü, daha iyi şebeke bakımı değerlendirilmeli.

**Kategori C** = Zayıf. Eğer su kaynakları fazla ve ucuz ise tolere edilebilir. Buna rağmen, su kayıpları azaltma mücadeleleri yoğunlaştırılmalı.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

**Kategori D** = Kötü. Su idaresi kaynaklarını verimsiz olarak kullanmaktadır, su kayıplarını azaltma programı zorunludur.

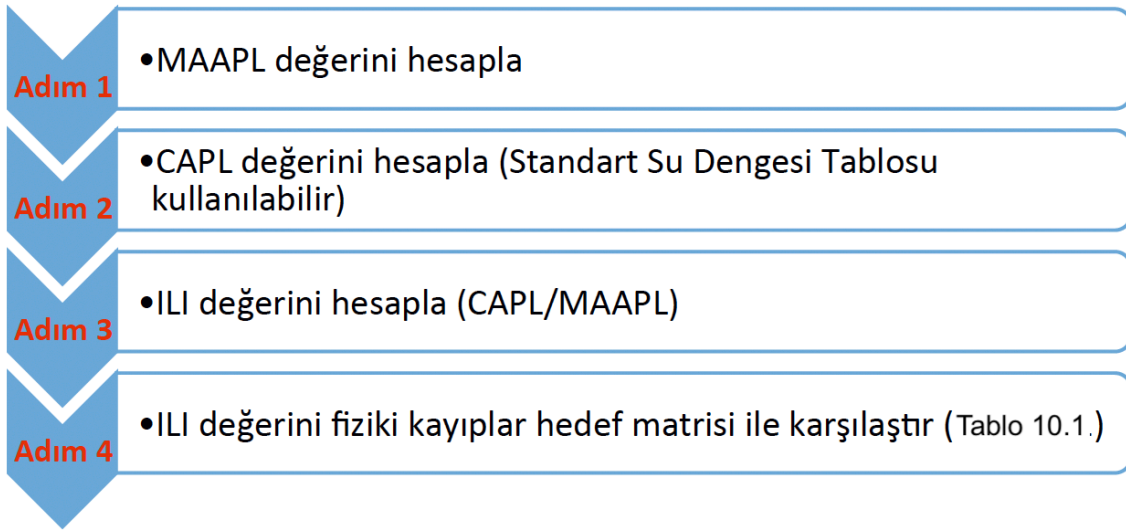
ILI indeksi bir oran olduğu için birimsizdir. Verilen eşitlikte yer alan MAAPL terimi, aşağıdaki empirik eşitlik ile hesaplanır:

$$\text{MAAPL (litre/gün)} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P \text{ (Eşitlik 2)}$$

Burada;  $L_m$  = ana boru hattı uzunluğu (km),  $N_c$  = servis bağlantısı sayısı,  $L_p$  = servis bağlantılarının toplam uzunluğu (km) ve  $P$  = ortalama basınç (m).

İyi işletilen bir sistem için  $ILI = 1.0$  ( $CAPL = MAAPL$ ) elde edilmesi mümkündür.

ILI indeksinin hesaplanması kademeleri aşağıda verilmiştir.



## 10. İçme Suyu Şebekesindeki Su Kaybı Nasıl İzlenebilir?

İçme suyu Şebekesindeki su kaybını izlemek için düzenli ve sistematik bir veri toplama, doğrulama ve raporlama süreci uygulamak gerekir. Ayrıca sızıntıları tespit etmek ve yerini belirlemek için akustik cihazlar, basınç sensörleri, akış ölçerler veya dron termal kamera görüntüleri gibi uygun araç ve teknikleri kullanılması gerekir. Su kaybını izleyerek sisteminizdeki değişiklikleri ve eğilimleri takip edebilir, su kaybını azaltma programlarınızın etkinliğini değerlendirebilir ve iyileştirilmesi veya müdahale edilmesi gereken alanları belirlenebilir.

İçme suyu şebeke sisteminde su sızıntı sinyallerini tespit eden akustik cihazlar, nispeten düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahip olmaları nedeniyle dünya çapında su operatörleri arasında en popüler araçlardır; ayrıca, pratikte uygulanmaları kolaydır. Dinleme çubukları ve yer mikrofonları, operatörlerin borular boyunca yürümesi yoluyla yapay olarak sinyal anormallikleri bularak sızıntıları tespit eder; bu, operatörün deneyimine dayanır ve zaman alıcı ve emek yoğun bir işlemdir. Ek olarak, gürültü kaydedicilerin sızıntıları bulma ve belirlemede uygulanması iyileştirilmiştir. Bir ağ boyunca yerleştirilen bu tür kaydediciler, kaydedilen sinyaller sürekli olarak analiz tabanına iletiildiği ve algoritmaların sızıntı sinyallerini hemen ayırt etmesine yardımcı olduğu için gerçek zamanlı tespit için popülerdir. Ancak, bu kurulumun kurulum yeri, ortam gürültüsü ve boru malzemesinden etkilenmesi muhtemeldir. Bu dezavantajlar nedeniyle, hassas ivmeölçerler sızıntılar tarafından yayılan titreşim sinyallerini tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. İvmeölçerler, titreşim sinyallerini tespit edebilen ve ölçebilen algılama cihazlarıdır. Bunlar daha düşük maliyetli, daha az bakım gerektiren ve yerleşimle daha az kısıtlanmış olup, plastik borular için akustik tabanlı kaçak tespitinin verimliliğini artırır. Son zamanlarda yapılan birçok çalışmada, yüksek doğruluklu ivmeölçerlerin pahalı yapısı nedeniyle maliyet etkin tespit elde etmek için düşük maliyetli MEMS ivmeölçerler kullanılmaktadır. Dahası, bu yaklaşım otonom kablosuz sensör düğümleri geliştirme potansiyeline sahiptir. En büyük zorluk, titreşim sinyallerinden kaçak bilgisini tanımak ve düzinelerce sensörden düzenli olarak toplanan büyük miktarda gürültü verisinden kaçakları otomatik olarak tespit etmektir.

### 10.1. Akustik Sızıntısı Tespiti

Bu teknik, 75 ila 250 mm çapındaki metalik boru hatlarında ve 10 m basma yüksekliğinin (15 psi) üzerindeki basınçlarda kullanım için en uygun yöntemdir. Malzeme veya boru boyutu, dinleme çubuğunun sızıntıyı yüzeyden tespit etmesini engellemez, ancak sızıntının türü, zemin dolgu malzemesi, borudan çıkan suyun basıncı, arka plan gürültüsü ve mühendisin yeteneği bunu etkiler.

Bir sızıntıdan kaçan su bir gürültü yaratır. Ses dalgaları boru duvarı, bağlantı parçaları, çevredeki zemin ve özellikle borunun içindeki su boyunca yayılır. Eğer boru duvarı tamamen sert olsaydı, ses saniyede yaklaşık 1485 metre hızla yayılırdı. Ancak, boru malzemesi her zaman bir dereceye kadar elastiktir. Bu esneklik, boru hattında ilerlerken basınç dalgasının zayıflamasına neden olur.



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Su borularındaki ses hızı boru malzemesine ve çap ile duvar kalınlığı arasındaki orana bağlıdır. Metalik borularda ses hızı yaklaşık 1200 m/s'ye kadar yavaşlar, ancak metal ses enerjisinin sadece bir kısmını emer ve ses hala oldukça uzağa gider. Plastik borular çok daha elastiktir ve ses hızını 300-600 m/s'ye düşürür. Ayrıca, ses enerjisi daha kolay emilir ve bu da ses dalgalarının boru hattı boyunca ilerledikçe daha da zayıflamasına neden olur.

Şebekedeki su kaybını izlemek için, Ölçülü Bölgeler (Mz'ler) geliştirilmeli ve bu Mz'ler GSM kitleri, RTU'lar, ağ geçitleri veya IoTs gibi iletişim cihazlarına bağlanmalıdır. Bu iletişim cihazları aracılığıyla veriler uzaktan canlı olarak alınabilir ve su kaybı izlenebilir. Bununla birlikte, su kaybının lokalizasyonu için akustik cihazlar veya hat içi sensörler gibi farklı yöntemler kullanılabilir.

### **10.2. Akustik Su Sızıntısı Cihazları, Basınç Sensörleri, Akış (Hız/Debi) Ölçerler veya Termal Kamera ile Donatılmış Dron Görüntüleri**

İçme suyu şebeke sisteminde akış (hız/debi) ve basınç takibi için anahtardır.

Su kaybının izlenmesi için düzenli ve sistematik bir süreç uygulamak, etkili yönetim ve koruma için çok önemlidir. **Akustik su sızıntısı cihazları, basınç sensörleri, akış (hız/debi) ölçerler veya termal kamera ile donatılmış dron görüntüleri** gibi uygun araç ve tekniklerin kullanılması, ağ içindeki sızıntıların doğru bir şekilde tespit edilmesini ve lokalizasyonunun belirlenmesini sağlar. Kamu hizmetleri, su kaybını tutarlı bir şekilde izleyerek zaman içindeki değişiklikleri ve eğilimleri izleyebilir, azaltma programlarının etkisini değerlendirebilir ve müdahale veya iyileştirme gerektiren alanları belirleyebilir. Bu proaktif yaklaşım, yalnızca su kaybını en aza indirmeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda genel sistem verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırarak su kaynaklarının uzun vadeli kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini sağlar.

Şebekedeki akış ölçerlerin (giriş ve iletişim noktalarında (temel) ve bazen bölgenizdeki diğer önemli konumlarda, bazen büyük cinslerde) ve stratejik olarak önemli konumlarda basınç sensörlerinin kurulu olması bir zorunluluktur. Bunlar veri kaydedicilerle donatılmalıdır (veri telemetrisi ile daha iyi). Bu, ağ izlemenin temelidir. Davranışlar yakından izlerseniz sizi potansiyel sızıntılar konusunda uyarır.

Öte yandan, ağdaki belirli noktalara yerleştirilmiş, merkezi istasyona bağlı gürültü kaydedicilerin (bazen hidrofonlarla birlikte) bulunması, potansiyel sızıntıların hızlı bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur.

Su şirketleri, su kaybını izlemek ve yönetmek için çeşitli yöntemler kullanıyor.

- Ağdaki akış (debi/hız) ölçerler, su akışını doğru bir şekilde ölçebilir ve sızıntıları gösterebilecek tutarsızlıkları belirleyebilir.
- Şirketler, şebekedeki belli noktalarda su basıncını izleyerek, sızıntı veya patlamalara işaret edebilecek basınç düşüşlerini tespit edebilir.
- Şebekeyi bölgelere ayırarak ve ölçüm cihazları kurarak, şirketler su akışını izleyebilir ve sızıntıları tespit edebilir.



- Akustik sızıntı tespiti sensörleri, sızan suyun ürettiği titreşimleri algılayabilir.
- Basınç yönetimi teknikleri, şebekedeki su basıncını optimize etmeye yardımcı olur.
- Veri analitiği, geçmiş verileri analiz etmek ve ağıdaki potansiyel kayıpları tahmin etmek için kullanılıyor ve kestirimci bakım ve optimizasyonu kolaylaştırıyor.

**Yüksek basınçların sebep olduğu su dağıtım hatlarındaki kayıplarının Türkiye'nin birçok şehrinde %30-60 mertebesinde olduğu düşünüldüğünde gerçek zamanlı kontrol uygulamasının su dağıtım sisteminde tatbik edilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.**

Gerçek zamanlı kontrol su ve enerji tasarrufu sağlamaya imkan sağlar.

Akustik sızıntı sensörleri, borulardan kaçan suyun belirgin seslerini dinlemek için kullanılır.

**Akustik sızıntı sensörleri yöntemi en eski yöntemdir. Dinleme çubukları, titreşim sensörleri ve hidrofonlar akustik yönetime aittir. Erken kaçak tespit yöntemlerinin çoğu akustik yöntemlere dayanmaktadır.**

Sızıntıyı tespit etmenin en eski ve en basit yolu dinleme çubuğu kullanmaktır. Bu bir stetoskop gibidir ancak toprak içindedir. Önce yeraltı borusunun yeri işaretlenmeli, ardından operatör yüzeyi yoklayarak en yüksek sızıntı sesini elde etmeye çalışmalıdır. En çok 75 mm ila 250 mm arasındaki ve basıncı 15 psi'nin üzerindeki metalik borular için uygundur. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri, boru malzemesi veya boyutundan bağımsız olarak, kullanıcının sızıntıyı yüzeyden tespit edebilmesidir. Bu yöntemin dezavantajı, sızıntı tespitinin doğruluğunun operatörün uzmanlığına bağlı olmasıdır. Sesin zayıf olması durumunda, operatör bir sızıntıyı tespit edemeyebilir. Arka plan gürültüsü de sızıntı sesine karışarak yanlış alarma neden olabilir. Bu yöntem sinyal işleme, gürültü filtreleme ve gelişmiş hesaplama algoritmaları kullanılarak geliştirilebilir.

Bir de titreşim sensörü vardır. Bir sızıntı olduğunda, genellikle gürültü üretir ve titreşim sensörleri bu gürültüyü algılayabilir. İvmeölçerler, piezo dönüştürücüler titreşim sensörlerine örnektir. En modern non-intrusive teknik ise yere nüfuz eden radardır (GPR). GPR esas olarak jeolojik malzemeleri anlamak için geliştirilmiştir. Deneyimli bir operatör ile GPR kullanarak sızıntının yerini tespit etmek mümkündür. Çok hassas bir kaçak tespit aracıdır ancak çok yavaştır. Son zamanlarda cep telefonları için termal kamera veya kızılötesi kamera (IR) eklentileri ucuzladıkça, akademisyenler bu alanı keşfetmeye çalışıyorlar. Termal kamera kullanarak sızıntıyı tespit etmek için bazı araştırmalar yapılmıştır, ancak iyileştirme için çok yer vardır.

Akış sensörleri kütlenin korunumu prensibine göre çalışır. Giren su hacmi ile kullanılan su eşit olmalıdır. Sistemdeki kayıp nedeniyle, giriş ve ölçülen çıkış farklıdır. WDS'nin (Su Dağıtım Sistemi) belirli bir basıncı aşmadığından emin olmak için genellikle her su şebekesine basınç sensörü sensörleri yerleştirilir; aksi takdirde boru patlar. Bu basınç sensörü verileri, sızıntı yerini tahmin etmek için farklı modellerde kullanılır. Optik yöntem en yeni teknolojidir, ancak optik fiber çok pahalıdır. Optik fiber ucuzlarsa, gelecekte optik fiberle gömülü su tedarik borularını görebiliriz. Son olarak, gürültü kaydedici var. Çeşitli sensörleri kabul edebilir. Akustik veya titreşim gürültüsünü dinler ve herhangi bir anormallik tespit edildiğinde yetkiliyi uyarır.

*Çevresel gürültünün etkisinden kaçınmak için bu kaydediciler genellikle geceleri önceden belirlenmiş bir saatte çalışır.*

### 10.3. Akustik Sızıntısı Tespiti Detektörüyle Kaçak Tespit Cihazı

Bir sızıntının belirlenmesi ve yer tespiti için en temel yöntem, basınç altındaki suyun borudan çıkışına ait sesin/gürültünün dinlenmesidir. Bu sebeple akustik yöntemler sızıntı tespitinde önem arz etmektedir.

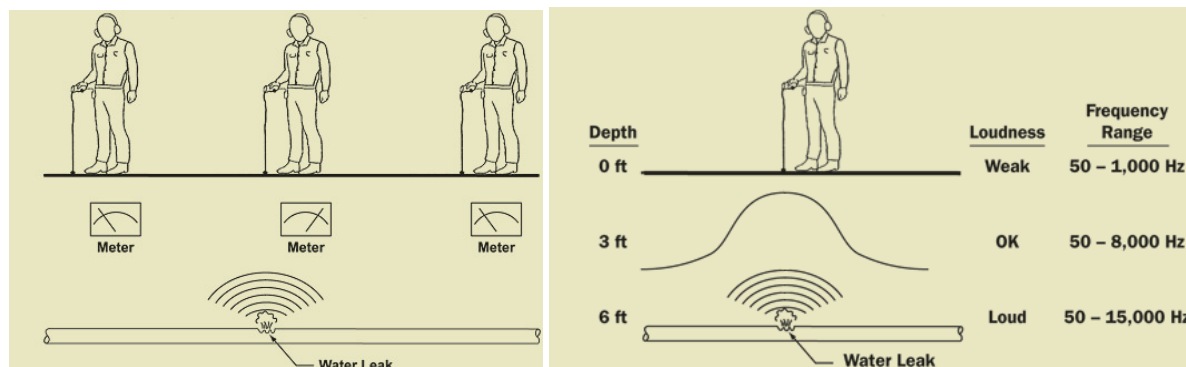
- Mekanik ve elektronik dinleme çubuğu, yumuşak zeminlerde (toprak, çimen, bataklık vb.) daha iyi ses alabilmek ve doğru tespitler yapabilmek için kullanılmaktadır.
- Yer mikrofonu, boru hatlarının üzerinden dinleme yaparak su kayıp kaçak noktasının bulunmasını sağlamaktadır.
- Kaçak gürültü korelatörü, sızıntı yerlerini daha doğru şekilde tespit etmek amacı ile kullanılan bilgisayar destekli bir yöntemdir. Her sızıntı yerinden bir ses sinyali yayılır, bu da boruya monte edilmiş hidratlara, armatürlere veya sürgülere aktarılmaktadır. Bu sinyallerin süre farkından malzeme, boru çapı ve ölçüm uzunluğunu dikkate alarak tam sızıntı konumu tespit edilmektedir.
- Kaçak gürültü kaydedici, bir çatlaktan basınçla sızan suyun boruyu titreştirmesi ile oluşan akustik seslerin kaydedilmesini sağlamaktadır.

#### 10.3.1. Akustik Olmayan Su Kaçağı Tespit Cihazı

- İzleme gazı tekniğinde; zehirsiz, suda çözünmeyen ve havadan hafif bir gaz (helyum veya hidrojen) su dağıtım sisteminin izole bir bölümüne verilmekte ve kaçak noktasından çıkan gaz yüzeyde gaz detektörleriyle tespit edilmektedir.
- Yer radarı, kaçak nedeniyle yeraltında oluşan boşlukları veya suyun zeminin dielektrik özelliklerini değiştirmesi ile oluşan farklılıkları tespit etmektedir.

#### 10.3.2. İletim İçin Şebeke Sızıntı Algılama Donanımları

- İletim hattına takılı sensörler
- Fiber optik
- Kızılötesi teknolojisinde, su kaçağı sebebiyle zeminin termal karakterinin değişmesi kızılötesi kameralarla tespit edilmektedir



Şekil 10.1. Akustik Su Sızıntısı Detektörüyle Sızıntı Suyu Tespiti

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Asfalt bir sokakta veya beton bir levhada duyulan bir sızıntının ses yüksekliği, sızıntının büyüklüğüne, su basıncına ve borunun derinliğine bağlıdır. Asfalt, beton, kaya ve sıkıştırılmış toprak gibi sert, kuru malzemeler, sesleri ıslak kil, kum veya gevşek topraktan daha iyi iletir. Sesler, PVC borular veya poli borulara göre demir ve çelik borularda daha uzağa gider.

Akustik su sızıntısı tespiti el probu vasıtası ile zemine temas ettirilmesi ile çalışmaktadır. Mikrofon hava koşullarından en az etkilenmesi amacı ile kauçuk kılıf ile korunmaktadır.

Akustik su sızıntısı emisyon yöntemleri tahribatsız ölçüm yapılabilir.





## **11. Dronlara Monte Edilmiş Termal Kamera ile Sızıntı Suyu Tespiti**

İçme suyu şebeke hattı bilinirse termal ve hiperspektral görüntüleme de dahil olmak üzere Yüksek çözünürlüklü kameralar ve termal görüntüleme sensörleriyle donatılmış dronlarla görüntüleme teknolojileri, yeraltı içme suyu şebeke hattındaki sızıntıları gösteren anormallikler tespit edebilir.

Bölgesel bir içme suyu temini projesinde, Yüksek çözünürlüklü kameralar ve termal görüntüleme sensörleriyle donatılmış dron görüntüleri, büyük çaplı iletim şebekelerindeki yeraltı sızıntıları ile ilişkilendirilen olağandışı bitki örtüsünü ve zemin ıslaklığını belirlemek için kullanılabilir.

Özel su denetim yazılımının kullanılması, sistem girdileri, izin verilen tüketim ve faturalandırılmamış izin verilen kullanım dahil olmak üzere su kaybı verilerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Şebekenin çeşitli bölümlerinden toplanan verileri su denetim yazılımına girerek daha doğru bir su dengesi oluşturabilir ve önemli ölçüde gelir getirmeyen su azaltma potansiyeli olan alanları belirlenebilir.

*Sızan suyun neden olduğu hassas sıcaklık farklılıklarını tespit etmek için kızılötesi ve termal görüntüleme teknolojileri kullanılabilir, özellikle yeraltı veya gizli sızıntıları belirlemede etkilidir. Büyük ölçekli bir endüstriyel kompleks için, termal görüntülemenin düzenli denetim rutinlerine entegre edilmesi, yere gömülü boru hatlarında geleneksel yöntemlerle tespit edilemeyen sızıntıları ortaya çıkararak önemli ölçüde su tasarrufu sağlanabilir.*

Özellikle geniş veya erişilemeyen alanlarda faydalı olan dron termal kamera görüntüleri ve uzaktan algılama kullanımı keşfedilebilir. Zeminin sürekli ıslak olduğunu gösteren olağandışı bitki örtüsü modellerini belirlemek için dron verileri kullanılabilir.

*Yüksek çözünürlüklü kameralar ve termal görüntüleme sensörleriyle donatılmış dronlar, şebekedeki sıcaklık farklılıklarını belirleyerek şebeke sistemi borularında görünmez su sızıntılarını tespit edebilir. Borulardan su sızdığına, genellikle etkilenen bölgede sıcaklık değişikliklerine neden olur. Kızıl ötesi termal görüntüleme kamerası bu sıcaklık değişikliklerini tespit ederek sızıntının tam yerini gösterebilir.*

Sensörlerle, yeraltı ve yer üstündeki sızdıran borularda hem yüksek çözünürlüklü çok spektral görüntüler hem de termal veriler hızlı bir şekilde ve çok geniş alanlarda tespit edebilir.

Yüksek çözünürlüklü kameralar ve termal görüntüleme sensörleriyle donatılmış dronlar ile su sızıntısı alanlarını daha hızlı tespit etmek için çeşitli bir yaklaşım kullanıyor ve erken tespit edilirse daha az maliyetli olan onarımlar konusunda daha hızlı harekete geçilmesine imkan sağlıyor.

Uygulamada, bir drone boru hattı güzergahı üzerinde uçurulur ve drone'a monte edilmiş bir termal görüntüleme kamerası kullanılarak zemin sıcaklığı değişimleri kaydedilir, bu da bir sızıntı olup olmadığını gösterebilir. Zeminin sıcak olduğu bölgelerde, eğer bir sızıntı varsa, borudan kaçan suyun soğutma etkisi nedeniyle çevredeki zemin daha az sıcak olur. Tersine, çok soğuk zemin sıcaklıklarının olduğu bölgelerde sızan su zemini ısıtır. Zemin sıcaklığıyla





## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

ilişkilendirmek için bu araştırmaların günün hangi saatinde tamamlandığına dikkat etmek önemlidir.

Güneşli bir günde, nemli yerler daha kuru yerlere kıyasla daha düşük bir sıcaklık gösterir. Gün batımından sonra ve şafaktan önce, yerlerdeki nem seviyelerine bağlı olarak sıcaklık farkı azalır veya belki de tersine döner.

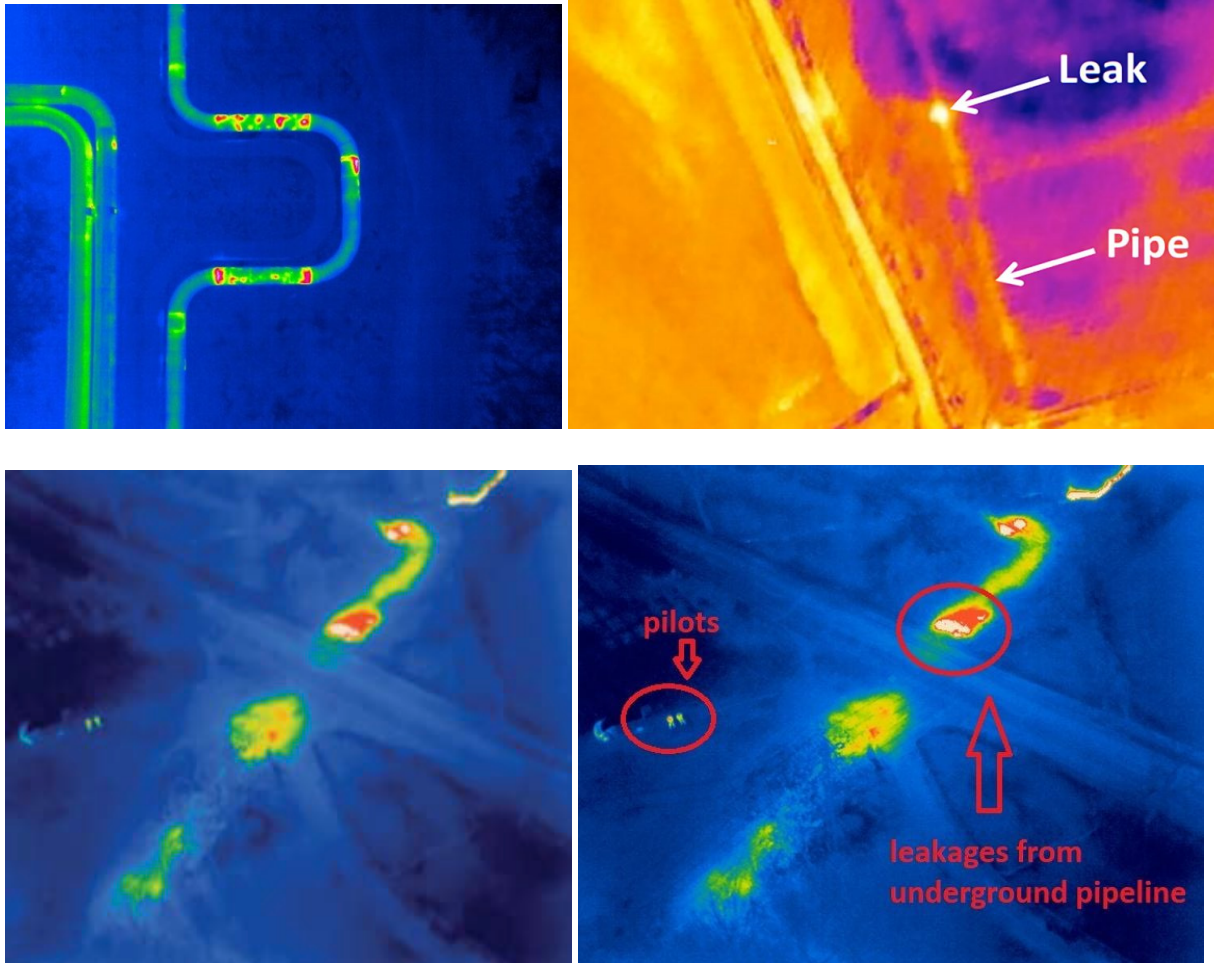
***Kızıl ötesi termal sensörlerle donatılmış dronlarla şebekedeki sızıntıların ölçümü, yağışsız yaz aylarında, sakın rüzgarlı koşullarında, kuru havalarda ve normalde zemin sıcaklığının en düşük olduğu sabahın erken saatlerinde yapılır, böylece yeraltı kaçaklarının tespit edilmesi kolaylaşır yapılmalıdır.***

***İncelemenin sabah saatlerde yapılması güneş yüklemesinin ve güneş yansımalarının etkilerini ortadan kaldırmaktır.***

***Sıfırın altındaki sıcaklıklar ve kar veya rüzgar olmaması termografi için en uygun koşullardır.***

***Dronlar, boruların bulunduğu ancak tam konumlarının bilinmediği kırsal alanların araştırılmasında genellikle yaklaşık 600 m yükseklikte uçar.***

***Türkiye’de dronlarla şebekedeki su sızıntıları ile ilgili acilen çalışma başlatılmasında yarar vardır.***



**Şekil 11.1.** Dronlarla Şebekedeki Su Sızıntıları Tespiti

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Dronların üzerinde biri boru hattının genel video ve fotoğraf görüntülerini çekmek için, diğeri de termal görüntüleme için olmak üzere iki kamera bulunur.

Dronlara monte edilmiş termal kamera ile sızıntı tespiti, sızıntıları daha hızlı ve daha uygun maliyetli bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Sızıntılar erken tespit edildiğinde, onarımları daha az maliyetli olur, su kalitesi daha az bozulur ve daha az su israfı olur ve bu da müşteriler her günün her dakikasında güvelik ve kaliteli su sunulmasına yardımcı olur.

Termal kızılötesi sensörleri, çok spektral kameralardan gelen görünür ve yakın kızılötesi verilerle birleştirmek, su tespit doğruluğunu önemli ölçüde artırır.

Avrupa'da temiz içme suyunun yaklaşık %23'ü su borularından sızıntı nedeniyle kaybolmaktadır. AB destekli WADI teknolojisinin uygulanması mevcut su kaybı %50 oranında azaltabilir.

WADI, yüzey nemindeki değişimi yukarıdan değerlendirerek sızıntıları belirleyen dronlar kullanarak su borularındaki hasarı tespit etmek için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bu metodoloji, özellikle mevcut tespit yöntemlerinin başarısız olduğu büyük kırsal ve erişilemez veya tehlikeli yerlerde faydalıdır.

WADI sistemleri karmaşık ağları ve uzun boruları (drone veya uçak kullanımına bağlı olarak 50–90 km/h) izleyebilir.

Drone termal görüntüleme kameraları, malzemelerdeki sıcaklık farklılıklarını belirleyerek su sızıntılarını tespit eder. Su sızıntısı olduğunda, genellikle etkilenen alanda sıcaklık değişikliklerine neden olur. Termal görüntüleme kamerası, bu sıcaklık değişikliklerini tespit ederek sızıntının tam yerini gösterebilir. Drone termal görüntüleme kameraları ayrıca, binalarda duvarların arkasında bulunanlar gibi çıplak gözle görülemeyen gizli sızıntıları da tespit edebilir.

Dronlarla, tek bir günde yüzlerce kilometrelik bir alanı, uzak veya ulaşılması zor alanları bile taranabilir; anlık görüntü alınabilir.

Bir boru kaçağını tespit etme yeteneği, boru çalışma sıcaklığı, boru sistemi yapısı, gömülme derinliği, kayıp miktarı, toprak tipi ve nem içeriği ve toprak örtüsü dahil olmak üzere ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere çeşitli birbirine bağlı faktörlerden etkilenebilir.

Bir çalışmada düşük ve yüksek çözünürlüklü kameraların kullanılmasını önermiştir. Sızıntı meydana geldiğinde, her iki kamera türü tarafından da (özellikle öğleden sonra veya akşamın erken saatlerinde) kolayca tespit edilebilecek belirli bir termal profilin oluşacağı tespit edilmiştir.

Drone'un şüpheli bir konum üzerinde durup gezinme, gerektiğinde yakınlaştırma ve aynı zamanda çevredeki bölgeyi inceleme yeteneği, sızıntıların ayrıntılı olarak araştırılmasında büyük bir avantaj olmuştur.

Normalde borudan sızan suyun sıcaklığı çevredeki toprağın sıcaklığından daha yüksektir, bu da termal görüntüleme kamerasında sıcak renkli bir yama olarak görüneceği anlamına gelir.



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Kızılötesi veya termal kameralarla donatılmış dronlar, dünyanın dört bir yanındaki su şirketleri tarafından kaçakların yerini tespit etmek ve kayıpları azaltmak için kullanılmaktadır.



## **12. Şebekenin İzole Ölçüm Bölgelerine (DMA) Bölünmesi**

Basınç yönetimi, bir dağıtım sistemi boyunca su basıncının optimum seviyelerde hassas bir şekilde kontrol edilmesini ve düzenlenmesini içerir. Bu strateji sadece basıncı düşürmekle ilgili değildir; verimlilik ve güvenilirliği dengelemek için basıncı optimize etmekle ilgilidir. Borulardaki aşırı yüksek basınç sızıntıları hızlandırabilir ve boru patlamalarını şiddetlendirerek su kaybının artmasına neden olabilir.

İçme suyu dağıtım sistemlerinde yüzeye çıkmayan sızıntıların yönetilmesinde Aktif Kaçak Kontrolü (AKK) yaklaşımı kullanılmaktadır. AKK, sızıntının farkına varılması, yerinin tespiti, onarılması, izlenmesi ve kontrol edilmesi çalışmalarını kapsamaktadır.

Tüketicilere yeterli su sağlamak için su dağıtım şebekelerinde yüksek basınçların sağlanması, su tesisleri için esastır. Böylece kullanıcıların su talepleri karşılanır ve belediye görevleri yerine getirilir.

Öte yandan su dağıtım şebekelerindeki yüksek basınçlar, sızıntıya bağlı çok sayıda boru patlamasına/sızıntısına/kırılmalarına aşırı su tüketimine ve su kaybına neden olabilir. Özellikle geceleri azalan su tüketimine bağlı olarak basınçlar artmakta ve su dağıtım şebekelerini daha kırılgan hale getirmektedir. Bu nedenle baskıyı yönetmek, su dağıtım şebekelerinin güvenilirliğinde ve dayanıklılığında çok önemli bir role sahiptir.

İzole sayaç bölgesi içerisinde, bölge farklılıklarından kaynaklanan yüksek su basıncı oluşuyorsa, izole bölge sayaç rögarındaki basınç kontrol vanası ile basınç regülasyonu yapılır. Gerekli durumlarda, izole sayaç bölgesi içerisinde de ilave basınç kontrol vanası montajı yapılabilir. İzole bölgenin en yüksek kotundaki binaların en üst katındaki abonelerin ihtiyacını karşılayacak düzeydeki su basıncı hesaplanmakta ve basınç kontrol vanası ile bu değere ayarlanarak basınç regülasyonu yapılmaktadır.

Su kayıplarını/sızıntılarını ve boru arızalarının miktarını azaltmak ve su dağıtım şebekelerinin faydalı ömrünü uzatmak için yüksek olan basıncı optimize etmek gerekmektedir. Fakat şebekeden su alan tüketicilerin tamamının basınçlı su kaynağından istifade edebilmesi için basıncın şebekede izin verilen minimum değerden daha düşük olmaması gerekmektedir. Bu sebeple basıncın hassas bir şekilde yönetilip su kayıpları ve boru arızalarının azaltılması ve abonelerin suya erişiminin aksamaması önemlidir.

*Basınç ölçüm yönetimi, iyi yapılandırılmış bir fiziki su kayıpları yönetim stratejisi içinde yer alması gerekli olan temel unsurlardan birisidir.*

*İçme suyu şebeke sistemi ölçülebilir değilse yönetilemez.*

*Su dağıtım sistemindeki ayrı bölgelerin oluşumu, izole ölçülebilir bölgeleri ((İÖB) (DMA'lar)) olarak adlandırılır, hem sistem hem de sızıntı özelliklerini teşhis etmek için pragmatik bir yaklaşım olabilir.*

*Su dağıtım sistemlerinin birer parçası olan izole ölçülebilir bölgeleri, şebekenin diğer bölgelerinden vanalama ve tapalama gibi yöntemlerle ayrılan, bir veya birkaç girişten beslenen, hidrolik olarak müstakil çalışan bölgelerdir. Su dağıtım şebekesinin bir bölgesine*



giren boru akımı sayısı arttıkça bu bölgenin basıncında düzenleme yapmak zor hale gelir. Bu sebeple yüksek basınçların düşürülerek yönetilmek istendiği bir su dağıtım şebekesi bölgesinin mümkün olduğunca az girişten beslenmesi, burada hidrolik bütünlüğün ve yönetilebilirliğin sağlanması için önemlidir. Bu öneme binaen, yönetimi belediyeler ve su idarelerinin uhdesinde bulunan su dağıtım sistemlerinin İÖB'lerine bölünerek su dağıtım sistemlerinin daha verimli ve sağlam idare edilmesi günümüzde gittikçe yaygınlaşan bir trend olarak öne çıkmaktadır. Eğer basınç yönetimi tatbik edilecekse, bunun ancak İÖB haline getirilmiş su dağıtım şebekesi bölgelerinde gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

Her Bölge Ölçülü Alan (BÖA) izole ölçülebilir bölgelerin (ideal olarak akış/basınç sürekli olarak ölçülen bir girişi (belki bir çıkışı) olacaktır. Bu, akıştaki ani artışların (büyük sızıntı) izlenmesini ve tespit edilmesini ve alt İÖB'nin tüketim akışının kesin olarak tahmin edilmesini sağlar.

Su dağıtım şebekelerinde oluşan kayıp/kaçak oranı, terfi veya cazibe ile sağlanan basınç ile doğrudan bağlantılıdır. Öncelikle içme suyu şebeke sistemi üzerinde ölçülebilir bölgeler oluşturmak gerekir. Eski tip dağıtım sistemlerindeki borular büyük oranda birbirleri ile bağlantılı olduğu için yönetim ve ölçüm mümkün olmamaktadır. Şebekenin daha verimli yönetilebilmesi için, İÖB denilen kendi içerisinde ölçülebilir ve izole bölgelere ayrılması gerekir. Her bölge hidrolik olarak diğer basınç bölgesinden ayrılır ve karşımıza kontrol edilebilir bir şebeke modeli çıkar. İçme suyu şebeke sisteminde basınç kontrol edilmezse su kayıpları artar ve yüksek basınç nedeniyle arızalar çoğalır. Hidrolik olarak birbirinden ayrılan izole ölçülebilir bölgelerinde hem kayıpları azaltmak hem de arıza sayısını düşürmek için bölgenin karakteristiğine uygun olarak ihtiyaca göre basınç sağlanmalıdır. Dinamik basınç yönetimi uygulaması ile birlikte gece debisi takip edilmeli ve yönetim bu doğrultuda devam etmelidir.

Büyük su dağıtım sistemlerinde (WDS) ortalama basıncın tahmini zor olabilir. Bu tür ağlar daha küçük izole ölçülebilir bölgelerine veya basınç yönetim alanlarına (PMA'lar) bölünmeli ve ILI bu ayrı bölgeler için tahmin edilmelidir. ILI'nin 1,5 değerini aştığı İÖB'lerinde daha fazla su kaybı yönetimi yapılmalıdır.

Tek beslemeli izole ölçüm bölgelerinin tercih edilmesi ile ilave arz güvenliği için birden fazla beslemenin dahil edilmesi ihtiyacı arasındaki dengedir.

Geniş dağıtım şebekelerini, özellikle de altyapısı zayıf olanları, şebeke bölgelerine ve alt Bölge Ölçülü Alanlarına (BÖA) ayırmadan etkin bir şekilde yönetmek mümkün değildir.

BÖA tasarımında genel olarak göz önüne alınan parametreler, şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı, abone sayısı, depo beslenme ve basınç bölgesi, topoğrafya (etkin basınç yönetimi için kot farkı mümkün mertebe çok değişmemeli), özel ve büyük tüketimli abonelerin varlığı (okul, hastane, askeri alan vb.), doğal yapıların varlığı (akarsu, kanal, ana yol, demir yolu vb.), şebekenin mevcut durumu, arıza ve sızıntı yoğunlukları şeklindedir.

BÖA büyüklükleri ile ilgili kesin kurallar olmamakla birlikte BÖA büyüklüğü genellikle kent şebekesindeki servis bağlantısı sayısına göre belirlenmektedir. IWA, izole ölçüm bölgeleri İÖB (BÖA) Kılavuz Notlarında 500 ila 3.000 kadar bina bağlantısına kadar bir bölge boyutu



## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

önermektedir. Büyük bölgelerde, sızıntıya bağlı debi değişikliklerinin tespit edilmesi zordur. Daha az bağlantı sayısı daha iyidir ancak maliyetlidir.

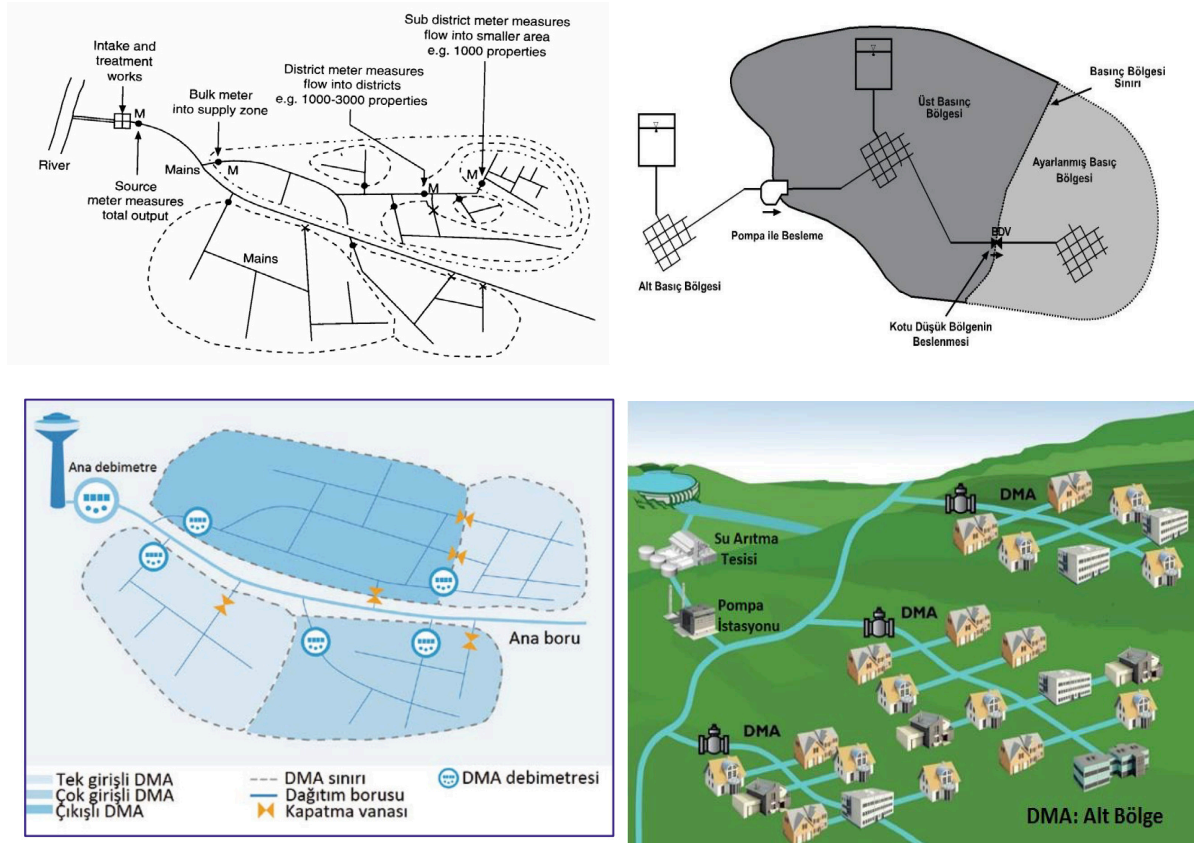
İzole ölçüm bölgelerinde vanalar kısa bir süre için kapatılırken aynı anda akış hızının ölçümleri yapılır. Belirli bir vananın kapatılmasının ardından akış hızındaki ortaya çıkan azalma, dağıtım sisteminin o bölümündeki toplam sızıntıyı ve meşru gece tüketimini gösterir. Eğer ortaya çıkan azalma, izole edilen bölümdeki müşteri sayısı ve türü dikkate alındığında beklenenden daha fazlaysa, bu bir sızıntının göstergesidir.

Basınç yönetimi yapılabilmesi için Basınç Kontrol Vanaları (BKV) ile Basınç Kontrol Alanları (BKA) oluşturulması ve düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Basınç yönetiminin en basit formu yüksekliğe göre bölgelere ayırmak olsa da hızlı basınç düşüşleri ve basınç dalgalanmalarından kaçınmak için daha gelişmiş basınç yönetim metotlarına geçilmektedir.

İzole Alt Bölge oluşturmak için kapatılması gereken vana sayısı mümkün olduğunca az olmalıdır.

Basınç yönetiminin en basit formu yüksekliğe göre bölgelere ayırmak olsa da hızlı basınç düşüşleri ve basınç dalgalanmalarından kaçınmak için daha gelişmiş basınç yönetim metotlarına geçilmektedir.

Adım testleri genellikle minimum gece akışı döneminde (genellikle 02.00 ile 04.00 arasında) yapılır. Bu saatte böyle bir test yapmak, müşterilerin çoğunda tedarik sorunlarına neden olmasını önler.



Şekil 12.1. Büyük bir İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde Birkaç DMA Oluşturulabilir





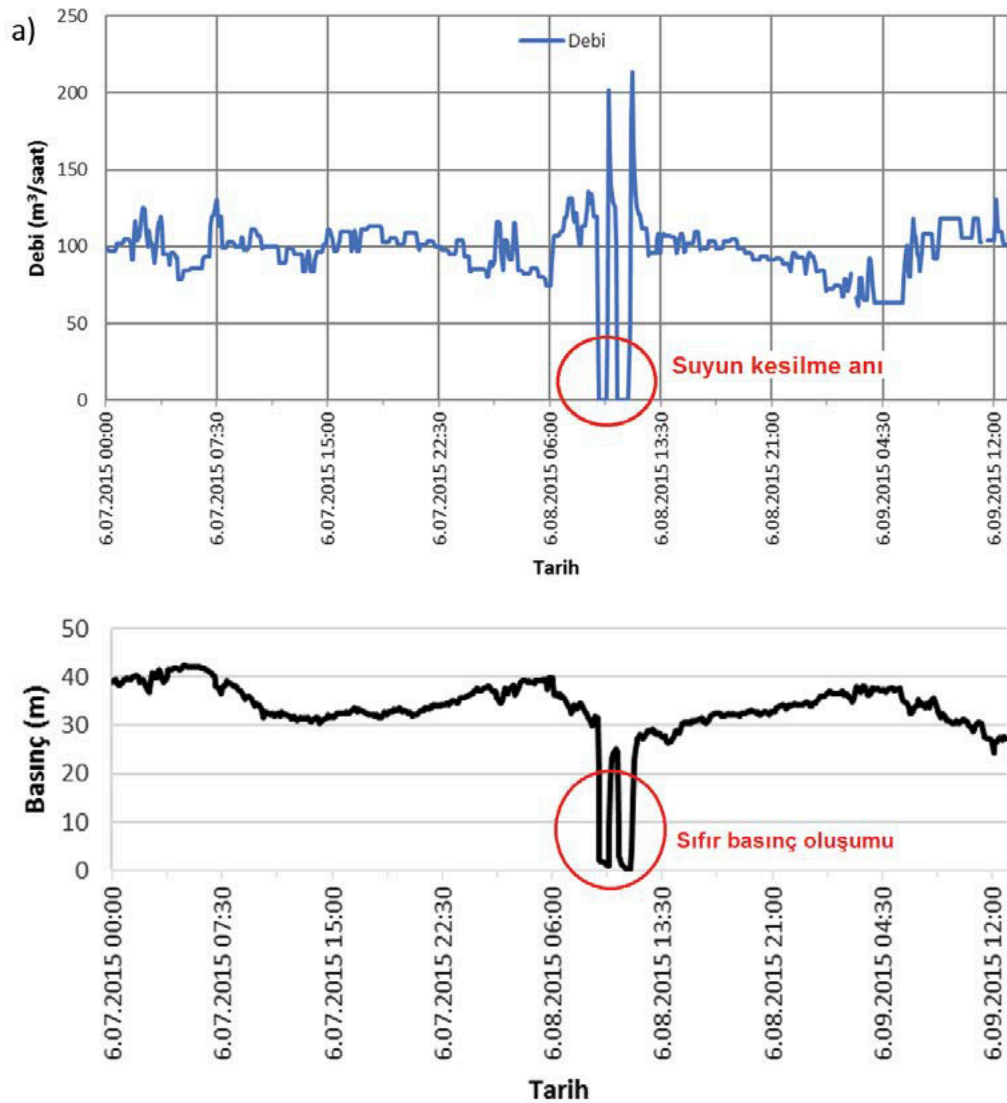
## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

düzeyde değişebilir. Bu durumda, su basıncı, borulardaki su hızları ve bakiye klor seviyeleri büyük azalmı gösterebilir. Bu nedenlerden dolayı, bir şebekenin DMA'lara bölünmesi sonucunda oluşacak değişimleri tahmin etmek için bir hidrolik ve su kalite modeli kullanılması tavsiye edilir. Hidrolik ve su kalite modeli, en az olumsuz etki yaratacak olan optimum DMA oluşturma işlemine yardımcı olur.

Sıfır basınç testi;

1. DMA'yı besleyen tüm su girişleri kapatılır.
2. Bir süre beklenir ve daha sonra DMA içindeki su basıncının sıfıra inip inmediği kontrol edilir. DMA içine hiçbir su girişi olmayacağı için basıncın sıfıra kadar düşmesi gerekir.

Eğer uzun bir süre beklenilmesine rağmen su basıncı sıfıra inmiyor ise DMA için halen su girişi sağlayan açık bir boru olduğu anlaşılır ve bu boruya ait vananın da kapatılması veya borunun tapalanması gereklidir.



**Şekil 12.3.** DMA Kontrolü İçin Sıfır Basınç Testi Yapılmalıdır. a) DMA Girişindeki SCADA İstasyonunda Kaydedilen Debi Sıfıra İner, b) DMA İçinde Ölçülen Basınç Değerleri Sıfıra İner.

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

Özellikle su deposu barındırmayan cazibeli su dağıtım sistemlerinde basınç düşürme vanalarının (PRV) kullanılması oldukça yaygındır. Şebeke basıncının istenenden yüksek olduğu durumlarda basınç düşürme vanaları (PRV) aktif olarak çalışır ve bu yüksek basıncı düşürerek hem kayıp su miktarını hem de boruların hasar görme riskini azaltır.

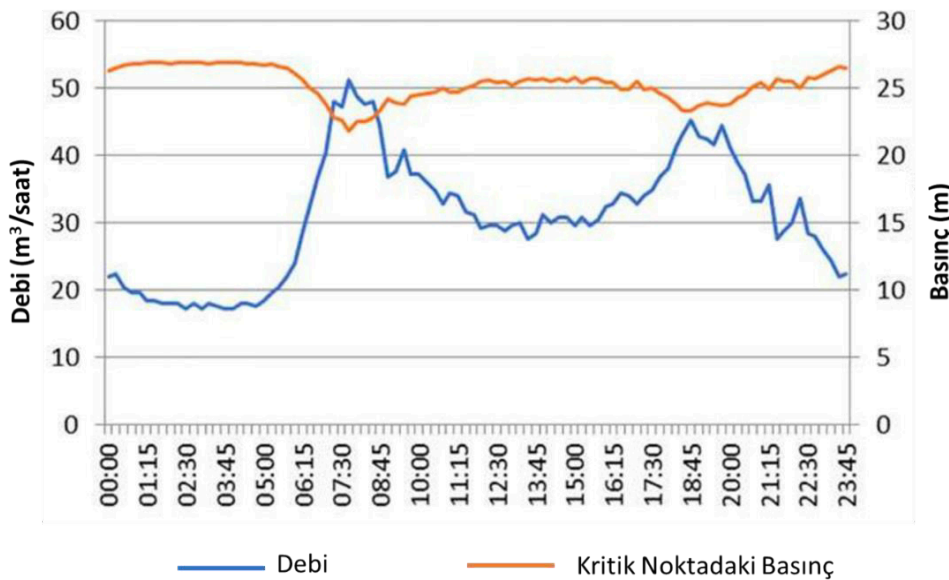
İçme suyu şebeke sisteminde pratikte dört farklı basınç düşürücü yönetimi metodu var. Bunlar;

- Sabit Çıkışlı Basınç Yönetimi
- Zaman Ayarlı Basınç Yönetimi
- Debi Ayarlı Basınç Yönetimi
- Kapalı Devre Basınç Kontrolü Yönetimi

metotlarıdır.

Başarının anahtarı vanalar ve yüksek teknolojik ürünlerden ziyade basınç bölgelerinin ve alt basınç bölgelerinin düzgün bir şekilde ayrılıp, ayrı kalmasının sağlanmasıdır.

**Klasik Sabit Çıkışlı Basınç Yönetiminde** Şebeke basıncının bölge girişinde basınç kırıcı vanada PRV (Pressure Reducing Valve = Basınç Düşürücü Vana) (BKV) sabit tutularak uygulanan basınç yönetimidir. Şebekede sürekli olarak aynı basınç vardır. Bu, basınç yönetiminin en basit ve ucuz olanıdır. Böylece su tüketiminin az ve basıncın yüksek olduğu gece saatlerinde meydana gelen su kayıpları azaltılmış olur. Dezavantajı, şebekenin kritik noktasındaki basınç çoğu zaman minimum izin verilen seviyenin üstünde kalır. Bu durum sistem açısından bir dezavantaj oluşturur.



Şekil 12.4. Sabit Basınç Yönetimi Örnek Basınç Profili

**Zaman Ayarlı Basınç Yönetimi:** Öncelikle su tüketimlerinin zamanla değişimi izlenir ve buna göre su basıncının zamanla değişimi hidrolik model ile tahmin edilir. Bu uygulamada, PRV ile düşürülecek basıncın zamanla değişimi sağlanır. Ancak, tahmin edilen su tüketimleri ve basınç değişimleri, gerçek sistemden farklı olabilir. Özellikle boru patlakları veya yangın debisi ihtiyacı

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

olduğunda bu farklılıklar görülür. Bu sistemde kritik noktadaki basınç 20 mSS olarak hassas bir şekilde sabitlenemez.

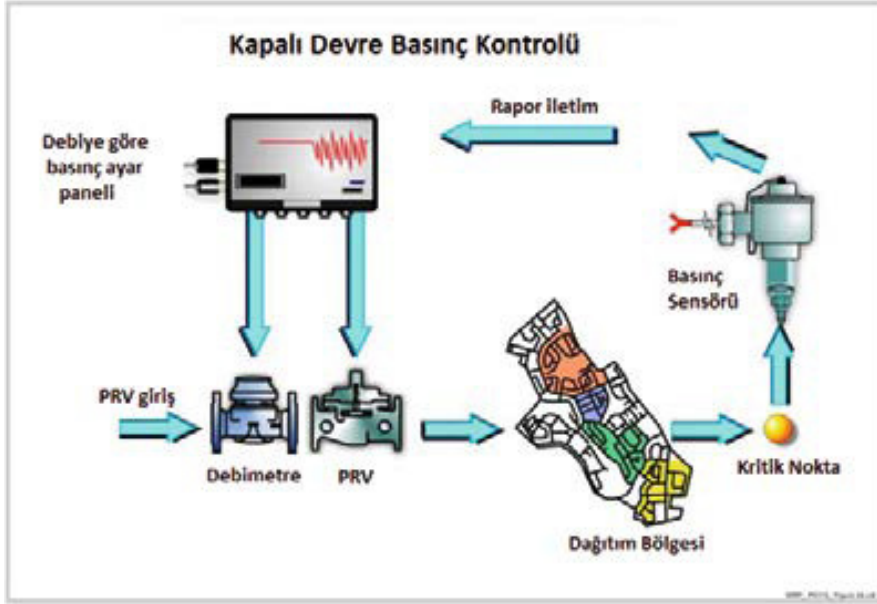
**Debi Ayarlı Basınç Yönetimi**'nde basınç düşürücü vananın (PRV) çıkış basıncı, basınç düşürücü vanadan (PRV) geçen debiye ayarlı olup sürekli güncellenir. Bu ayar, hidrolik model ile elde edilebilir. Bu yöntemde debi arttığında çıkış basıncı artar, debi azaldığında da basınç düşürücü vanada (PRV) yük kaybı artırılır ve böylece çıkış basıncı azalır. Bu sistemde kritik noktada basınç yaklaşık 20 mSS olarak sabitlenebilir.

Debi ayarlı basınç kontrolü seçeneği, kapsamlı bir kontrol ve esnek işletme imkanı sağlar. Diğer seçeneklere göre genellikle daha çok su tasarrufu sağlar ama diğer seçeneklerden daha pahalıdır. Ekstra elektronik cihazlar ve uygun büyüklükte debimetre gerektirir. En önemli avantajı, herhangi bir olağanüstü durumda (yangın gibi) su akışına engel olmamasıdır. **Dezavantajı ise kayıp kaçağın çok olduğu bölgelerde gece debisi ile gündüz debisi birbirine çok yakın ise sistem analiz ve basınç kontrolü yapamaz.**



Şekil 12.5. Debi Ayarlı Basınç Yönetimi Örnek Basınç Profili

**Kapalı Devre Basınç Kontrolü:** En gelişmiş olan sistemdir. Şebekede kritik noktadaki basınç sürekli ve gerçek zamanlı olarak bir sensör ile ölçülür. Kritik noktada ölçülen basınç değeri, PRV'ye elektronik iletişim ile bildirilir ve bu veriye göre basınç düşürülür. Bu uygulamada, kritik noktadaki basınç sürekli izin verilen minimum seviyede tutulurken PRV ile düşürülen basınç zamanla değişir.



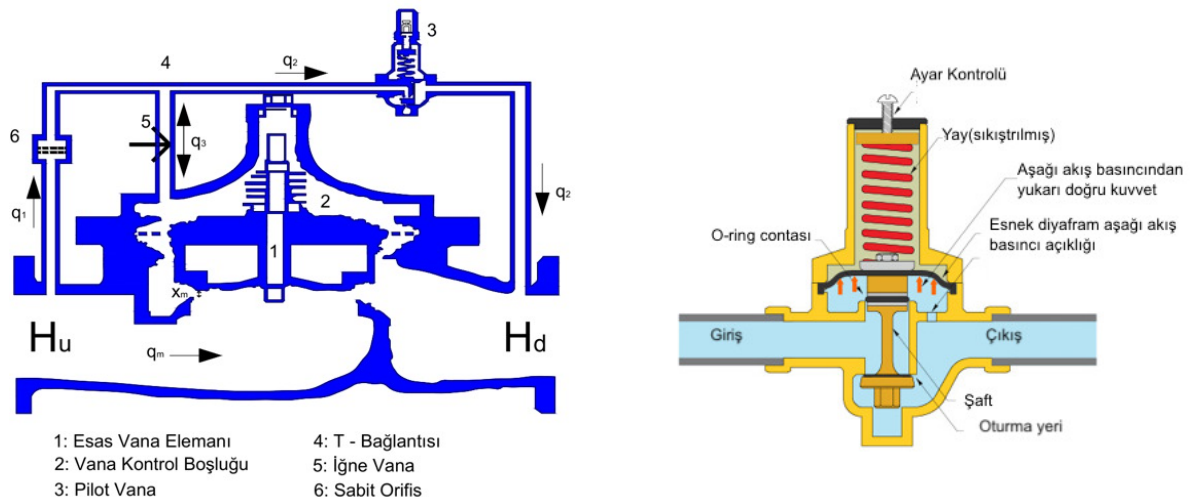
Şekil 12.6. Su Basıncını Düşürmek İçin Kullanılan Farklı PRV Kontrolör Çeşitleri

İzole ölçülebilir bölgelerinin giriş basıncı, kritik nokta basıncının su dağıtım şebekelerinde izin verilen minimum basınca eşit olacağı şekilde PRV vasıtasıyla güncellenir. Bu, bir kontrol döngüsü ve programlanabilir bir mantık kontrolörü (PLC) gibi bir çeşit kontrol ünitesi gerektirir.

İzole ölçülebilir bölgelerinin giriş basıncı, kritik nokta basıncının su dağıtım şebekelerinde izin verilen minimum basınca eşit olacağı şekilde PRV vasıtasıyla güncellenir.

DMA içinde basıncın düşürülmesi ile su kayıpları hemen azalır. Sızıntıların azalması, düşürülen basınç seviyesine, sızıntı debisine ve boru özelliklerine göre değişir.

Yukarıda verilen basınç kontrol durumları dışında şebeke için çözülmesi gerekli en önemli basınç problemlerinden biri de şebekede anlık oluşan basınç dalgalanmalarıdır. Darbeler çok yüksek genlikte, yani basınç aralığında olabilir ve bu nedenle sistemde ciddi şoklara ve strese neden olabilir ve sızıntılar oluşturabilir.



Şekil 12.7. Basınç Düşürücü Vanaların (PRV) Şematik Gösterimi

## İçme Suyu Şebekesinde Gelir Getirmeyen Su Nasıl Ölçülür, İzlenir ve Önlenir

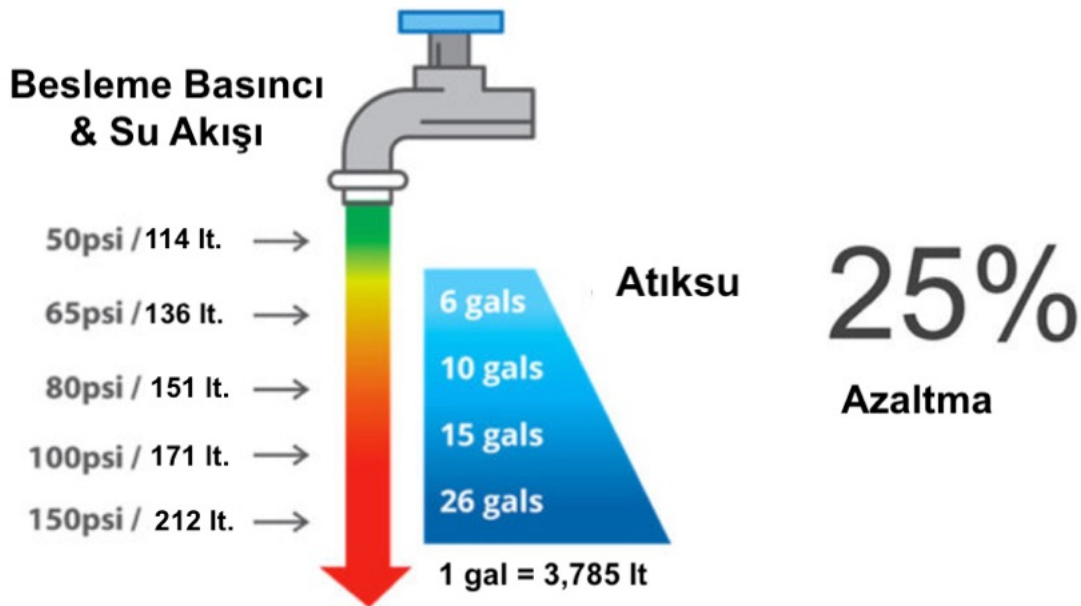
Elektronik Ünite, içme suyu şebekesi üzerinden elde ettiği giriş basıncı, çıkış basıncı, anlık akış, toplam akış ile ünite içerisindeki batarya seviyesi ve harici enerji kaynağının seviyesini belirlenen periyotlarda sistem merkezine göndermektedir. Elektronik ünite içerisinde bulunan GSM iletişim modülü, sistem merkezi ile sürekli on-line bağlantıda kalmaktadır. İletişim kesilmesi durumunda kendi içinde kayıt tutmakta, iletişim tekrar sağlandığında tüm verileri tekrar merkeze göndermektedir.

Basınç sensörleri bir şebekedeki su basıncını tespit eder ve genellikle şebekenin optimum basıncını izlemek için belirli aralıklarla monte edilir. Basınç yüksekse boru şebekesinin patlama ihtimali vardır ve düşük basınç ev kullanıcılarına sorun yaratabilir. Basınç sensörleri ile şebekede basınçlar otomatik olarak ayarlanır.

“İçme suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” hükümlerine göre; “**Sistemde basınç yönetiminin yapılması, kritik noktalarda sürekli basınç ölçülmesi, topografik yapının uygun olduğu yerlerde en yüksek statik basıncın 80 mSS’ den 60 mSS düzeyine indirilmesi, bu kapsamda gerekli yerlerde basınç düşürücü/düzenleyici vana ve bağlantı hatlarının tesis edilmesi sağlanır**” denilmektedir. Basınç regülasyonu sonucunda; içme suyu şebekesindeki yüksek su basıncından kaynaklanan arızalar önlenmiş gibi, bakım onarım maliyetleri de düşmekte ve boru ömürleri uzamaktadır.

Su dağıtım şebekelerinde basınç yönetimi uygulamak, kaynakların ve tesislerin daha verimli kullanılabilmesi ve su tüketicileriyle su idarelerinin göreceği zararın asgariye indirilmesinin sağlanması gibi faktörler dikkate alınırsa elzem görünmektedir.

150psi basınçta bir içme suyu şebekesinde, 50psi'ye göre iki kat daha fazla su akar. Bu ek suyun çoğu israf edilir ve normal kullanım için gerekli değildir. 100 psi'lik bir içme suyu besleme basıncı, 50 psi'lik bir besleme basıncından %33 daha fazla su hacmi sağlar.



Şekil 12.8. Besleme Basıncı ve Su Akışı



### 13. Gaz Enjeksiyon Yöntemiyle Sızıntı Tespiti

Gaz enjeksiyon yöntemi, 75 ila 1000 mm çapındaki tüm boru malzemelerindeki sızıntıları tespit etmek için kullanılabilir.

Bu sistem ile küçük sızıntıları tespit etmek mümkündür.

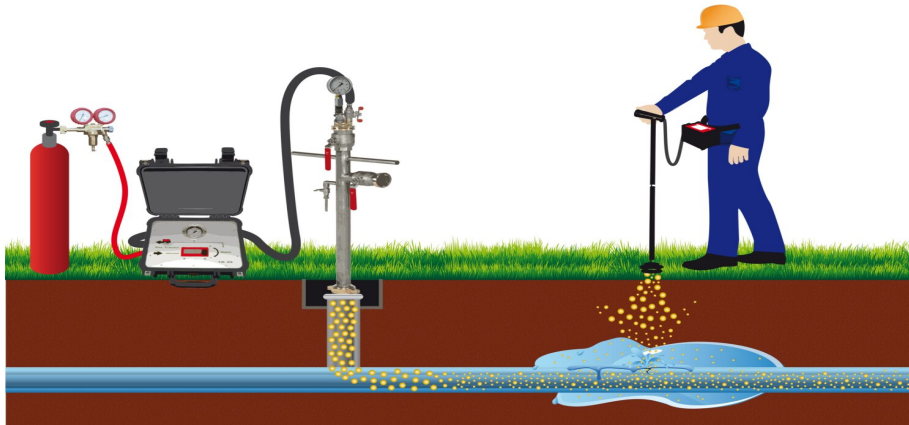
Gaz enjeksiyonu, genellikle hidrojen veya helyum ve nitrojen karışımı olan suda çözünmeyen ve izlenebilir gazın ana su veya servis borusuna enjekte edildiği bir tekniktir. Ana hattın üzerindeki zemin daha sonra gazın varlığını algılayabilen bir sensör kullanılarak süpürülür. Gaz, içme suyuyla kullanım için onaylanmalıdır.

Bu gazlar hatalı altyapıdan sızarken, operatörler şüpheli alanı araştırarak konumlarını tespit eder. Bu, sistemden çıkmak için diğer yolları engelleyerek şüpheli alana gaz akışını sınırlamak için ağır akışları hakkında yetkin bir bilgi gerektirir. İzleyici gaz hem arka plan sızıntısını hem de patlama olaylarını düşük yanlış alarm oranıyla tespit edebilmektedir.

Bu yöntem daha büyük çaplı borularda da kullanılabilir ancak bunun için önemli hacimlerde gaz gerektirecektir. Bu tekniğin hızlı ve doğru yanıtı, özellikle daha yüksek hacimlerde gaz gerektiren büyük, düşük basınçlı ağlarda masraflı olması ve izleme için dahili sensörlerin uygulama maliyeti ve olası filtreleme aşamaları bu yöntemi gerçekçi olmaktan çıkarmaktadır.

#### 13.1. İzleyici Gazla Su Boru Hatlarında Kaçak Tespiti

İzleyici gaz yöntemiyle, sızıntı tespiti için nispeten ucuz bir olasılık daha vardır. Burada, "oluşturucu gaz" veya "izleyici gaz" çalışan bir su borusuna enjekte edilir.



Şekil 13.1 Şebeke Sistemini Gazla İzleme

#### 13.2. İzleyici Gaz Nedir?

İzleyici gaz genellikle hacimce %5 hidrojen ve hacimce %95 azottan oluşur. Bazen 10/90 veya hatta 20/80 oranı da vardır, ikincisi genellikle kaynağa koruyucu gaz olarak kullanılır. %5 hidrojen içeriğinin avantajı, bu karışımın yanıcı olmaması ve bu nedenle kullanımının çok güvenli olmasıdır. Geçmişte, helyum da azot yerine taşıyıcı gaz olarak kullanılırdı. Ancak,

helyum bu arada nispeten pahalı hale geldiğinden, hidrojen ve azot kombinasyonu ağırlıklı olarak kullanılır.

### **13.3. İzleyici Gaz Yöntemi Nasıl Çalışır?**

Bu yöntemin prensibi, gömülü gaz boru hatlarındaki yer üstü kaçak tespiti ile aynıdır. Çok küçük moleküler boyutu nedeniyle (en küçük gaz molekülüdür), izleyici gazla enjekte edilen hidrojen de boru hattındaki küçük kaçaklardan dışarıya ulaşır. Düşük yoğunluğu nedeniyle hidrojen havadan daha hafiftir ve bu nedenle yukarı çıkar. Borunun üstünde, gaz uygun bir prob (örneğin halı veya çan probu) ve hidrojen için kalibre edilmiş bir gaz detektörü (örneğin HUNTER İzleyici Gaz ) ile tespit edilir (ön konumlandırma).

Çok küçük sızıntılar veya zorlu zemin koşulları ve bunlara bağlı tespit zorlukları durumunda, mobil bir vakum pompası da gazı özel bir çan probu ile yerden çıkarmak ve ölçüm cihazına beslemek için kullanılabilir. Bir sondaj probu ile, sızıntı noktasını tam olarak belirlemek için (lokalizasyon) yer üstünde hidrojen tespiti yapıldıktan sonra topraktaki gaz konsantrasyonu ölçülebilir.

### **13.4. Ne Kadar İzleyici Gaza İhtiyaç Vardır Ve Nereye Enjekte Edilir?**

İçme suyu şebeke sistemine eklenen izleyici gaz miktarı, hakim su sıcaklığına ve su basıncına bağlıdır ve su akışının yüzde iki ila yüzde on fazlası arasındadır. Bu miktar suda kolayca çözülebilir ve dağıtım sisteminde devam eden çalışma sırasında hiçbir sorun ortaya çıkmaz. Sızıntının boyutu da bir rol oynar. Sızıntı ne kadar büyükse, o kadar fazla gaz enjekte edilmesi gerekir. Sızıntı en elverişsiz yerde, örneğin borunun dibinde olsa bile, su-gaz karışımı oraya kaçacaktır. Ancak, sızıntı planlanan enjeksiyon noktasından daha düşük bir noktadaysa, boru hattının yüksekliği veya seyri dikkate alınmalıdır. Bu durumda, enjeksiyon için daha düşük olan başka bir nokta seçilmelidir.

Uygun enjeksiyon noktaları genellikle şunlardır:

- Hidrantlar
- Sökülen su sayaçları

### **13.5. İzleyici Gaz Nasıl Enjekte Edilir?**

Gaz genellikle uygun basınç düşürücülere sahip yüksek basınçlı silindirler aracılığıyla sisteme beslenir. İstenilen enjeksiyon miktarını sağlamak için bir akış ölçerin kullanılması önerilir, örneğin enjeksiyon kutusu TIB 40. Ev bağlantı borularında sızıntı olması durumunda, enjeksiyon, sayaç söküldükten sonra su sayacı bağlantısı üzerinden gerçekleştirilebilir. Daha sonra izleyici gaz, düzenli su çekimi gerçekleşmediği ve ev bağlantı borusundaki su akmadığı için, sızıntıya kadar suyun normal akış yönüne karşı "akar".

Enjeksiyondan sonra, gaz detektörü ve probu aracılığıyla ön konumlandırmaya başlamadan önce belirli bir süre beklenmelidir, çünkü gazın yüzeye ulaşması için biraz zamana ihtiyaç vardır. Bu, esas olarak enjekte edilen izleyici gaz miktarından ve sızıntının boyutundan ve ayrıca toprak özellikleri ve geçirgenliğinden etkilenir.





**Şekil 13.2.** Şebeke Sistemine İzleyici Gaz Verme

### **13.6. İzleyici Gazın Avantajları Nelerdir?**

İzleyici gaz yöntemi, korelasyon gibi akustik yöntemlerin kullanılmadığı veya iyi kullanılmadığı durumlarda (örneğin plastik borularda) gerekli olacak zaman alıcı ve masraflı kazıları ortadan kaldırır.

Bu prosedürün bir diğer avantajı da kurulum alanındaki gizli su borularında (örneğin sıvanın arkasında yatan boruda) kullanılmasıdır. Borularda akustik yöntemler kullanılarak sızıntı olup olmadığı kontrol edilemez. Dışarıda yer üstü sızıntı tespiti için kullanılan aynı gaz detektörü burada da kullanılabilir. Bu amaçla yalnızca prob değiştirilir ve hızlı bir bağlantı aracılığıyla cihaza bir kaz boynu monte edilir.

İzleyici gazda bulunan hidrojen, küçük moleküler boyutu nedeniyle tuğla duvarlara ve sıvalara da nüfuz eder. Bu, aksi takdirde bulunması zor olan sızıntıların tespit edilmesini sıklıkla mümkün kılar.

## 14. Şebekedeki Su Kaybı Nasıl Azaltılır?

Şebekedeki su kaybını azaltmak için planlama, uygulama ve değerlendirme faaliyetlerini içeren kapsamlı ve proaktif bir yaklaşım benimsenmesi gerekir. Ölçüm doğruluğunun ve faturalama sistemlerinin iyileştirilmesi görünür kaybı en aza indirmeye yardımcı olabilirken, basınç yönetimi ve aktif sızıntı kontrolü gerçek kaybı azaltabilir. Ayrıca, sızıntıları veya patlamaları önlemek için eskiyen veya arızalı boruların, vanaların veya bağlantı parçalarının onarılması veya değiştirilmesi gereklidir. Müşterilerin eğitilmesi ve yönetmeliklerin uygulanması da izinsiz tüketimi veya israfı caydırabilir. Son olarak, dağıtım sisteminin tasarım ve işletiminin optimize edilmesi verimliliği ve güvenilirliği artırabilir.

İçme suyu dağıtım sisteminde basınç yönetimi, en faydalı, önemli ve maliyet açısından en etkili kaçak yönetim faaliyeti olarak kabul edilir. **Dağıtım şebekesindeki basınç ne kadar yüksekse, şebekedeki patlamalar veya sızıntılar nedeniyle o kadar fazla su kaybedilir. Dahası, boru patlamalarının çoğu, boruları sürekli olarak genişlemeye ve daralmaya zorlayan devam eden basınç dalgalanmaları nedeniyle meydana gelir ve bu da stres çatlaklarına neden olur.**

Hem önlenemeyen yıllık gerçek kayıp (UARL) hem de altyapı sızıntı kaybını (ILI) doğru bir şekilde belirlemek ve her şeyden önce su kayıplarını etkili bir şekilde yönetmek için, şebekeyi su dengesiyle ilgili basınç değerlerinin ve parametrelerinin gösterilebileceği izole ölçüm bölgelerine (DMA) bölmek tavsiye edilir. İzole ölçüm bölgeleri (DMA), hem tedarik edilen hem de tüketilen suyun (DMA'ya giren ve çıkan su) su dengesini değerlendirmek için uzaktan izlendiği küçük kümelerden oluşur. Bu küçük alanlar, sınır izolasyon vanaları veya boruların bitişik bölgelere kalıcı olarak ayrılmasıyla oluşturulur. DMA'lar, genellikle sızıntılardan kaynaklanan olağandışı talepleri izlemek için bazı su tedarik şebekelerinde yaygın olarak kullanılır. Bir DMA içinde çalışma basıncı yönetiliyorsa (gerekirse azaltılır veya artırılır), bu bölgeye basınç yönetimi alanı (PMA) adı verilir. Basınç yönetimi (PM), bir WDS'deki basınçları optimum (minimum) hizmet seviyelerine göre yönetme ve aynı zamanda tüketicilere verimli ve yeterli su tedarikini sağlama uygulamasıdır. Genellikle, **su temin şebekesindeki minimum basınç tüketimin en yoğun olduğu saatlerde korunur, ancak diğer yandan, tüketimin en az olduğu saatlerde (özellikle geceleri) önemli ölçüde artar ve sızıntıların sıklığını ve hacmini artırır.** Basınç Yönetimi (PM), en faydalı, enerji açısından verimli ve maliyet açısından etkili sızıntı yönetimi yöntemidir. PM, aşırı basınçların, basınç dalgalanmalarının ve geçici akışların azaltılması nedeniyle gerçek su kayıplarında bir azalmaya yol açar. Su dağıtım sistemlerindeki (WDS) basınç, genellikle hem basınç düşürücü vanalar (PRV) hem de değişken hızlı (frekans konvertörlü) pompalar (VSP'ler) kullanılarak yönetilir. Basınç düşürücü vanalar (PRV) enerjiyi dağıtır ve böylece çalışma basıncını düşürür, ancak değişken (frekans konvertörlü) hızlı pompalar (VSP) akış hızını (gerektiğinde) azaltabilir ve böylece yalnızca sızıntıları ve kopmaları önlemek için basıncı değil, aynı zamanda enerji tüketimini de azaltabilir. Değişken hızlı tahrik, giriş gücünün frekansını değiştirir ve böylece VSP motorunun dönüş hızını düzenler ve pompanın hidrolik performansını değiştirir. İçme suyu dağıtım sistemindeki (WDS) basıncı yönetmek için basın düşürücü vanaların (PRV) ve değişken hızlı (frekans konvertörlü)

pompaların (VSP) eş zamanlı kullanımının, bir yönetim dışı sisteme kıyasla sızıntı oranını %41,72 ve enerji tüketimini %28,4 oranında azalttığını doğruladı.

Basınç uygulama alanlarının (PMA) oluşturulması, kaçakların azaltılmasını ve düşürülen pompalama başlıkları sayesinde enerji tasarrufu yapılmasını sağlar.

Basınç uygulama alanlarında (PMA) basınç yönetimi için kullanılan basın düşürücü vanaların (PRV) yerini türbin olarak pompalar (PAT'ler) alabilir. Bu strateji, su dağıtım sistemlerinde (WDS) temiz yenilenebilir enerji üretimi için bir alternatif olabilir. Pompalara ek olarak, küçük türbinler, mikro türbinler veya piko-türbinler gibi diğer küçük hidro-güç sistemleri de enerji geri kazanımı için kullanılabilir. PAT'lar kolayca temin edilip kurulabilir ve geleneksel hidrolik makinelere kıyasla nispeten düşük maliyetlere sahiptir. PAT'lar sadece kentsel WDS'lere değil aynı zamanda sulama sistemlerine de kurulabilir. PAT'ların ana sınırlaması, su akışının hızı ve deşarji değiştiğinde daha düşük verimliliğe sahip olmalarıdır. Değişken çalışma koşulları söz konusu olduğunda, PAT'ların hidrolik veya elektriksel olarak düzenlenmesi uygun bir çözüm olabilir. Bu düzenlemenin basınçlı su sistemine dahil edilmesi, enerji üretiminde bir artışa ve dolayısıyla WDS'lerin sürdürülebilirliğine yol açabilir.

### **14.1. Detaylar**

Basınç yönetimi, bir su dağıtım şebekesindeki su kaybını etkili bir şekilde azaltmak için çok önemlidir. Basınç seviyelerini optimize ederek sadece su kaybını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki boru patlama, kırılma ve sızıntı riskini de en aza indirerek daha sürdürülebilir ve verimli bir su dağıtım sistemi sağlar.

Tutarlı basınç seviyelerini korumak ve sızıntı ve patlama riskini azaltmak için basınçtan bağımsız kontrol vanaları (pressure-independent control valves, PICV'ler) ve basınç düzenleme vanaları (Pressure-Regulating Valves, Basınç Düşürücü Vana, PRV'ler) kurulmalı. PICV'ler talep değişikliklerine göre akış oranlarını otomatik ayarlayarak şebeke genelinde optimum basınç koşullarını sağlar ve su kaybını en aza indirir. Gerçek zamanlı izleme sistemleri takip edicilere şebeke performansı hakkında eyleme geçirilebilir. Bilgiler sağlayarak anormalliklere anında yanıt verilmesine ve operasyonel verimliliği optimize edilmesine imkan tanır. Su kaybı yönetimine bütüncül bir yaklaşım benimseyerek, gelir getirmeyen suyu önemli ölçüde azaltılır ve su dağıtım şebekesinin genel esneklik artırılır.

## 15. Özet: Kaçak/Kayıp Tespiti

1. **Akıllı Ölçüm**-Yakın tarihli bir projede, şebeke genelinde akıllı ölçüm uygulandı. Bu teknoloji su kullanımına ilişkin gerçek zamanlı veriler sağlandı ve sızıntılara işaret eden anormallikleri tespit edildi.
2. **Basınç Yönetimi**- şebeke sistemindeki farklı bölgelerde basınç düşürme valfleri (PRV) ile basıncı ayarlayarak sızıntı riski azaltılır. Düşük talep dönemlerinde daha düşük basınç, su kaybını önemli ölçüde azaltır.
3. **Akustik Kaçak Tespiti**- Sızan suyun sesini tespit etmek için akustik sensörler kullanılmalı. Bu yöntem özellikle gözle görülemeyen yeraltı sızıntılarının tespitinde etkili olur.  
Akustik su kaçağı dedektörü, su borularındaki sızıntıları belirlemek ve tespit etmek için ses dalgalarına dayanan bir araçtır ve su sızıntılarını kendi başınıza kolayca ve invazif olmayan bir şekilde bulmanızı sağlar.
4. **Kızılötesi Termal Görüntüleme**-Kızılötesi termal görüntüleme teknolojisi, özellikle büyük, endüstriyel ortamlarda sızıntıların neden olduğu sıcaklık farklılıklarının tespit edilmesine yardımcı olur.

***Su kaçak kaynaklarının ölçülmesi, izlenmesi ve kayıpların en aza indirilmesi için yeterli bakım onarımın yapılması gerekir.***

Finans kuruluşlarının desteğiyle kârın paylaşıldığı bir model aracılığıyla özel sektör katılımının bu sorunun çözümünü hızlandıracaktır.

Su yönetimi, sürekli iyileştirme metodolojisidir.

## 16. Kaynaklar

- 1) <https://www.waterworld.com/drinking-water/infrastructure-funding/article/16200323/understanding-and-managing-losses-in-water-distribution-networks>
- 2) [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-8677-2\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-8677-2_5)
- 3) <https://www.abnpipesystems.com/efficient-management-of-water-supply-networks/?lang=en>
- 4) <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3446>
- 5) <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/water-loss>
- 6) <https://www.avkvalves.com/en/gain-knowledge/water-worldwide/10-ways-to-reduce-water-loss-and-nrw>
- 7) <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1057>
- 8) <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Digital-Learning-Resources/03-Water-Loss.pdf>
- 9) [https://www.spglobal.com/\\_assets/documents/ratings/research/101585883.pdf](https://www.spglobal.com/_assets/documents/ratings/research/101585883.pdf)
- 10) <https://thesourcemagazine.org/bursting-at-the-seams-new-study-highlights-the-realities-of-water-loss/>
- 11) <https://blog.se.com/industry/water-and-wastewater/2024/01/18/6-ways-digital-transformation-drives-non-revenue-water-reduction/>
- 12) <https://www.linkedin.com/advice/0/how-do-you-measure-monitor-water-loss-your-network>
- 13) <https://iwaponline.com/ws/article/23/8/3432/96337/A-method-for-water-supply-network-DMA-partitioning>
- 14) [https://www.akilisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/KapasiteGelistirme/su\\_kay%C4%B1p\\_ve\\_ka%C3%A7ak\\_izleme\\_sistemleri\\_teknoloji\\_inceleme\\_raporu\\_web\\_formati\\_revize.pdf](https://www.akilisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/KapasiteGelistirme/su_kay%C4%B1p_ve_ka%C3%A7ak_izleme_sistemleri_teknoloji_inceleme_raporu_web_formati_revize.pdf)
- 15) <https://polen.itu.edu.tr/items/4802bdc5-040c-4871-8090-dd22b10ffc00>
- 16) <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/7/1280>
- 17) <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JWRMD5.WRENG-5984>
- 18) <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/883903>
- 19) <https://iwaponline.com/jh/article/24/3/642/87798/Smart-pressure-management-extension-for-EPANET>
- 20) <https://www.indyturk.com/node/281516/t%C3%BCrki%C3%87yeden-sesler/i%C3%87me-suyu-%C5%9Febeke-sistemi-sanki-halbur#:~:text=%C5%9Eehirlerde%20i%C3%A7me%20suyu%20%C5%9Febeke%20sisteminde,g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCleri%20%C5%9Eekil%207'de%20verilmi%C5%9Ftir.&text=T%C3%BCrkiye'de%20kullan%C4%B1labilir%20su%20potansiyeli,Tar%C4%B1msal%20sulama%2032%20milyar%20m3>
- 21) <https://cordis.europa.eu/article/id/413419-drones-can-support-massive-reductions-in-lost-drinking-water>

- 22) <https://www.wateronline.com/doc/soaring-above-challenges-drone-based-inspection-and-maintenance-take-off-0001>
- 23) <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/3/633>
- 24) <https://www.avkvalves.eu/en/insights/water-technology/10-ways-to-reduce-water-loss>
- 25) <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>
- 26) <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/6/1187>
- 27) <https://iwaponline.com/jh/article/25/6/2281/97926/Leak-detection-in-water-distribution-networks>
- 28) [https://www.researchgate.net/publication/364234485\\_A\\_Review\\_on\\_Current\\_Technologies\\_and\\_Future\\_Direction\\_of\\_Water\\_Leakage\\_Detection\\_in\\_Water\\_Distribution\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/364234485_A_Review_on_Current_Technologies_and_Future_Direction_of_Water_Leakage_Detection_in_Water_Distribution_Network)
- 29) <https://iwaponline.com/ws/article/23/3/1349/93581/Determination-of-economic-loss-levels-in-water>
- 30) Leak Detection - IWA Publishing, "Leak Detection: Technology and Implementation": Second Edition.
- 31) <https://smartwatermagazine.com/news/pub-singapores-national-water-agency/pub-adopts-smart-tools-detect-and-pre-empt-pipe-leaks>
- 32) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350478921002439>
- 33) <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/5/1037>
- 34) <https://www.avkvalves.eu/en/insights/water-technology/advancing-management-of-water-distribution>
- 35) <https://iwaponline.com/ws/article/23/5/1843/94504/Mobile-DMA-testing-for-leakage-assessment>
- 36) <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9913462>