

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE FİZİKİ KAYIPLARIN  
AKUSTİK YÖNTEMLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ercan BEKTAŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Recep KILIÇ**

**Temmuz 2019**

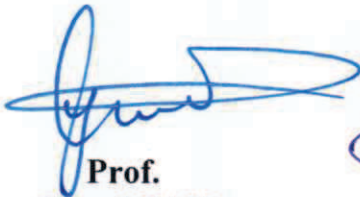
T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE FİZİKİ KAYIPLARIN  
AKUSTİK YÖNTEMLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ercan BEKTAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /  
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof.  
Yusuf ÇAY  
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi  
Osman Hamdi METE  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Recep KILIÇ  
Üye

## BEYAN

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



Ercan BEKTAŞ

17/07/2019

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sınırsız katkılarından ve değerli gürüőlerinden ötürü tez danıőmanım Dr.Öğr.Üyesi Recep KILIÇ'a, katkılarından ötürü Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a en içten duygularla teşekkür ederim.

Tez alıőması boyunca yol gösteren SASKİ Planlama Daire Başkanı Hüseyin CİNAL ve ekibine ayrıca teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY .....	xi

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Çalışmanın Önemi.....	2

### BÖLÜM 2.

İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİ VE KULLANILAN BORU ÇEŞİTLERİ.....	4
2.1. İçme Suyu Dağıtım Sistemleri .....	4
2.1.1. İsale hattı .....	4
2.1.2. İçme suyu şebekeleri.....	4
2.1.2.1. Dal modeli .....	4
2.1.2.2. Ağ modeli veya çok yönlü su şebekesi .....	6
2.2. İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Boru Çeşitleri .....	6
2.2.1. Çelik borular.....	6
2.2.2. Asbestli çimento borular .....	7
2.2.3. Beton ve betonarme borular .....	7
2.2.4. PVC (Polivinilklorür) borular .....	8
2.2.5. Polietilen borular .....	8
2.2.6. Cam takviyeli polyester borular .....	9

### BÖLÜM 3.

SU KAYIPLARI VE TESPİT YÖNTEMLERİ .....	10
3.1. Su Kayıpları.....	10
3.1.1. Su kayıplarının tanımı.....	10

3.1.2. Su kayıplarında ülkelerin durumu .....	10
3.1.3. Türkiye'deki su kayıpları .....	11
3.1.4. Su kayıplarının nedenleri .....	12
3.1.5. Su kayıplarının sınıflandırılması .....	13
3.2. Su Kayıpları Tespit Yöntemleri .....	15
3.2.1. İdari kayıplar ve tespit yöntemleri.....	16
3.2.1.1. İdari kayıpların tanımı.....	16
3.2.1.2. İdari (Ticari) kayıplar tespit yöntemi .....	16
3.2.1.3. Kaçak (İzinsiz) su kullanımı .....	17
3.2.1.4. Sayaç ölçüm hataları .....	18
3.2.1.5. İzinli ölçülmeyen tüketimler .....	19
3.2.1.6. Yeşil alan sulamaları .....	19
3.2.1.7. Yangın suyu .....	19
3.2.1.8. Tahliyeler .....	19
3.2.2. Fiziki kayıplar ve tespit yöntemleri .....	20
3.2.2.1. Fiziki kayıpların tanımı .....	20
3.2.2.2. Fiziki kayıpların sebepleri.....	20
3.2.2.3. Fiziki kayıpların çeşitleri .....	21
3.2.2.4. Fiziki kayıpların yönetim stratejisi .....	22
3.2.2.5. Basınç yönetimi.....	23
3.2.2.6. Onarım hızı ve kalitesi .....	24
3.2.2.7. Boru hattı yönetimi .....	24
3.2.2.8. Aktif sızıntı kontrolü.....	25
3.2.2.9. Akustik yöntemler.....	25
3.2.2.10. Akustik kaydediciler .....	28
3.2.2.11. Yer mikrofonu.....	29
3.2.2.12. Dinleme çubuğu .....	29
3.2.2.13. Sızıntı gürültü korelatörü .....	30

#### **BÖLÜM 4.**

#### **KORELASYON YÖNTEMİ..... 31**

4.1. Korelasyonun tanımı .....

4.2. Korelasyon Teknikleri Kullanılmak Suretiyle kaçak yerinin tespiti .....

#### **BÖLÜM 5.**

#### **MATERYAL VE METOD..... 35**

5.1. Materyal.....

5.2. Metod.....

#### **BÖLÜM 6.**

#### **BULGULAR..... 40**

6.1. 1.Vaka Çalışması.....

6.2. 2.Vaka Çalışması.....

6.3. 3.Vaka Çalışması.....

<b>BÖLÜM 7.</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>51</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABYS	: Abone bilgi yönetim sistemi
AGD	: Asgari gece debisi
AKE	: Altyapı kaçak endeksi
AWWA	: Amerikan su işleri birliği
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
DBE	: Dünya bankası enstitüsü
DDY	: Devlet demir yolları
DHM	: Devlet hava meydanları
DİSKİ	: Diyarbakır su ve kanalizasyon işleri
DMA	: Ölçüm bölgesi (District metered area)
DMS	: Dağıtım yönetim sistemleri
EMS	: Enerji yönetim sistemi
GGs	: Gelir getirmeyen su
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
IWA	: Uluslararası su birliği
İSKİ	: İstanbul su ve kanalizasyon işleri
İSU	: İzmit su ve kanalizasyon işleri
İZSU	: İzmir su ve kanalizasyon işleri



KASKİ	: Kayseri su ve kanalizasyon işleri
KOSKİ	: Konya su ve kanalizasyon işleri
LAN	: Yerel alan şebekesi
MGD	: Minimum gece debisi
MIS	: Yönetim bilgi sistemi
PLC	: Programlanabilir kontrol cihazı
SASKİ	: Sakarya su ve kanalizasyon işleri
SCADA	: Denetleme kontrol ve veri toplama
WHO	: World health organisation (insan sağlığı örgütü)
YGFK	: Yıllık gerçek fiziki kayıplar
YKFK	: Yıllık kaçınılmaz fiziki kayıplar

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : SASKİ Adapazarı izole alt bölgesi .....	2
Şekil 2.1 : Suların isalesi (iletimi),.....	5
Şekil 2.2 : a. Dal şebeke sistemi b. ana besleme borusundan su alan ağ şebeke sistemi c. Besleme halkası teşkil edilmiş ağ şebeke sistemi. ....	6
Şekil 3.1 : 2010 yılı için bazı ülkelerdeki gelir getirmeyen su seviyeleri,.....	11
Şekil 3.2 : Türkiye’de sektörel su tüketimi .....	12
Şekil 3.3 : Su temin ve dağıtım sistemlerinde oluşan tipik su kayıpları .....	16
Şekil 3.4 : İdari kayıpların azaltılmasında uygulanan dört temel faaliyet.....	17
Şekil 3.5 : İçme suyu temin ve dağıtım sistemindeki fiziki su kayıplarının oluşum noktaları.....	21
Şekil 3.6 : Fiziki kayıp bileşenleri. ....	22
Şekil 3.7 : Fiziki su kayıplarının yönetiminde uygulanan temel bileşenler .....	23
Şekil 3.8 : İçme suyu şebekesinin farklı bölümlerinde farklı basınç seviyeleri.....	24
Şekil 3.9 : Farklı boru malzemeleri için sızıntı Sesinin Genliği .....	26
Şekil 3.10 : Borudan çıkan suyun ses dağılımı. ....	27
Şekil 3.11 : Firmalar tarafından geliştirilen modern akustik ekipmanlar. ....	28
Şekil 3.12 : Yer mikrofonu ve uygulaması. ....	29
Şekil 3.13 : Korelatör. ....	30
Şekil 4.1 : Sızıntı sesinin boru üzerinde dağılımı .....	32
Şekil 4.2 : Korelatör çalışma diyagramı.....	32
Şekil 5.1 : Maltepe mahallesi efe sokakta bulunan su hattının uydu görüntüsü .....	36

Şekil 5.2	: Maltepe mahallesi yamaç sokakta bulunan su hattının uydu görüntüsü...	36
Şekil 5.3	: Sensörlerin planlandığı arayüz ekranı.....	37
Şekil 5.4	: Boru cinslerinin ve sensörler arası mesafenin planlandığı arayüz ekranı.	38
Şekil 5.5	: Maltepe mahallesi efe sokak boru planı ve ses kaydedici sensörlerin yerleşimi.....	39
Şekil 5.6	: Maltepe mah. yamaç sokak boru planı ve ses kaydedici sensör yerleşimi ..	39
Şekil 5.7	: Serdivan istiklal mahallesi altınışik sokak boru planı ve ses kaydedici sensörlerin yerleşimi .....	39
Şekil 6.1	: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon ekranı. ....	40
Şekil 6.2	: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 1.patlağın (8584-8579 nolu sensörler arası) ses analizi. ....	41
Şekil 6.3	: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 2.patlağın (8583- 8579 nolu sensörler arası) ses analizi. ....	41
Şekil 6.4	: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 1.patlağın (8584-8579 nolu sensörler arası) yeri ve sensörlere uzaklığı.....	42
Şekil 6.5	: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 2.patlağın (8583-8579 nolu sensörler arası) yeri ve sensörlere uzaklığı .....	42
Şekil 6.6	: SASKİ maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon ekranı . ....	43
Şekil 6.7	: Maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlağın ses analizi. ....	45
Şekil 6.8	: Maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlağın sensörlere uzaklığı.....	45
Şekil 6.9	: Serdivan istiklal mahallesi altın ışık sokak korelasyon ekranı. ....	46
Şekil 6.10	: Serdivan istiklal mahallesi altın ışık sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlağın sensörlere uzaklığı. ....	46

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 : Su bütçesi tablosu (Bütçe dönemi genellikle yıllık alınır)..... 14



# SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE FİZİKİ KAYIPLARIN AKUSTİK YÖNTEMLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

## ÖZET

Kıt ve değerli su kaynaklarımızın, etkin ve verimli kullanımı zamanla daha fazla önem kazanmaktadır. Yarı kurak iklim bölgesinde bulunan Ülkemizde iklim değişikliğinin etkisi ile içme suyu, sanayi suyu ve sulama suyu ihtiyacımız nüfusun da artmasıyla birlikte sürekli artmaktadır. Bu şartlarda, kaynaktan aldığımız suyun, kullanıcıya ulaşmaya kadar geçen süreçte maalesef yarısından fazlasını kaybediyoruz. Bu kayıp ve kaçakları azaltarak tamamen kontrol altına almak için yapılan çalışmalar, su idarelerine ciddi anlamda maliyet ve iş yükü getirmektedir.

Günümüzde su kayıplarının tespitine yönelik yapılan çalışmalarda maliyeti ve iş yükünü düşürmek için çok sayıda teknoloji geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin geliştirilmesinde ana etken, su sızıntısının çıkardığı sesin ve hat üzerinde oluşturduğu titreşimlerin analizi yapılarak sızıntının tespitine yöneliktir. Analiz ve istatistiksel yöntemlerden olan Korelasyon tekniği kullanılarak geliştirilen Korelatörler, akustik cihazlarla elde edilen verileri karşılaştırıp yüzde (%) olarak yer tespiti yapmaktadır. SASKİ tarafından sızıntı olduğu tespit edilen su hatları üzerine ses sensörleri yerleştirilerek elde edilen veriler, Korelatör cihazı ile analiz edilmiş 0.5-1 m hata ile yer tespiti yapılmıştır. Yer mikrofonları ile de teyit edilen noktalar kazılarak arızalar giderilmiştir.

Anahtar kelimeler: İçme suyu şebekeleri, Su kayıpları, Sızıntı tespit yöntemleri, Akustik dinleme, Korelasyon

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHYSICAL LOSSES IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS BY ACOUSTIC METHOD**

## **SUMMARY**

The efficient and efficient use of our scarce and valuable water resources is gaining more importance with each passing day. In our country, which is located in semi-arid climate region, the demand for drinking, potable, irrigation and industrial water is constantly increasing with the increase of population due to the effect of climate change . Under these conditions, we unfortunately lose more than half of the water we receive from the source until it reaches the user. The efforts to reduce and these losses and leaks bring significant cost and workload to water administrations.

Nowadays, many technologies have been developed in order to reduce the cost and workload for water loss detection. The main factor in the development of these technologies is to detect the leakage by analyzing the sound produced by the vibrations generated by the water leakage on the line. The correlators, which are developed using the correlation technique, which is one of the analysis and statistical methods, compare the data obtained with acoustic devices and make the ground tray as a percentage (%). Sound sensors were placed on the water lines where leakage was detected by SASKI and the data obtained were analyzed with the correlator device and the location was determined with 0.5-1 m error. The detected points were also confirmed by ground microphones and the bursts were repaired.

Key words: Drinking water networks, Water losses, Leak detection methods, Acoustic listening, Correlation

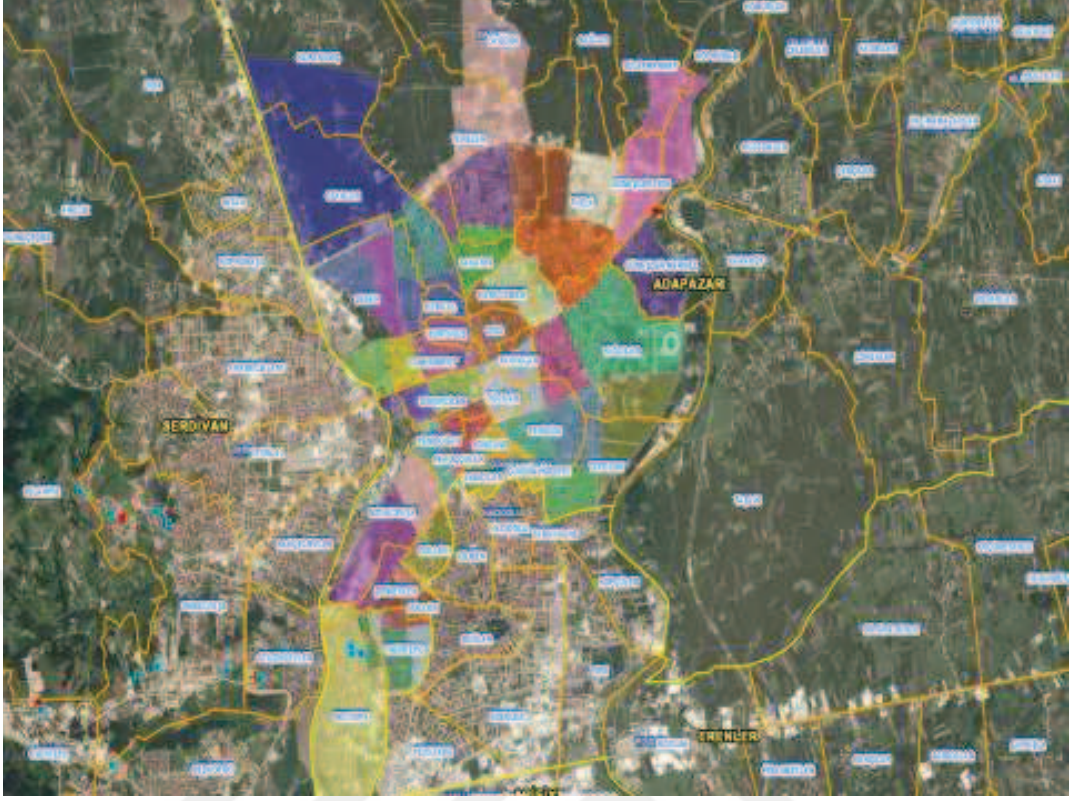
## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Ülkemizin toplam kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su potansiyelinin 112 milyar m<sup>3</sup> ve kişi başına düşen su potansiyelinin yaklaşık 1500 m<sup>3</sup>/kişi/yıl olduğu dikkate alındığında, ülkemizin “su stresi” içinde olduğu ve giderek “su fakiri” olmaya doğru yaklaştığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, su kaynaklarımızın kalitesinin yanı sıra miktar açısından da çok dikkatli yönetilmesini gerekli kılmakta, içme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının azaltılması özel bir önem kazanmaktadır. İçme ve kullanma amaçlı su talebinin sürekli artmasına karşın, suyun kaynağından tüketiciye ulaşmadan ana hatlarda ve su dağıtım şebekelerinde yok olması, su kaynaklarına olan talebi artırmakta ve önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır [1].

Şebekelerde meydana gelen kayıpların ekonomik kayıpların yanı sıra, borularda meydana gelen hasarlardan, zemine sızan kirli suların ve bilhassa kullanılmış suyu ileten kanallarından kaynaklanan atık suların, içme suyu şebekelerine karışmak suretiyle suyun kirlenmesine, hastalık yapan bazı organizmaların suya karışmasına, bunun sonucunda insan sağlığını tehdit eden salgın hastalıkların (ishal, kolera, tifo, sarılık, dizanteri ...vb.) çıkmasına sebebiyet vermektedir [2].

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışma, bir içme suyu şebekesini denetleyen Denetleme Kontrol ve Veri Toplama Sistemİ (SCADA), Abone Bilgi Yönetim Sistemi (ABYS) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) gibi teknolojilerle tespit edilen bölgesel (Şekil 1.1) fiziksel kayıpların akustik (gürültü kaydedici) yöntemlerle alanlarını daraltarak en az maliyetle yer tespitlerinin yapılıp, arızalar giderilmektedir.



Şekil 1.1: SASKİ Adapazarı izole alt bölgesi [19].

SCADA sisteminden günlük en düşük gece debisindeki düşüşler gözlenmekte ve onarılan arızaların debileri ölçülmüş olmaktadır. Minimum gece debileri yardımıyla fiziksel kayıp oranları bulunmakta, SCADA ve ABYS sistemlerinin aylık olarak karşılaştırılması ile de tahakkuk oranları takip edilmekte, tespit edilen bölgesel kaçaklar akustik (gürültü kaydedici) cihazların etkili kullanımı ile CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) verileri üzerinde tampon bölgeler oluşturulmaktadır [3].

## 1.2. Çalışmanın Önemi

Ülkemiz de bir yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 643 mm olup, bu da yaklaşık 501 milyar m<sup>3</sup> suya denk gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup>'ü göller, nehirler ve denizlerin yüzeyleri ile topraktan yüzeylerinden buharlaşmalar yoluyla atmosfere dönmekte, 69 milyar m<sup>3</sup>'ü yeraltı kaynak sularını beslemekte, yaklaşık 158 milyar m<sup>3</sup>'ü yağış olarak dereler, ırmaklar, nehirler vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır. Yeraltı kaynaklarını besleyen 69 milyar m<sup>3</sup>'lük suyun 28 milyar m<sup>3</sup>'ü su kaynakları olarak yeryüzüne çıkmaktadır. Ülkemize komşu



lkelerdeki su kaynaklarından yıllık yaklaşık 7 milyar m<sup>3</sup> su girmektedir. bununla birlikte ülkemizin toplam yerüstü su potansiyeli 193 milyar m<sup>3</sup> ıkmaktadır.

Yeraltı kaynak suyu olarak kalan 41 milyar m<sup>3</sup> de dhl edildiğinde, ülkemizin doğadaki su dngsn de yenilenebilir su potansiyeli toplam 234 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmaktadır. Günümüz de artan nüfus yoğunluğuna istinaden, sanayinin ve teknolojin gelişmesiyle, kullanım amaçlı suyun 95 milyar m<sup>3</sup>' yurt içindeki kaynaklardan, 3 milyar m<sup>3</sup>' komşu ülkelerden ülkemize gelen akarsulardan olmak üzere, yılda yaklaşık 98 milyar m<sup>3</sup>'tür. Ülkemizin kullanılabilir yeraltı ve yerüstü su miktarı 14 milyar m<sup>3</sup>'lk yeraltı su kaynakları ile birlikte yılda toplam ortalama 112 milyar m<sup>3</sup> olup, bu su kaynaklarının yaklaşık 54 milyar m<sup>3</sup>' kullanılmaktadır [4].

Su varlığına göre ülkelerin fert başına tktlebilir su miktarı 1.000 m<sup>3</sup>'ten az olanlar Su Fakiri, 2.000 m<sup>3</sup>'ten daha az ise su azlığı ve 8.000-10.000 m<sup>3</sup>'ten daha fazla ise Su zengini sayılmaktadır. Fert başına düşen yıllık tktlebilir su miktarı ortalama 1.519 m<sup>3</sup> olup, bu miktara göre ülkemiz su zengini kategorisinde değildir. Fert başına düşen yıllık su tktim miktarına göre yurdumuz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için 100 milyon nüfusumuzun olacağını tahmini etmektedir. Bu nüfus oranına göre 2030 yılı için fert başına düşen tktlebilir su miktarının yaklaşık 1.120 m<sup>3</sup>/yıl olabileceği öngörülebilir. Nüfus yoğunluğundaki artış hızı, su tktimindeki çeşitlilikler ve mevcut alışkanlıkların teknolojik gelişmelerle değişmesi ile su kaynaklarına olan taleplerin ne derece artacağı tahmin edilebilmektedir. Bu tahminler řu anki kaynakların 2030 yılına kadar bozulmadan aktarılması ile mümkün olabilecektir. Ülkemizin gelecek nesillere yeterli ve sağlıklı su bırakabilmesi için su kaynaklarının korunup, kirltilmeden muhafaza altına alarak kullanılması doğal döngüye dhl etmesi gerekmektedir [1].

## **BÖLÜM 2. İÇME SUYU DAĞITIM SİSTEMLERİ VE KULLANILAN BORU ÇEŞİTLERİ**

### **2.1. İçme Suyu Dağıtım Sistemleri**

Suyun kaynağından kullanım alanına kadar taşınmasını sağlayan sistemlerdir. Kaynağından dağıtım hattına kadar İsale hattı, dağıtım hattından kullanım alanına kadar içme suyu şebekesi olmak üzere iki kademedir oluşur.

#### **2.1.1. İsale hattı**

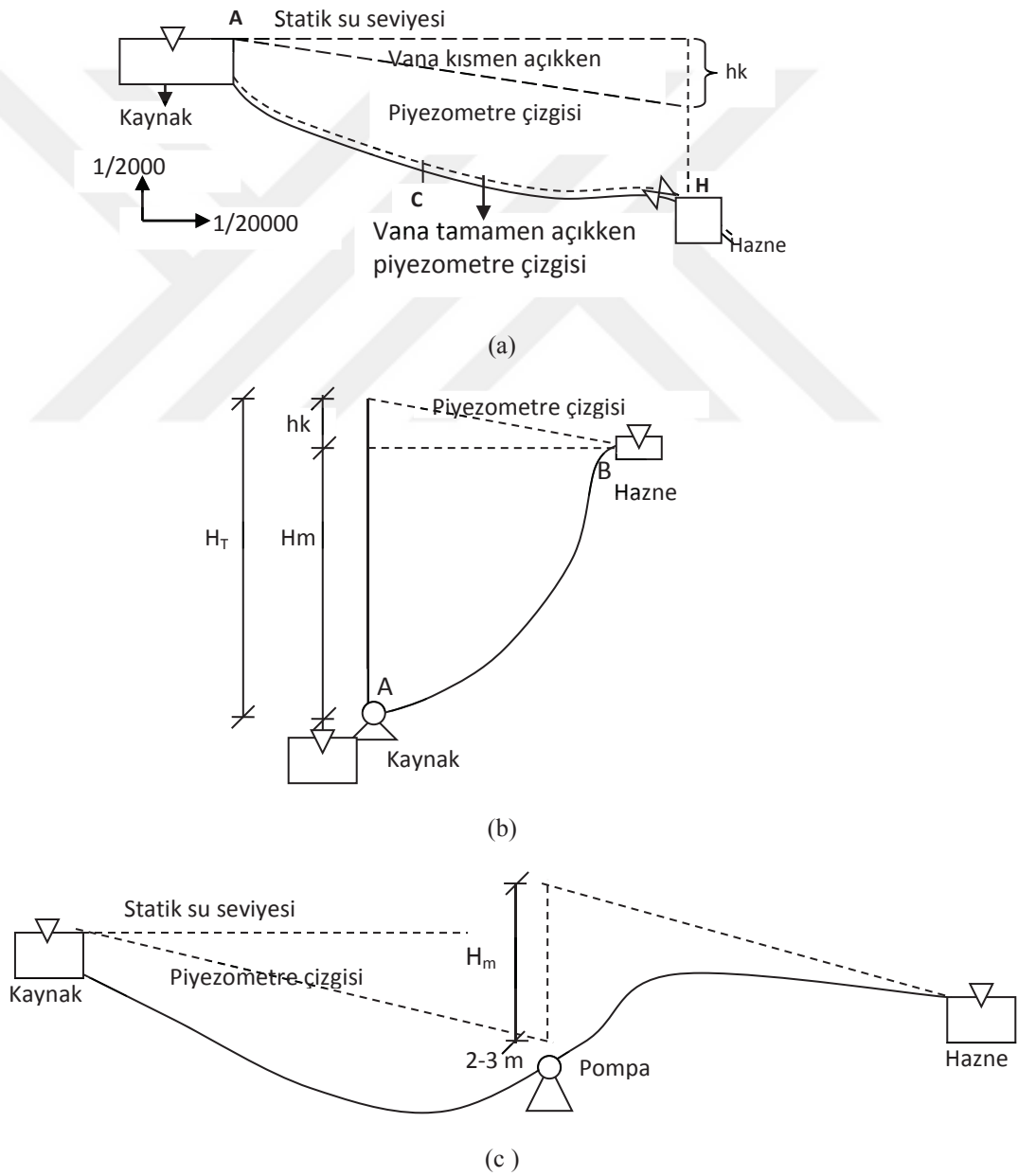
Suların kaptaj tesisinden depoya (hazneye) iletilmesine suların isalesi (iletimi) denir. Bu işlemin gerçekleşmesi için döşenen borulara isale (iletim) hattı denir. Sular, kaynağın durumuna göre üç şekilde iletilirler. Birinci durumda kaynak yüksek kotta hazne düşük kotta ise buna suların cazibeli iletimi denir (Şekil 2.1.a.). Kaynak düşük kotta hazne yüksek kotta ise buna terfili isale denir (Şekil 2.1.b.). Bu iki durumun birlikte olduğu iletime ise karışık iletim denir (Şekil 2.1.c.) [5].

#### **2.1.2. İçme suyu şebekeleri**

İsale hattı ile bölgeye haznelere getirilen su boru ağı oluşturularak dağıtılır. İsale hattından kullanım yerlerine dağıtan bu boru sistemlerine içmesuyu şebekesi adı verilir. İçme suyu şebekeleri, su dağıtım sistemlerinde su haznelerinden sonra gelen parçasını oluşturur. İçme suyu şebekeleri iskan planına göre Ağ modeli ve Dal modeli yöntemiyle iki farklı şekilde tasarlanmaktadır [6].

### 2.1.2.1. Dal modeli

Bu modelde borular birbiriyle birleşmeden bir ağacın dallarına benzer şekilde meskûn alana dağıtılmaktadır. Bu model genellikle yerleşim alanlarının sahil kesimlerinde, dağ yamaçları ile deniz arasında kalmış alanlarda ve kenar semtlerde, şerit şeklinde uzanan iskân bölgelerinde tercih edilir. Bu alanlarda sokaklar veya caddeler birbiri ile kesişmediğinden, su hatlarının ağ şeklinde birleşmesi mümkün olmamaktadır [7].

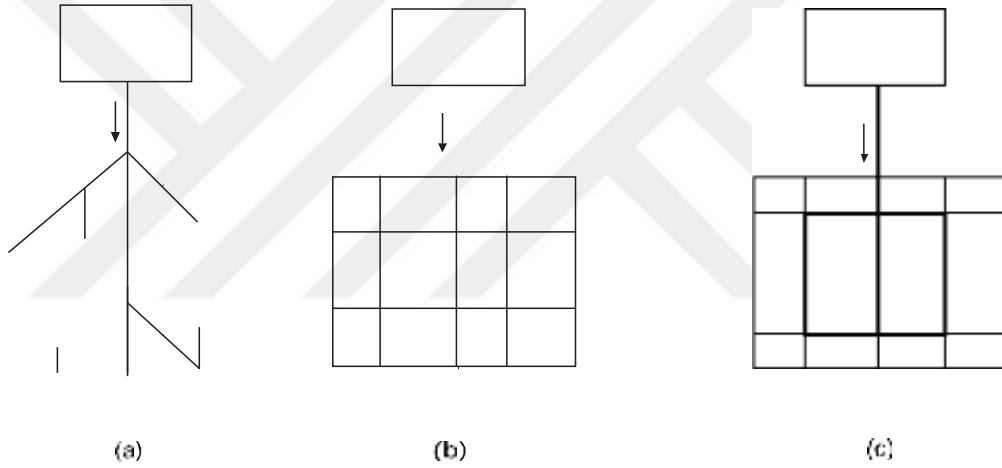


Şekil 2.1: Suların isalesi (iletimi) [7].

### 2.1.2.2. Ağ modeli veya çok yönlü su şebekesi

Bu modelde bütün su hatları birbirleriyle birleştiğinden bölgede fiziki ölü nokta oluşmamaktadır (Şekil 2.5 b ve c). Ağ modelinde su şebekesi, bir ana su dağıtım hattından su alacak şekilde tasarlanabileceği gibi, bu amaçla bir daire de teşkil edilebilir (Şekil 2.5b. ve c). Ana şebeke besleme hattından çıkan bir ağ sisteminde şehrin su ihtiyaçlarından kaynaklı su basınçların sürekli değişmesini önler. Ağ sistemi şehrin sanayi ve endüstri bölgelerinde tercih edilir.

Ağ modelinde, suyun su hattı içerisinde tamamen dağılması nedeniyle debinin sıfır olduğu efektif (zahiri) ölü noktalar oluşur [7].



Şekil 2.2: a. Dal şebeke modeli b. Ana dağıtım borusundan su alan ağ şebeke modeli c. Halka şeklinde tasarlanmış ağ şebeke modeli.

## 2.2. İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Boru Çeşitleri

### 2.2.1. Çelik borular

İsale Hatlarının yüksek basınç altındaki kısımlarında daha ziyade çelik borular kullanılır. Şebekenin özellikle son noktalarında su olmadığı kısımlarında paslanma oluşturacağından çelik boruların şebekede kullanılması tavsiye edilmez. Çelik borular kısa zamanda döşenir. Heyelan bölgeleri için çok elverişlidirler ve Hafiftirler. Basıncın sık değiştiği isale hatlarında taşınma ve nakliyesi kolay ve daha ucuzdur.

Eğilme kabiliyetleri büyüktür bu yüzden oturmaya ve darbeye karşı mukavimdirler. Font borulara göre imali daha kolaydır. Su ve zeminin aşındırıcı etkilerine karşı hassastırlar. Bu sebeple çelik boruların izole edilmesi gerekir. Çelik borular dış basınçlara karşı mukavemetsizdirler. Korozyona karşı iç izolasyonda bitüm, çimento harcı ve plastik kaplama kullanır. Kusursuz bir izolasyon yapmak gerekiyorsa katodik koruma yapılmalıdır. İçi çimento, dışı bitüm kaplı, katodik korumalı, spiral kaynaklı çelik borular su iletiminde yaygın olarak kullanılır. 600 mm'ye kadar dikişsiz imal edilebilirler. 300-3000 mm arasındaki çaplarda çelik levhalar spiral şeklinde bükülüp kaynak dikişi ile birleştirilebilir. Boylar küçük çaplarda 400 mm'ye kadar 6 m., büyük çaplarda 8 m., 12 m. hatta 16 m.'ye kadar imal edilirler [6].

### **2.2.2. Asbestli çimento borular**

Asbest elyafı, su ve çimento karışımlarının yüksek basınç ortamında çelik bir çekirdek üzerine tabaka şeklinde sarılması ile imal edilirler. Kullanılan çimento ve asbest elyafının boru dayanıklılığı üzerinde önemli etkisi vardır. Asbest elyafı boruların fiziksel ve kimyasal dayanıklılığı yüksek derecede artırmaktadır. Maliyet açısından ucuzdurlar. Çapları 40-800 mm arasında değişir.

Asbest elyafı çimento boruların kimyasal mukavemeti yüksektir. Yapımında kolayca kesilebilir, işlenebilir, delinebilir. Şantiyede borular, testere ile istenilen uzunlukta kesilerek kısaltılabilir. Nispeten hafiftirler, dona karşı dayanıklıdırlar, sürtünme kayıpları düşüktür. Isı iletim katsayıları düşük olduğundan içlerindeki su ısınmaz. Bununla birlikte eğilme mukavemetleri zayıf, çarpmaya, darbelere karşı kırılğan ve sağlıksızdırlar. Heyelan bölgelerinde, deprem bölgelerinde ve dolma zeminlerde kullanılması uygun olmaz [6].

### **2.2.3. Beton ve betonarme borular**

Betonarme borular, beton ve betonarme çeliğinden dövme beton, savurma ve vibrasyonla hazırlanır. Bunlar ya yerinde dökülürler veya dışarıda imal edilip hendeğe döşenirler, ayrıca yüksek basınçlara dayanabilen ön gerilmeli betonarme borularda kullanılır. İsale hatlarında daha ziyade çelik gömleksiz ön gerilmeli beton

borular kullanılır. Bir beton çekirdek boyunca ön gerilmeli teller ile teçhiz edilir. Beton çekirdek santrifüj veya düşey metotla imal edilmektedir. Bu boruların boyları 4-6 m arasında değişir. Betonarme boruların sızdırmazlığını temin çok zordur. Basınçlı suların, sülfatlı suların, amonyaklı suların ve yumuşak suların betonarme borularda akıtılması tehlikelidir. Bu tür sular betonun bağlayıcı maddesi çimentoya ve çeliğe zarar verirler. İtinalı döşeme gerektirir. Darbe ve noktasal yüklemeye hassastır. Ağır montaj ve demontajı zordur. İşletme emniyeti birçok şarta bağlıdır. Ön gerilmeli betonarme borularda açılacak bir delik çevresel ön gerilim fonksiyonunu ortadan kaldıracaktır. Betonarme borular 10 kg/cm<sup>2</sup> basınçlara, ön gerilmeli betonarme borular 35 kg/cm<sup>2</sup> basınca kadar kullanılabilirler [5].

#### **2.2.4. PVC (Polivinilklorür) borular**

PVC, asetilen gazı ve klor gazından elde edilen maddenin polimerizasyonu ile imal edilirler. Malzeme asitlere karşı dayanıklıdır. Sıcaklık değişimine karşı çok hassastır. 5 °C'den küçük sıcaklıklarda döşenmek için taşınan boruların taşınması ve hendeğe yerleştirilmelerine dikkat edilmelidir. Çünkü bu sıcaklıklarda çarpmaya karşı mukavemetleri oldukça düşer. 10 kg/cm<sup>2</sup>-16 kg/cm<sup>2</sup> basınçlara dayanıklıdırlar. Çok uzun imal edilebilirler. Hafiftirler [9].

#### **2.2.5. Polietilen borular**

Polietilen borular, hafifçe eğilebilirler. Bu nedenle düşük çapları kangal şeklinde imal edilebilir. Korozyon tehlikesi yoktur. Asitlere karşı dayanıklıdır. Bu nedenle koruyucu sürülmez. Trafik yüklerine hassastır. Bu borularla oldukça yüksek basınçlar elde edilebilir. Özel parça ihtiyacı minimumdur. Havagazı borularının yanına, benzin istasyonlarını yanına, çürüme ve ayrışmanın olduğu zeminlere döşenmemelidir [9].

Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan polietilen (PE) hammadde gelişme sürecini devam ettiren, kullanım sahası devamlı artan bir polimerdir. Polietilen malzeme yoğunluklarına göre HDPE, LDPE, MDPE, LLDPE isimlerini

alır. Endüstriyel boru sistemlerinde ve evsel bağlantılarda bir çok avantaj sağlar. Hafif, sağlıklı, esnek olması, korozyon sorunu olmaması, sürtünme kayıplarının azlığı, kolaylıkla hat alabilme ve bağlantı yapabilme (işletme esnasında basınçlı hatlarda ancak özel makineler ile) avantajlarıdır. Boruları birleştirme de için özel ekleme parçasına ihtiyaç yoktur. Dirsek ve T parçası alın kaynağı ile üretilebilir. Birleşimleri alın kaynağı, elektrofüzyon kaynağı, köşe kaynağı ve flanşlı birleşme ile olabilmektedir PE -100 %2 -<sup>+</sup> 0,5 oranında çok ince taneli karbon siyahı içerir. Bu karbon siyah boruyu ultraviyole ışınlarına karşı 50 yıl korur. Yüksek yoğunluklu polietilen borular, büyük basınçlara dayanıklıdır ve uzun ömürlüdür. Ayrıca büyük çaplarda üretilebilirler [6].

#### **2.2.6. Cam takviyeli polyester borular**

Cam yününden elde edilirler. Korozyona karşı dirençlidirler. Büyük çaplarda taşınmaları kolaydır. Bu yüzden çelik borulara rakiptir. Pahalı montaj ekipmanı gerektirmez, döşenmesi kolay ve hızlıdır. Kireç tutmaz tortu oluşturmaz. İşletme güçlüğü yoktur. Beton boruların 1/10, çelik boruların ¼' ağırlığında ve iç içe geçirilerek taşınabildiğinden, taşıma, istifleme, depolama, yükleme avantajları söz konusudur. Nakliyeden önemli tasarruf sağlar. Daha düşük pompaj süresi sağlar. Dolayısıyla metal ve beton borularla kıyaslandığında aynı debiyi daha düşük çapla iletme imkanı verir. İçme suyu, deniz alt deşarjları, atıksularda, endüstriyel borulama sistemlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Son yıllarda isale hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek basınçlara dayanacak şekilde imal edilirler. 2400 mm çapa kadar imal edilebilmeleri mümkündür. Uzun ömürlüdürler (yaklaşık 100 yıl) [10].

## **BÖLÜM 3. SU KAYIPLARI VE TESPİT YÖNTEMLERİ**

### **3.1. Su Kayıpları**

#### **3.1.1. Su kayıplarının tanımı**

İçme suyu iletim hatlarındaki kayıplar; içme suyu hattına verilen su miktarı ile kullanıcıların izinli olarak tükettikleri su miktarı arasındaki fark olarak tanımlanabilir [7].

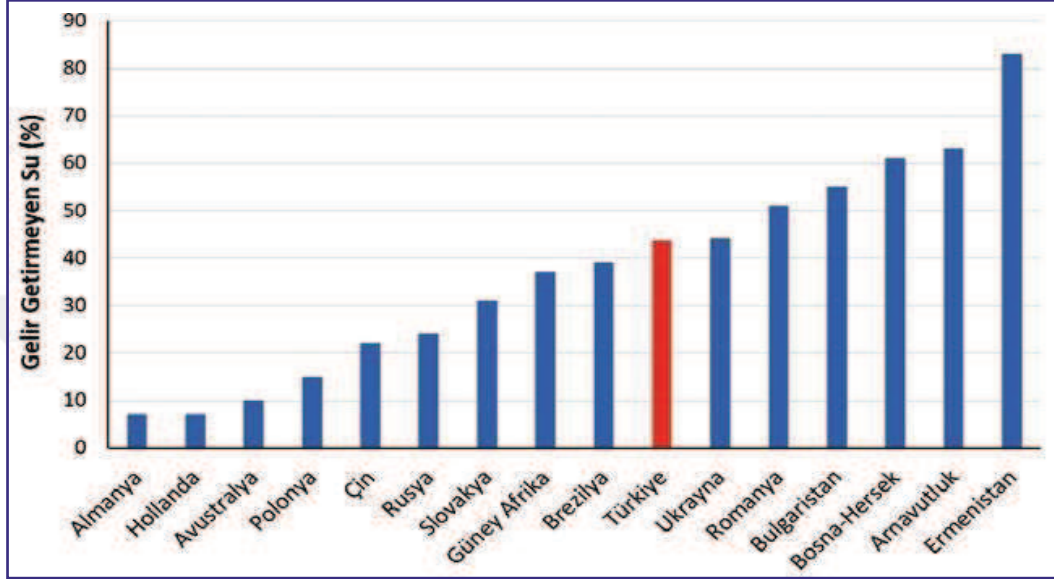
#### **3.1.2. Su kayıplarında ülkelerin durumu**

Fiziki ve idari su kayıplarının, toplam su kayıpları içindeki payları, ülkeden ülkeye büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Afrika kıtasındaki bazı ülkelerde izinsiz su tüketiminin yüksek olmasından ötürü idari su kayıplarının toplam su kayıplarına oranı diğer gelişmiş ülkelere göre daha yüksektir. Genel olarak, toplam su kayıplarının yaklaşık %60'lık kısmı fiziki su kayıpları ve yaklaşık %40'lık kısmı da idari su kayıplarından oluşmaktadır. Ülkemizde ise genellikle fiziki su kayıplarının miktarı idari su kayıplarına nazaran daha fazladır [11].

İçme ve kullanma amaçlı suyun nüfusa endeksli artan talebine karşılık, suyun müşteriye ulaşmadan iletim ve dağıtım hatlarında kaybolması, su kaynaklarına rağbeti artırmakta, suyun verimliliğini azaltmakta ve maddi olarak ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Su kaynakları üzerinde artan baskılar dikkate alındığında, su kayıplarının azaltılması verimlilik ve sürdürülebilir su yönetimi açısından özel bir önem taşımaktadır. Fiziki ve idari su kayıplarının ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermesinin nedenleri arasında ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin belirleyici bir etken olduğu görülmektedir. Gelişmiş ülkelerde içme suyu şebekelerindeki su kaybının %10-20 arasında değiştiği kabul edilmektedir.



Gelişmekte olan ülkelerde ise bu oranların çok daha büyük aralıklarda seyrettiği görülmektedir. Dünya Bankası'nın verilerine göre günlük yaklaşık 45 milyon m<sup>3</sup> su (yaklaşık 200 milyon insanın ihtiyacına karşılık gelen miktar) içme suyu şebekelerinde kaybolmaktadır (Şekil 3.1) [11].

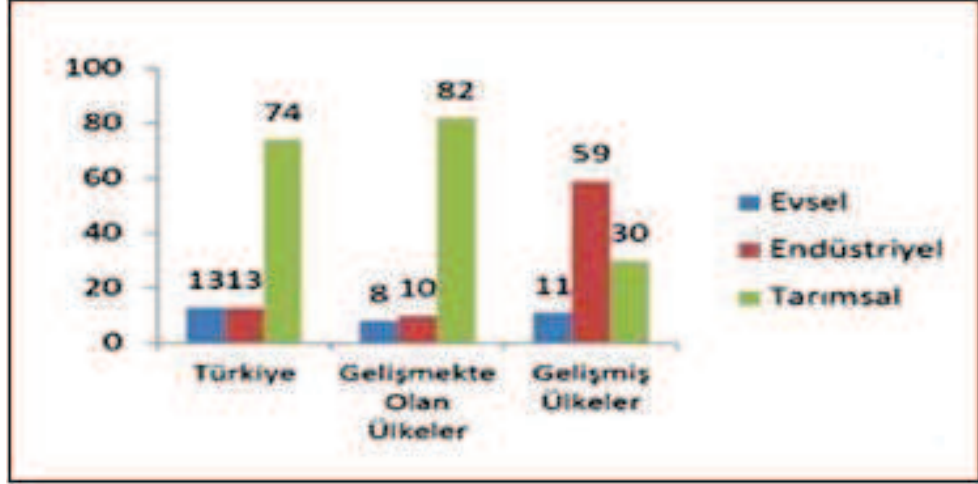


Şekil 3.1: 2010 Yılı İçin Bazı Ülkelerdeki Gelir Getirmeyen Su Seviyeleri [11].

Gelişmiş ülkelerde sızıntıların ana sebebi su şebekelerinin ortalama yaşlarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yıpranan şebekelerin sorunlu kısımları yenilense de, malzeme ve donanım ömürlerinin tamamlanmış olması nedeniyle bir süre sonra yeniden aynı sorunlar baş göstermektedir [11].

### 3.1.3. Türkiye'deki su kayıpları

Ülkemizin toplam kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su miktarının 112 milyar m<sup>3</sup> olduğu ve bu miktarın 54 milyar m<sup>3</sup>'ünün kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bu miktarda kullanılabilir suyun 40 milyar m<sup>3</sup>'ü tarımsal sulama, 7 milyar m<sup>3</sup>'ü içme-kullanma suyu, 7 milyar m<sup>3</sup>'ü ise endüstriyel su ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. Tüketilen suyun 39 milyar m<sup>3</sup>'ü yerüstü sularından ve 15 milyar m<sup>3</sup>'ü yeraltı sularından sağlanmakta olup sırasıyla %72,2 ve %27,8 oranlarına denk gelmektedir. Suyun sektörlere göre kullanım oranları ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ile orantılı olarak değişmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Türkiye’de Sektörel Su Tüketimi (%) [11].

Ülkemizde 2017 yılı nüfusu 81 milyon iken kişi başı 1.383 m<sup>3</sup> olarak hesaplanan yıllık su miktarının, 2023 yılında nüfusun 87 milyon olduğu kabulüyle 1.287 m<sup>3</sup>’e düşeceği öngörülmektedir. Bu değerler, su stresi yaşayan bir ülke olduğumuza işaret etmektedir. Kişi başına düşen suyumuzun 2050 yılında 1.069 m<sup>3</sup>, 2070 yılında da 1.040 m<sup>3</sup> olması beklenmektedir. Bu değerler, ülkemizin gelecekte su kıtlığı yaşayacağını göstermektedir [1].

#### 3.1.4. Su kayıplarının nedenleri

Ülkemizde su kayıplarının yüksek oranlarda seyretmesinin başlıca nedenleri aşağıda verilmiştir:

- Uygun şartlarda yönetilemeyen, izleme ve kontrolü sağlanamayan şebekeler,
- Kullanım ömrünü tamamlamış ve/veya kalitesiz malzeme ve ekipmanlar,
- Altyapı yatırımlarına yeterli bütçe ayrılamaması,
- Diğer altyapı sistemlerinin inşa ve bakım-onarım çalışmaları esnasında oluşan fiziki hasarlar,
- Kayıt dışı kullanımlar,
- Teknik bilgi eksikliği,
- Şebekenin takibi, tespiti ve bakım onarım çalışmalarının yetersizliği.
- Hidrolik model hataları ve yanlış malzeme seçimi,
- Yüksek basınç altında şebekenin çalıştırılması,

- Önleyici bakım onarımın zamanında yapılmaması,
- Boru hatlarının yanlış transa uygulaması ve yanlış dolgu uygulamaları (4,7,8).

### 3.1.5. Su kayıplarının sınıflandırılması

Suyun iletim ve dağıtım hatlarında kaybolma sebeplerini anlamak için hattın nasıl işletildiği ve sistemi gözden geçirilmelidir. Burada amaç altyapının mevcut durumuna, sistemin yönetim ve davranış şekline ilişkin sorunlara cevap aranmalıdır. Bu gözden geçirme ile:

- Sistem hakkında bilgi, (örneğin hizmet götürülen nüfus miktarı, iletim hattı uzunlukları, topografya, tipik talep, kaynak yönetimi... vb.),
- Patlama sıklığı dâhil sistemin durumu,
- Mevcut kaçak seviyesinin tespiti,
- Müşteri sayaçlarının okunması,
- Faturalama verileri,
- Maliyet bilgisi, yani su teminin de oluşan maliyeti,
- Kurumun uyguladığı kayıp kaçak ve onarım politikaları ile ilgili bilgileridir.

Su dengesi hesabı metodu en çok kullanılan kayıp kaçak tespit metodudur. Su dengesi, içme suyu şebekelerindeki su kaybı miktarının belirlenebilmesi için, üretilen, tüketilen ve kaybolan su miktarının ölçülmesi veya hesaplanmasını ifade eder. Orman ve Su İşleri Bakanlığı su kayıp kaçaklarını azaltarak tamamen kontrol altına almak için 08.05.2014 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği”ni yayınlamıştır. Bu yönetmelikle su bütçesi tablosu (Tablo 3.1) oluşturmuş ve bileşenlerini aşağıdaki şekilde açıklamıştır.

Tablo 3.1: Su Bütçesi Tablosu (Bütçe Dönemi Genellikle Yıllık Alınır) [13].

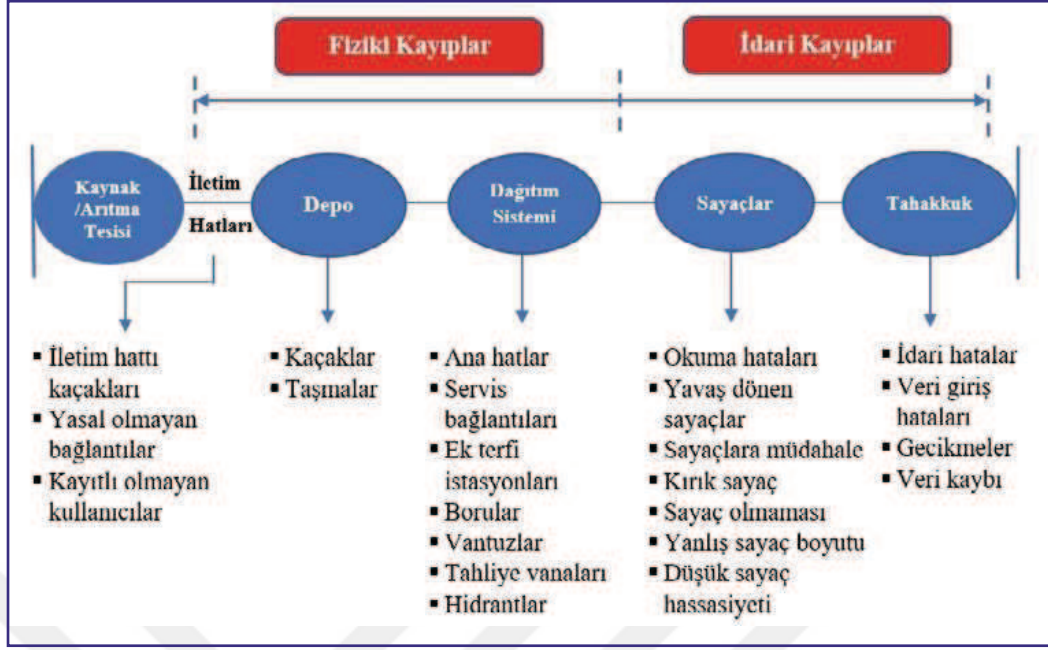
Sisteme Giren Su Miktarı m <sup>3</sup> /yıl (...%)	İzinli Tüketim m <sup>3</sup> /yıl (...%)	Faturalandırılmış İzinli Tüketim m <sup>3</sup> /yıl (...%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım m <sup>3</sup> /yıl (...%)	Gelir Getiren Su Miktarı m <sup>3</sup> /yıl (...%)	
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş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

- Sisteme Giren Su Miktarı: Kaynaktan çekilerek su alma yapısı vasıtası ile ve/veya içme suyu arıtma tesisinden sisteme verilen su miktarıdır.
- İzinli Tüketim
- Faturalandırılmış İzinli Tüketim
- Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım: Su idaresinde abone olarak kaydı ve sayaç bağlantısı bulunan, düzenli olarak ölçülerek faturalandırılması yapılan abonelerin kullandığı su miktarını ifade eder.
- Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım: Ölçümü yapılmamış ancak tahmini olarak veya varsa standartlara göre hesaplanmış ve faturalandırılmış tüketim miktarını ifade eder (örneğin bir müşteri sayacının bozulması, bakım-onarımı hallerinde çalışır durumda olmadığı dönemde, abonenin diğer aylardaki kullanımını göz önünde bulundurularak veya idarenin bu kapsamda geliştirdiği bir standart doğrultusunda tahmini olarak faturalandırılması).
- Faturalandırılmamış İzinli Tüketim: Ölçülmüş ancak izinli olarak faturalandırılmamış tüketim ile izinli olarak hem ölçümü hem de faturalandırılması yapılmamış bağlantılardan kaynaklanan toplam tüketimden oluşur.

- Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım: Su idaresinde abone olarak kaydı ve sayaç bağlantısı bulunan ve su tüketim ölçümleri yapılan, ancak idarenin bilgisi dahilinde izinli olarak faturalandırma yapılmayan abonelerin (cami, vs.) kullandığı su miktarını ifade eder.
- Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım: Su idaresince şebekeye bağlantısı sağlanmış, ancak idarenin bilgisi dâhilinde ölçüm ve dolayısı ile faturalandırma yapılmayan bağlantılardan (park, bahçe vs.) kullanılan su miktarını ifade eder.
- Su Kayıpları: Şebeke giriş hacmi ile izinli tüketim arasındaki farktır. İdari kayıplar ve fiziki kayıpların toplamından oluşan su miktarını ifade eder.
- İdari Kayıplar: Sayaç ve okuma hataları ile kayıt hatalarından ve izinsiz tüketimden kaynaklanan su kayıpları miktarını ifade eder.
- İzinsiz Tüketim: İdarenin bilgisi dışında, yasal olmayan bağlantılar ve sayaçlara müdahale yolu ile yasadışı kullanılan su miktarını ifade eder.
- Sayaçlardaki Ölçüm Hataları: Sayaçların üretimi ile ilişkili bütün hata tipleri ve sayaçların yaşı, modeli, çeşidinden kaynaklanan hatalardan, aynı zamanda veri işleme hatalarından (sayaç okuma ve faturalama) kaynaklanan su tüketimini ifade eder.
- Fiziki Kayıplar: İçme suyu temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarındaki kaçaklar ile depolarda meydana gelen kaçak ve taşmaların toplamından meydana gelir.
- Temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp-kaçaklar: Sistemde ihbar edilmiş veya edilmemiş patlamalar, boru ve teçhizattaki belirsiz kaçaklar, boru çatlakları, vanalardan gelen kaçaklar, abone bağlantıları ve servis depolarında meydana gelen her türlü sızıntı ve patlama yoluyla kaybolan su miktarını ifade eder [13].

### **3.2. Su Kayıpları Tespit Yöntemleri**

İçme ve kullanma suyu iletim hatlarında görülen su kayıpları fiziki ve idari su kayıpları olmak üzere iki gruba ayrılmakta; bu iki kayıp miktarının toplamı ise toplam su kaybı olarak ifade edilmektedir ( Şekil-1).



Şekil 3.3: Su temin ve dağıtım sistemlerinde oluşan tipik su kayıpları [11].

### 3.2.1. İdari kayıplar ve tespit yöntemleri

#### 3.2.1.1. İdari kayıpların tanımı

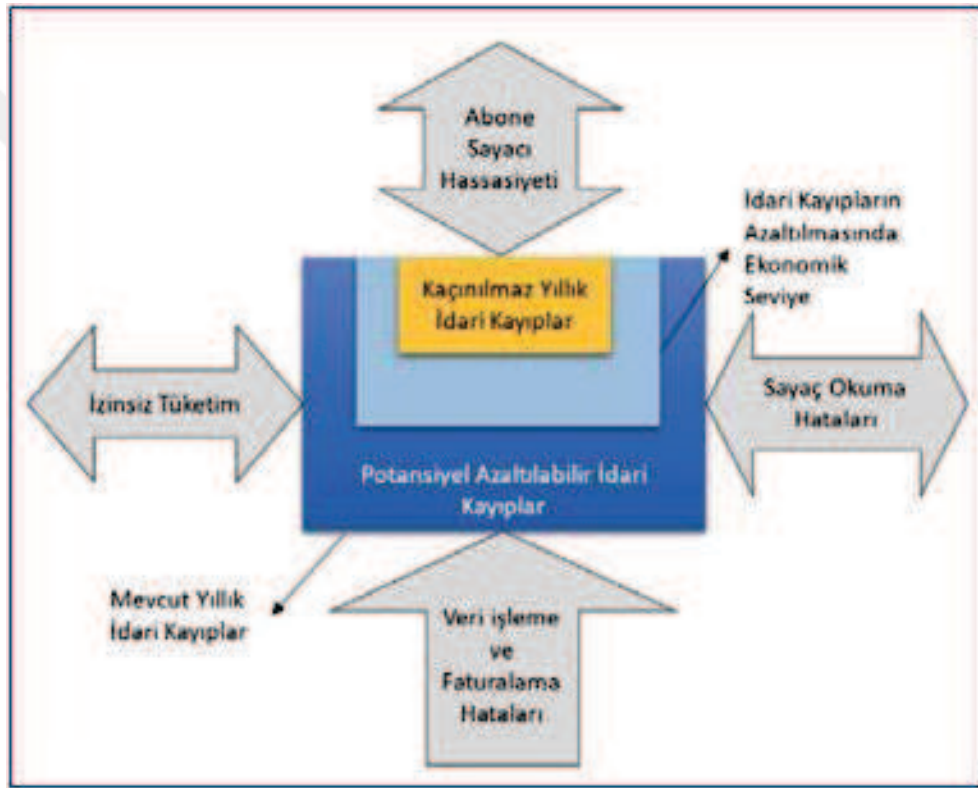
İdari kayıplar: İdari (Ticari) kayıplar izinsiz veya ölçülmemiş kullanım ile su sayaçlarının hassasiyetlerinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Fiziksel su kayıplardan farkı, tüketilen su kullanıma karşın gelir olarak girmeyen (ücretlendirilmemiş) sudur. Fiziki kayıplara göre tespit edilmesi ve denetim altında tutulması kolaydır [14].

#### 3.2.1.2. İdari (Ticari) kayıplar tespit yöntemi

İdari kayıplar dört temel grupta ele alınır; bu gruplar:

- Abone sayacı ölçüm hassasiyeti ve doğru sayaç seçimi
- İzinsiz tüketim
- Sayaç endeks okuma hataları
- Veri işleme ve faturalama hataları.

Su idareleri, idari kayıpların, izinli tüketimin %10'undan daha az olmasını hedeflemelidir. İdari kayıpların azaltılması düşük düzeyde ve kısa geri ödeme süreli yatırımları gerektirmekte ise de sürekli bir idari taahhüt, politik istek ve toplum desteğine ihtiyaç vardır. Su idareleri, su kayıplarını azaltma çalışmalarına öncelikli olarak idari kayıpları azaltmayla başlamalıdır. Bu çalışmalar hem az çaba ile gerçekleştirilmekte, hem de düşük maliyetli ve hızlı geri ödemeli olmaktadır. İdari kayıpların azaltılması için uygulanan dört temel faaliyet Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4: İdari kayıpların azaltılmasında uygulanan dört temel faaliyet [11].

### 3.2.1.3. Kaçak (İzinsiz) su kullanımı

Su aboneli olmadan veya paralel bir hatla (sayaçtan önce boruya yapılan bağlantılar) su sayacından geçmeyen kayıt altına alınmamış suları ifade eder. Bu şekilde tüketimlerin tespit edilebilmesi için; tüm abonelerin bina içi bağlantıların düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir [7].



İnşaat sahalarında suya ihtiyaç duyulduğundan, çevredeki yangın hidrantlarından kolaylıkla çalınabilir. Yangın hidrantarı mutlaka kontrol altında tutulmalı gerekirse sayaç takılmalıdır.

İnşaatı biten binaların iç tesisatları mutlaka kontrol edilmeli abonelik işlemleri takip edilmelidir [7].

#### **3.2.1.4. Sayaç ölçüm hataları**

Aboneler verilen suyun ölçülebilmesi için kullanılan sayaçlar zaman geçtikçe yavaş çalışma eğilimindedirler. Sürekli kullanıldıklarında bir süre sonra daha az sarfiyat yazarlar. Sayaç yenileme maliyeti, su idarelerini sarfiyatı % 100 kayıt altında tutmak için, yeterince sıklıkta sayaçları değiştirmesine engel olur. En yol sayaçları belirli zaman aralıkları belirlenerek yenilemektir.

Yenileme maliyeti değiştirilecek sayacın tip ve boyutuna, sayacın bulunduğu yere bağlıdır. Maliyetler değişimin sistematik değişim programının bir parçası olmasına veya zorunluluk hallerine göre değişir. Kayıp olan suyun maliyeti tahmini ortalama akış oranına, sayacın hassasiyetine ve suyun maliyetine bağlıdır.

Sayaçların hassasiyetleri (doğru ölçüm yapıp yapmadığı) test edilerek belirlenebilir. Küçük sayaçlarda (konut sayacı gibi), örnek sayaç sökölür ve doğruluk sınıfının belirlenmesi için kalibrasyon merkezlerine teste götürölür (boyut, tip ve yaşına göre gruplanır). Büyük sayaçlarda ise mümkünse test, yerinde gerçekleştirilir.

Bazı durumlarda sayaç mevcut kullanımdan daha büyük boyutta olabilir. Bu durumda, idarenin mevcut su kullanım oranını bulmak durumundadır (endüstriyel ve ticari abonelerin kendi yangın sistemleri olduğunda yangın suyunu kapsmalıdır). Veri kayıt edici kullanılarak akış oranı kayıt edilip abonelerin tüketim profili belirlenebilir.



Eğer su kullanımı sayacın uygun ölçüm aralığından düşükse, daha küçük sayaçla değiştirilmelidir. Eğer sayacın ölçüm aralığında daha üst değere ihtiyaç duyuluyor fakat akışın çoğu minimum doğruluk oranının altındaysa, daha geniş ölçüm aralığına sahip sayacı kullanmalıdır [8].

### **3.2.1.5. İzinli ölçülmeyen tüketimler**

Su idareler belediyeler, dini tesisler, sokak çeşmeleri, belediye havuzları ve fiskiyeler gibi bazı kullanımları ücretsiz olarak sunmaktadırlar. Ücretsiz kullanımlar idare tarafından verilen ayrıcalıktır. Yine de bu tip kullanımlarda sayaçla ölçülerek şebekedeki kayıpların belirlenebilmesi için hesaplarda kullanılmalıdır [7].

### **3.2.1.6. Yeşil alan sulamaları**

Yangın hidrantlarından kullanılan ana cadde sulamaları bir tek sulama için düşünüldüğünde yangın suyunda olduğu gibi kayıp suyun az bir kısmını oluşturur. Şehirlerde cadde yeşil alan sulamaları bir program dahilinde yaz aylarında yapılmaktadır. Sulama yapan ekip kullanılan suyu ve zamanı kaydederse bu iş için kullanılan su hesaplanabilir. Fakat tam ve doğru bir değere ulaşmak zordur. Sulama amaçlı kullanılan su şehirlerde tam olarak bilinmemektedir [7].

### **3.2.1.7. Yangın suyu**

Yangın mücadele için kullanılan bedelsiz su, üretilen suyun bir kısmının abonelere ulaşmadan kullanılması demektir. Bununla birlikte, toplam üretimin %1 veya 2'sini ancak oluşturmaktadır. Bu yüzden yüksek su kayıplarının ana nedeni değildir. Benzer şekilde, yangın hidrantlarından aralıklı kullanım da önemli miktarları oluşturmaz [7].

### **3.2.1.8. Tahliyeler**

Tahliyeler hattaki su kalitesini korumak adına son noktadaki bulanık suyun tahliyesi veya sudaki hızın düşmesinden kaynaklanan donmaların önlenmesi için vanalar yardımıyla yapılır. Tahliyeler gerektiği miktarda ve sadece su kalitesini korumak veya donmayı önlemek için yapılmadırlar. Suyun hızı ve kullanılan zamanın kayıt altına alınması idareye kayıp suyun miktarının hesaplanmasında yardım eder. En uygun olanı tahliyelerden kayıp olan su üretimin önemli bir kısmını oluşturduğunda önleyici birtakım çalışmalar yapmaktır. Seçenekler uzun süreli çalışmalardır. Bunlar son noktaların giderilmesi, eski boruların yenileri ile değiştirilmesi veya boruların uygun derinlikte döşenmesi gibi çalışmalardır [7].

### **3.2.2. Fiziki Kayıplar ve Tespit Yöntemleri**

#### **3.2.2.1. Fiziki kayıpların tanımı**

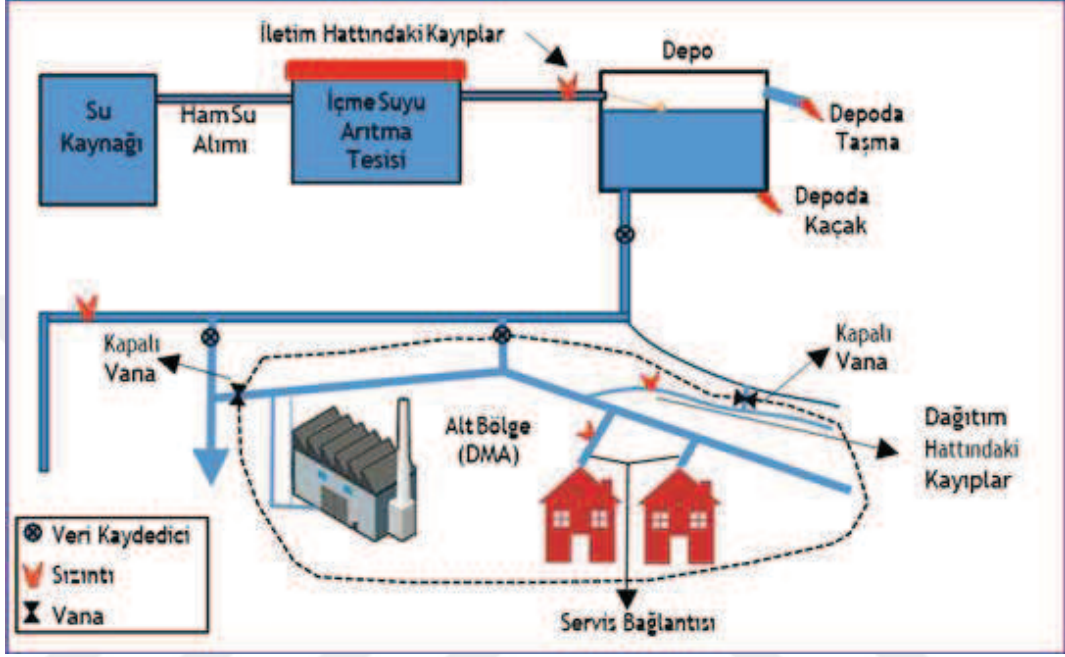
Fiziki su kayıpları, borularda ve bağlantı parçalarında meydana gelen kırık ve çatlaklardan, boru başı ve abone bağlantı hatalarından ve servis depolarından meydana gelen, tüketici sayacından önceki, kaçak ve taşmalardan kaynaklanan su kayıplarıdır.

#### **3.2.2.2. Fiziki kayıpların sebepleri**

İçme suyu dağıtım şebekelerindeki toplam su kayıplarının büyük bölümünü genellikle fiziki su kayıpları (gerçek kayıplar) oluşturmaktadır. Şekil 3.5’de tipik bir içme suyu temin ve dağıtım sistemindeki fiziki su kayıplarının oluşum noktaları gösterilmektedir. Fiziki kayıpların meydana gelme nedenleri:

- Kötü montaj, işçilik ve malzemeler,
- Montaj öncesi malzemelerin yanlış kullanımı,
- Yanlış dolgu,
- Kısa süreli basınçlar,
- Basınç dalgalanmaları,

- Aşırı basınç,
- Korozyon,
- Titreşim ve trafik yükü,
- Çevresel koşullar, soğuk hava gibi,
- Uygun olmayan planlama ve bakım eksikliği.



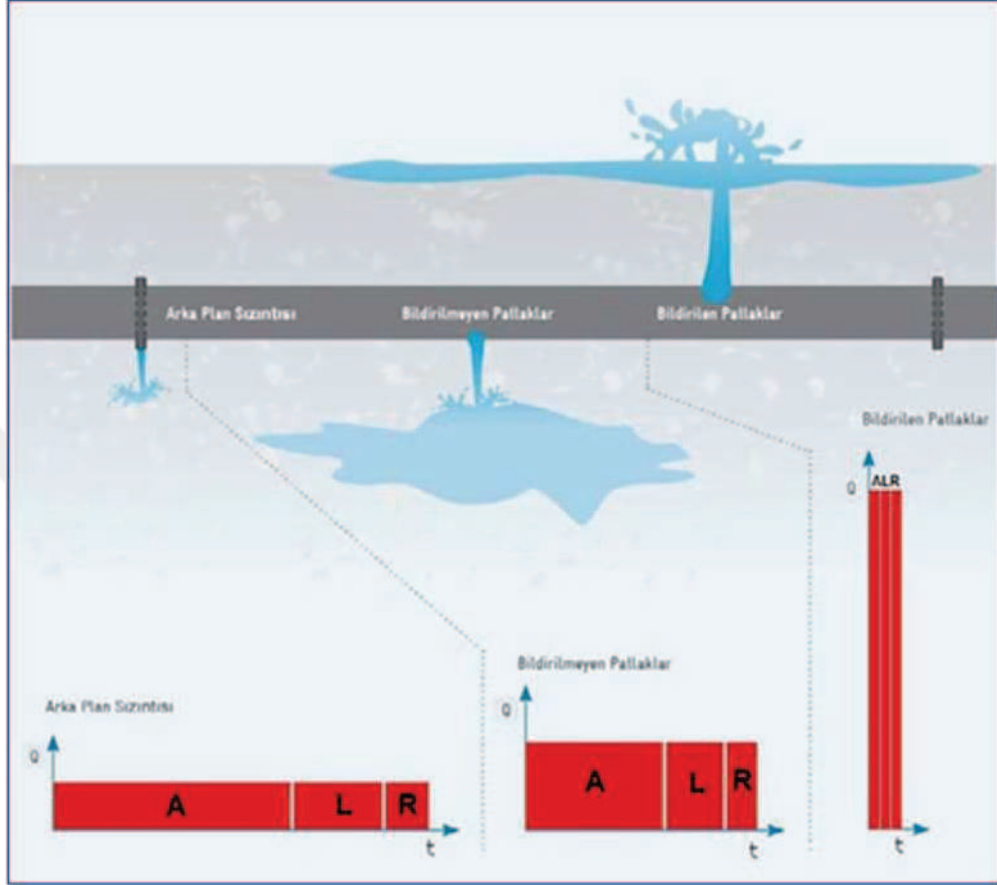
Şekil 3.5: İçme suyu temin ve dağıtım sistemindeki fiziki su kayıplarının oluşum noktaları [11].

### 3.2.2.3. Fiziki kayıpların çeşitleri

Gerçek( Fiziki ) kayıplar üç bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.6).

- 1- Bildirilen Patlaklar: Müşteriye rahatsızlık verdiklerinden dolayı,(basınç kaybı veya ikmal kesintisi) müşteri veya yardımcı personel tarafından bildirilmektedir.
- 2- Bildirilmeyen Patlaklar: Genellikle sızma şeklinde olur, yer üstünde görünmezler ve onlardan haberdar olmak için uzun bir çalışma süresi gerekir. Çalışanlar bu kaçakları aramak ve bulmak zorundadır.
- 3- Arka Plan Sızıntıları: Boru bağlantılarındaki küçük sızma ve süzölmelerin olduğu yerlerdir. Debileri çok çok düşüktür. Yalnızca ses dinleme cihazları

ile tespit edilebilirler. Bu tip kaçaqları azaltmanın yöntemi, basınç düzenleme veya boruların değiştirilmesidir.



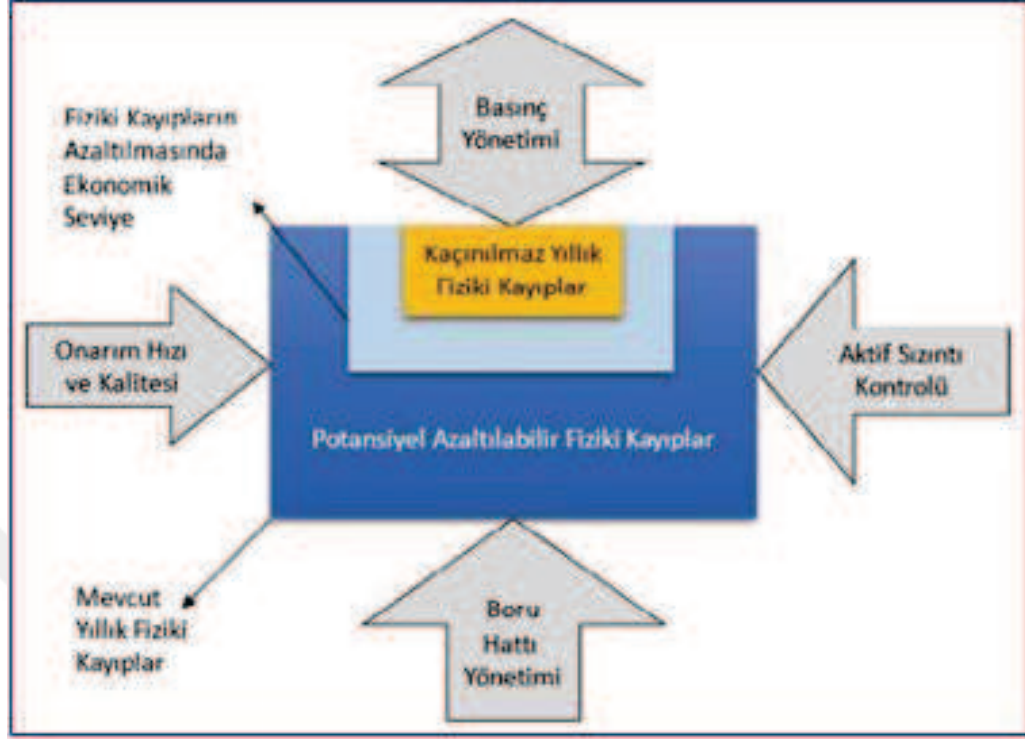
Şekil 3.6: Fiziki kayıp bileşenleri [11].

#### 3.2.2.4. Fiziki kayıpların yönetim stratejisi

Fiziki su kayıpları yönetim stratejisi içinde dört temel bileşen yer alır:

- Basınç yönetimi,
- Onarım hızı ve kalitesi,
- Aktif sızıntı kontrolü
- Boru hattı yönetimi

Şekil 3.7' de sunulan şekilde büyük mavi alan Potansiyel Azaltılabilir Fiziki Kayıplar olarak tanımlanır ve dağıtım şebekesi eskidikçe fiziki kayıplar artış gösterir. Ancak fiziki kayıplardaki artış hızı, fiziki su kayıpları yönetim stratejisinde yer alan dört temel bileşenin uygun şekilde birleşmesi ile sınırlandırılabilir.



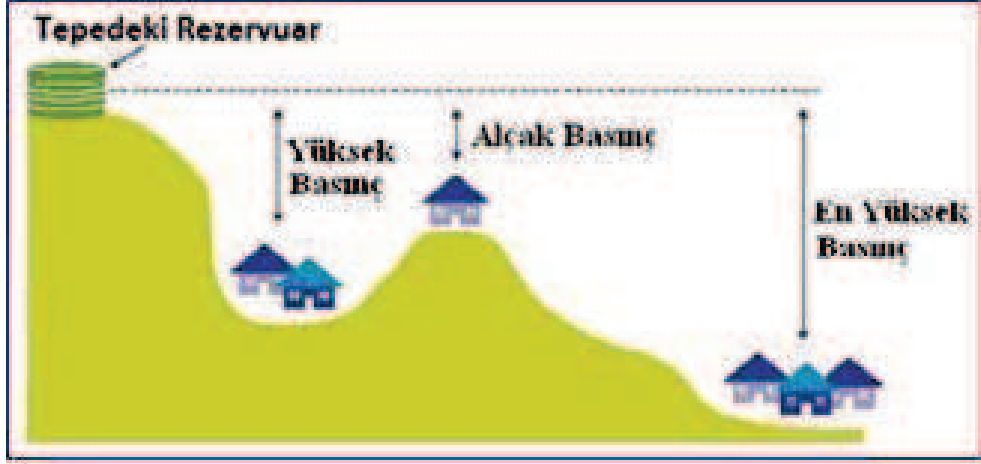
Şekil 3.7: Fiziki su kayıplarının yönetiminde uygulanan temel bileşenler [14].

Sunulan şekildeki sarı alan Kaçınılmaz Yıllık Fiziki Kayıplar olarak tanımlanır ve mevcut işletim basıncı için teknik olarak elde edilebilecek en düşük fiziki su kayıpları hacmini ifade eder. Yönetim stratejisi içinde yer alan dört temel bileşenin herhangi birinin güçlendirilmesi ile potansiyel azaltılabilir fiziki kayıplar azaltılır [14].

### 3.2.2.5. Basınç yönetimi

İçme suyu dağıtım şebekesindeki su basıncı, boru kotları, depo ve diğer şebeke elemanlarının kotları ile beraber terfi yüksekliği ve su tüketimindeki değişimlere bağlıdır. Su tüketimindeki değişimler, su hızının ve dolayısıyla hidrolik kayıpların değişmesine neden olur. Sonuç olarak, su basıncı mekânsal ve zamansal değişimler gösterir. Şebekenin bazı noktalarındaki su basıncı seviyesi, tüm yıl boyunca belirli limit değerleri aşabilir. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde içme suyu şebekeleri için topografik yapının

uygun olduğu yerlerde izin verilen maksimum statik su basıncı 60 metre su sütünu (mSS) olarak tanımlanmıştır [7].



Şekil 3.8: İçme suyu şebekesinin farklı bölümlerinde farklı basınç seviyeleri [11].

#### 3.2.2.6. Onarım hızı ve kalitesi

Herhangi bir sızıntı veya kaçak tespit edildiğinde, sızıntı veya kaçağa müdahale edilmeden geçen süre doğrudan fiziki kayıpların hacmini artırmaktadır. Bu nedenle, onarım işlemi mümkün olan en kısa sürede tamamlanmalıdır. Onarım kalitesi ise onarımın kalıcılığı açısından önemlidir [7].

#### 3.2.2.7. Boru hattı yönetimi

Boru hattı yönetimi, boru hattı için malzeme seçimi, montajı, bakımı, değişimi ve kazısız teknolojiler olmak üzere tüm yönetim ve işletim unsurlarını içerir. Kazısız teknolojiler, kısmen hasarlı olan borularda, boru iç yüzeyinin epoksi, beton veya polimer ile kaplanarak tamir edilmesini içerir. Özellikle tarihi değer taşıyan bölgeler, trafiğin ve yerleşim alanlarının yoğun olduğu yerler için uygundur. Boru hattı yönetimi, uzun vadeli ve ekonomik su kayıpları kontrolü açısından büyük önem taşımaktadır. Bu uygulamadaki temel amaç, su kayıpları kontrolünün en düşük maliyet ile gerçekleştirilmesidir. Boru hatları için onarım, yenileme ve mevcut durumda bırakılmasına yönelik kararların alınabilmesi için önceliklendirme çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Belirtilen seçenekler arasından seçim yapılırken, su kayıplarının kontrolüne yönelik olarak hem basınç yönetimi, hem de işletim ve

bakım sürecinin geliştirilmesi faaliyetleri de devam ettirilmelidir. Boru hattı yönetimindeki en kritik faktörler;

- Boru hatlarının mevcut durumdaki performansının anlaşılması,
- Gerekli verinin toplanması ve bu verilerin planlama amaçlı ihtiyaç duyulan faydalı bilgiye dönüştürülmesi
- İyi bilgi sistemlerinin kurulmasıdır [4,7].

### **3.2.2.8. Aktif sızıntı kontrolü**

Aktif sızıntı kontrolü, uygun maliyetli ve etkin su kayıpları yönetimi için hayati bir uygulamadır. Öncelikle şebeke birbirinden hidrolik olarak bağımsız izole alt bölgelere (DMA) ayrılmalıdır. DMA girişindeki debi, hassas bir debimetre ile ölçülmeli ve sürekli olarak kaydedilmelidir. Eğer su idaresinin SCADA sistemi var ise su debisi gerçek zamanlı olarak ölçülebilir. SCADA sistemi, boru patlaklarına bağlı olarak şebekede hızla yükselen ve belirli limit değerleri aşan debi seviyesi için alarm verir. Böylece, SCADA sistemi ile boru patlaklarının oluşumu hızlı bir şekilde belirlenebilir. Ek olarak, Minimum Gece Debisinin sürekli izlenmesi ile net gece debisi (sızıntı) miktarı tespit edilebilir. Net gece debisindeki artış, sızıntıların arttığını gösterir. Farkına varılan boru patlakları ve sızıntıların yer tespiti için akustik yöntemler kullanılabilir [8].

### **3.2.2.9. Akustik yöntemler**

Basınçlı bir ana hattan sızan su , belli frekans aralıklarında ses çıkarır ve sızıntı yerinden kaçan ve toprağa yayılan su jetinin neden olduğu bu sesler ve titreşimlerin olduğu yerde bir sısss... sesi çıkarır, bunlar toprakta yüzeye kadar her yöne yayılır ve borunun kendisi ve diğer bağlantılı metal parçalar (sürgülü vanalar, yangın muslukları, ev bağlantısı ...) tarafından da çok iyi şekilde nakledilir.

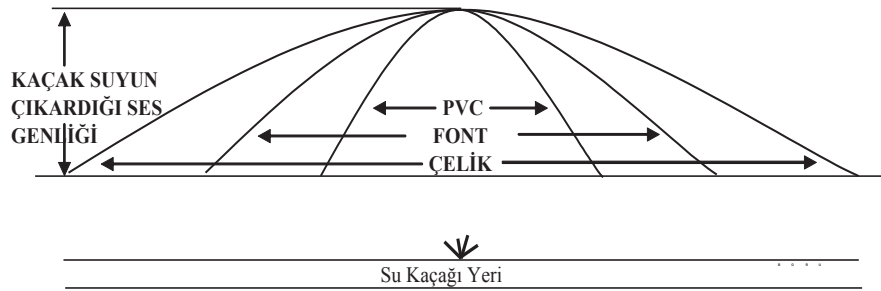
Bu sesler veya titreşimler elektrik enerjisini ses enerjisine (veya tersi de doğru) çeviren elektronik cihazlar (transducer = çevirici) tarafından veya bazı durumlarda basit mekanik cihazlar tarafından genliklerine ayırt edilerek alınır. Bir su kaçağının

ürettiği frekansların özel dağılımı sızıntıdan sızıntıya değişir ve aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır:

**Delğin boyu:** Yüksek basınç altında bir vana içindeki eksen miline sarılı sızdırmazlık urganından olacak bir kaçak üst frekans aralığında bir yüksek ses seviyesine neden olabilir, diğer taraftan çok daha büyük deliği olan daha düşük bir hıza sahip kırık bir boru hattı çok daha boğuk ses çıkaracaktır. Bunun anlamı şudur ; içinde kırığı olan bir ana boru hattı , daha küçük delik çaplı kırıkların olduğu yerdeki kaçaklara göre gerçekte cihazda daha düşük ses dalga şiddetleri (frekans aralığı) seçilerek araştırılır.

**Su basıncı:** Kontrol edilen borulardaki yüksek basınç, su kaçağı aranmasını kolaylaştırır, genellikle akustik su kaçağı arama kampanyasının başarılı bir şekilde yürütebilmek için borularda minimum 1,0 bar basınç olması gerekir.

**Boru malzemesi:** Ses dalgalarının iletkenliği ve bunların yayılma karakteristikleri boru hattının malzemesine bağlıdır(Şekil-2). İyi iletkenlik özelliğine sahip çelik borularda aynı kesiminde ses dalgasının şiddetindeki ölçülen değişikliği en düşük seviyededir. Metal olmayan borulardaki benzer kaçaklar ilk önce sadece kaçağın olduğu yere çok kısa mesafede araştırılabilir, bu nedenle kaçaklar aranırken daha yakın bir test mesafesi gerekir. Bununla birlikte, sonik (işitilebilir ses) su kaçağı arama teknikleri her malzemeden yapılmış borularda ve armatürlerde kullanılabilir.



Şekil 3.9: Farklı boru malzemeleri için sızıntı sesinin genliği [17].

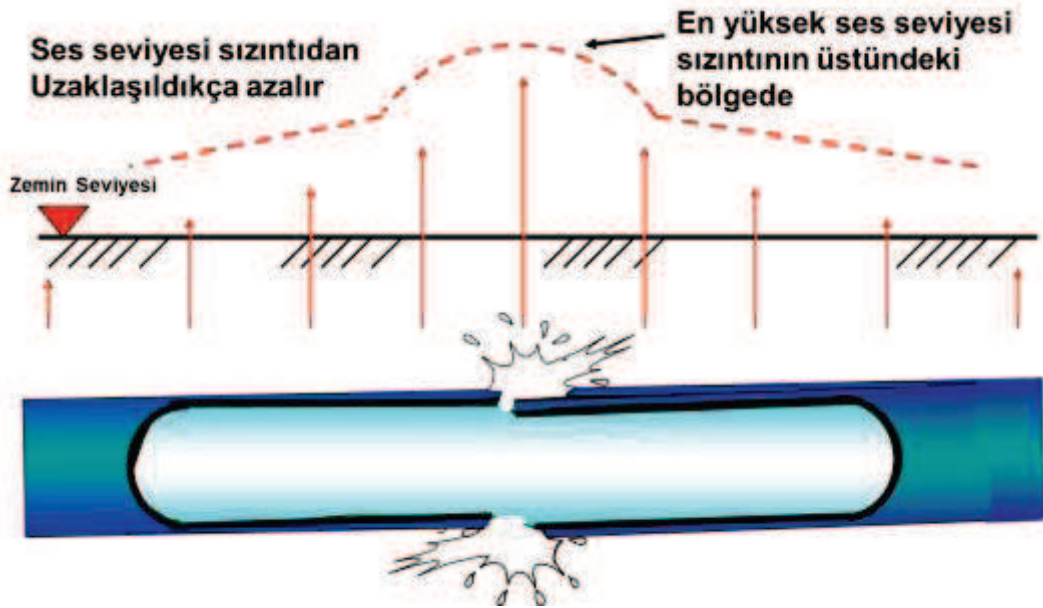
**Zemin türü:** Sızan suyun boşaldığı zeminin özelliği ve zeminin suya doymun olup olmaması araştırılabilir sızıntı sesini etkiler. Kum zeminler, ses için kilden daha iletkenler, yer mikrofونunun yerleştirildiği satıh kaplaması da su kaçağı arama işini



etkiler; misal olarak, beton üstüne asfalt kaplama üstünde yapılan ses dinlemede gelen su kaçağı sesi ile sadece asfalt kaplama üzerinde yapılan ses dinlemede gelen su kaçağı sesi tamamen farklıdır; sadece asfaltın her yönde ses yayılma özellikleri aynı ve dolayısıyla da dinlenen sesin de her yönde aynı (izotrop) olduğu düşünülür.

Su kaçağı sebebiyle oluşan ses dalgası, hem suyun karakteristiklerine hem de boru malzemesine bağlı olarak belli bir hızda boru içerisinde iletilir. Ses sızıntı yerinden uzaklaştıkça karakteristikleri hafifçe değişir, çünkü boşlukların veya diğer yeraltına gömülü boru veya boru armatürleri olması nedeniyle daha yüksek frekanslar üretilebilir.

Bir sızıntının belirlenmesi ve yer tespiti için en temel yöntem, basınç altındaki suyun borudan çıkışına ait sesin/gürültünün dinlenmesidir. Şekil 3.10'da borudan çıkan suyun ses dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Borudan çıkan suyun ses dağılımı.

Bu faaliyetin etkinliği sistem basıncı, sızıntının boyutu ve şekli, boru çapı ve malzemesine bağlıdır. Profesyonel ticari firmalar tarafından geliştirilen pek çok modern akustik ekipman (Şekil 3.11 Bazı Firmalara ait Akustik Ekipmanlar) ve yazılımlar mevcuttur.



Şekil 3.11: Firmalar tarafından geliştirilen modern akustik ekipmanlar.

Yaygın olarak kullanılan akustik ekipmanlar aşağıda listelenmektedir:

- Akustik kaydediciler
- Yer mikrofonu
- Dinleme çubuğu
- Sızıntı gürültü korelatörü

### 3.2.2.10. Akustik kaydediciler

Akustik kaydediciler, bir DMA içerisinde boru patlağı veya sızıntı olduğu şüphesi duyulan alanların daraltılmasında kullanılır. Genellikle 6, 12 veya 18 adet olarak gruplanan akustik kaydediciler sızıntı tespiti yapılacak alanda yerleştirilir. Bunun için her bir akustik kaydedici alanda bulunan hidrant, sayaç veya vanalar üzerine monte edilir.

### 3.2.2.11. Yer mikrofonu

Yer mikrofonları sızıntının neden olduğu sesi/gürültüyü elektronik olarak güçlendirir. Bu cihazlar temas veya izleme modunda kullanım için monte edilebilir. Temas modu bağlantı parçalarını dinlemek için kullanılır ve elektronik dinleme çubuklarına benzer. İzleme modu ise bağlantı parçaları arasındaki boru hatlarındaki sızıntıların aranmasında kullanılır.

Bu yöntemde yer mikrofonu boru hattı üzerinde belirli mesafelerde yerleştirilir ve sızıntı noktasına yaklaştıkça değişen gürültü düzeyi takip edilir. Akustik kaydediciler veya sızıntı gürültü korelatörü tarafından bir sızıntının varlığı belirlendiğinde, saha ekibi tarafından sızıntı noktası için yer tespiti yapılabilir. Şekil-3.12 SASKİ'ye ait yer mikrofonu ve yapılan uygulama görülmektedir.



Şekil 3.12: Yer mikrofonu ve uygulaması.

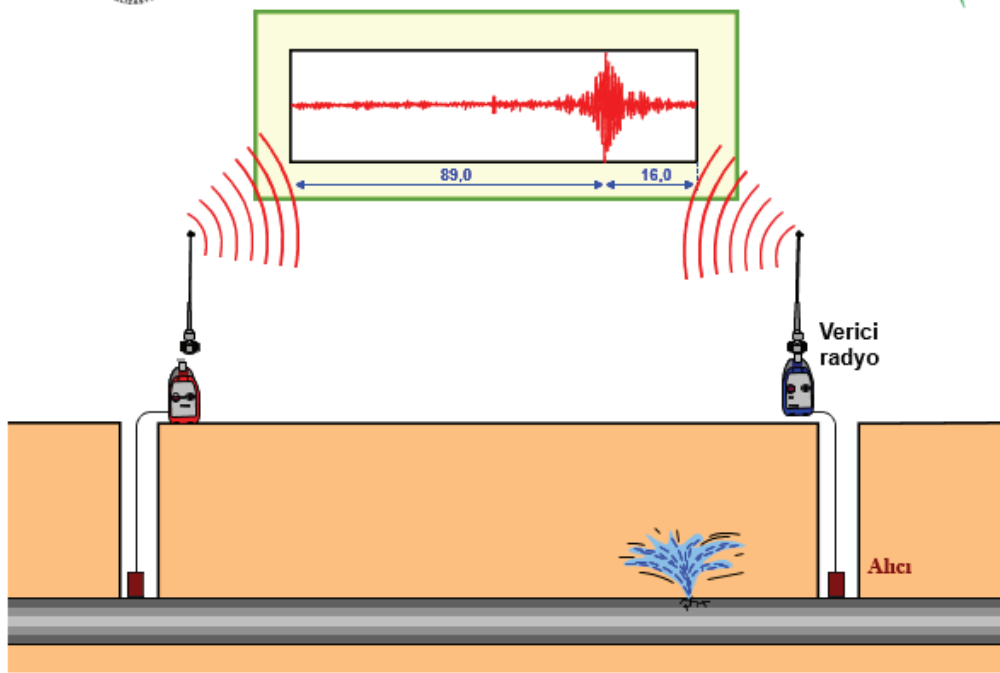
### 3.2.2.12. Dinleme çubuğu

Dinleme çubuğu veya “steteskop”, ahşap veya metalden yapılmış ve ucunda sesleri yükseltmeye yarayan bir parça bulunan, basit ve ucuz bir alettir. Sızıntı sesini dinlemek için saha ekibi tarafından yol yüzeyi veya doğrudan boru veya bağlantı parçaları üzerinde dinleme yapılabilir. Dinleme çubuğu bambu kamışı veya metal çubuk vb. kolay bulunan malzemelerden yapılabilir. Önceden sızıntı gürültü korelatörü ile tespit edilen bir sızıntı yerini sahada doğrulamak veya bir sızıntı

noktasındaki tamirin tam olarak yapılıp yapılmadığını kontrol etmek için sıklıkla dinleme çubukları kullanılır.

### 3.2.2.13. Sızıntı gürültü korelatörü

Korelatör cihazları, sızıntının neden olduğu gürültünün, boru içindeki muhtemel sızıntı noktasının her iki tarafındaki bağlantı parçalarına bağlanan iki mikrofona doğru hareket hızı kullanılır.(Şekil 3.13) Bu yöntemin başarısı sızıntıya bağlı gürültünün şiddetine ve boru malzemesinin ses iletkenliğine bağlıdır. Gelişmiş model gürültü korelatörlerinde frekans seçimi veya filtreleme yapılarak pek çok boru çapı için kolaylıkla 0,5 metre yakınlığa kadar sızıntı yeri tespiti yapılabilmektedir. Bu sistemin etkin çalışması için boru hattı boyunca yeterli sayıda dinleme noktalarının bulunması gereklidir.



Şekil 3.13: Korelatör.

Bu sistem için düşük maliyetli basit modeller de bulunmaktadır. Bu modellerde tek kanal radyo bağlantısı ve az sayıda fonksiyon vardır. Belirtilen modellerin kullanımı kolay ve pek çok durum için uygun olsa da uzun mesafelerdeki korelasyon çalışmaları için dezavantaj oluşturur.

## BÖLÜM 4. KORELASYON YÖNTEMİ

### 4.1. Korelasyonun Tanımı

Korelasyon, iki sayısal ölçüm arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını, varsa bu ilişkinin yönünü ve şiddetinin ne olduğunu belirlemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Verilerin normal dağılıma sahip olması durumunda Pearson korelasyon katsayısı, verilerin normal dağılmadığı durumda ise Spearman Rank korelasyon katsayısı tercih edilir. Bir korelasyon katsayısının yorumlanabilmesi için p değerinin 0.05 den daha küçük olması gerekir. Korelasyon katsayısı negatif ise iki değişken arasında ters ilişki vardır, yani "değişkenlerden biri artarken diğeri azalmaktadır" denir. Korelasyon katsayısı pozitif ise "değişkenlerden biri artarken diğeri de artmaktadır" denir.

Korelasyon katsayısı (r) nın;

$r < 0.20$  ise çok zayıf ilişki yada korelasyon yok

0.20-0.40 arasında ise zayıf korelasyon

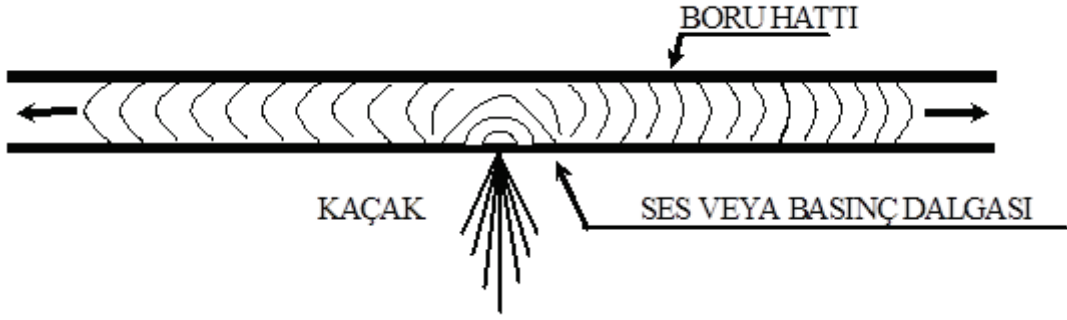
0.40-0.60 arasında ise orta şiddette korelasyon

0.60-0.80 arasında ise yüksek korelasyon

$0.80 >$  ise çok yüksek korelasyon olduğu yorumu yapılır [18].

### 4.2. Korelasyon Teknikleri Kullanılmak Suretiyle Kaçak Yerinin Tespiti

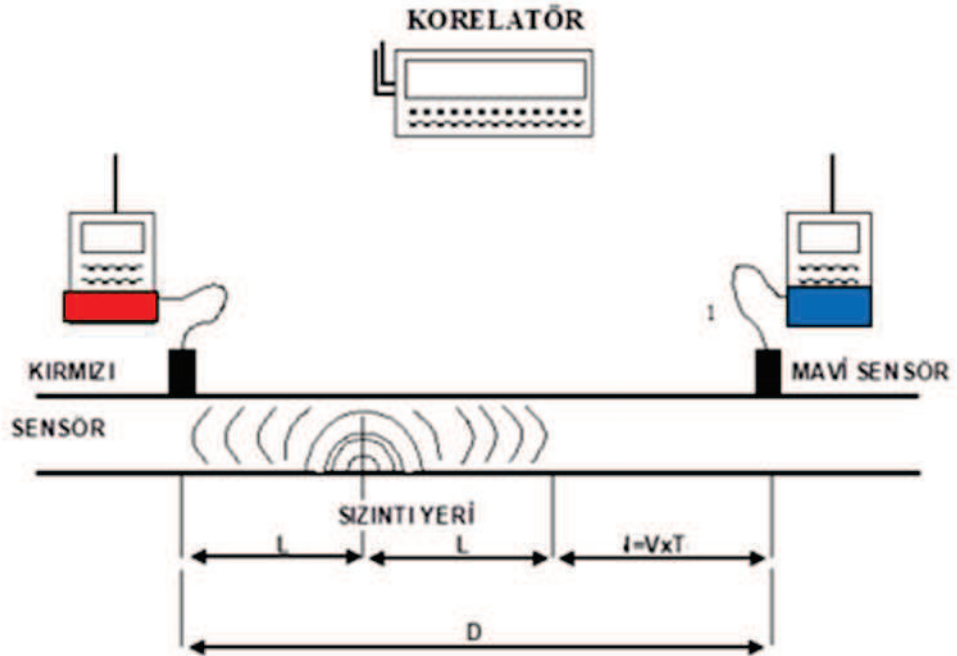
Boru hattından basınç altındaki bir sıvı kaçtığı zaman, çıkış noktasından itibaren boru içerisinde boydan boya gidip gelen bir ses basınç dalgası (sızıntı) sesi üretir (Şekil 4.1). Sesin boru içerisinde gidip gelmesi hızı, esasen boru çapına ve malzemesine bağlıdır.



Şekil 4.1: Sızıntı Sesinin Üzerinde Dağılımı [17].

Korelatör sensörleri, sızıntı olduğu tespit edilen su şebekesi üzerindeki buru vanalarına, yangın musluklarına veya borunun üzerine bağlanabilir.

Örnek bir diyagram ile gösterilecek olursa (Şekil 4.2), sızıntının bulunduğu hat üzerine bağlanan kırmızı ve mavi renkli sensörler, sızıntının çıkardığı ses dalgalarını (titreşimlerini) kayıt ederek kablo bağlantıları ile Korelatöre aktarır.



Şekil 4.2: Korelatör Çalışma Diyagramı [17].

Eğer kaçak iki sensörün tam ortasında ise, ses basınç dalgaları aynı anda hassas bir şekilde her bir sensöre ulaşacaktır. Bu teorik durumda, iki sinyal arasında zaman-farkı olmayacaktır. Diyagram, kaçığın kırmızı sensöre daha yakın olduğunu gösterir. Ses basınç dalgası önce kırmızı sensöre ulaşır ve korelasyon sistemi tam zamanı ölçer. Bu hassas anda, ses basınç dalgaları da mavi sensöre doğru L mesafesi kat etmiştir.

Korelatör artık ses dalgasının mavi sensöre ekstra N mesafesine ulaşması için zaman tespit eder. Bu ekstra gidiş süresi, kırmızı ve mavi sensörler ulaşan sinyaller arasında bir zaman-farkı yaratır. Zaman farkı Td olarak ifade edilir.

Suyun ve kullanılan boru malzemesinin yayılım hızı V bilindiği zaman, korelatör aşağıdaki formülü uygulayarak mesafeyi tespit edebilir:

$$\text{Mesafe} = \text{Hız} \times \text{Zaman}: ( D = V \times T ) \quad (4.1)$$

İki sensör arasındaki zaman farkını elde etmek için formül aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\text{Mesafe} = \text{Hız} \times \text{Zaman Farkı}: ( D = V \times T_d ) \quad (4.2)$$

N Mesafesi basitçe  $N = V \times T_d$  denklemiyle tespit edilir. Kırmızı ve mavi sensör arasındaki toplam mesafe, aşağıdaki denklemle bulunur:

$$D = 2L + ( V \times T_d ) \quad (4.3)$$

Kırmızı sensörle kaçak noktası arasındaki mesafe olan L'yi bulmak için, formül aşağıdaki şekle dönüştürülür:

$$L = D - ( V \times T_d )/2 \quad (4.4)$$

Böylelikle sensörleri arasındaki mesafeyi D ölçebilir, boru ebadı ve malzemesi bildiğinden V hızını tahmin edilebilir. Sonra, her bir sensöre ulaşan Td zaman farkı ölçülür ve bütün bu veriler gerçek kaçak durumunu veren L'yi hesaplamak için kullanılır.

Uygulamada, Korelatör cihazları programlanarak yazılım vasıtası ile hesaplamaları otomatik yapar [17].





## **BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOD**

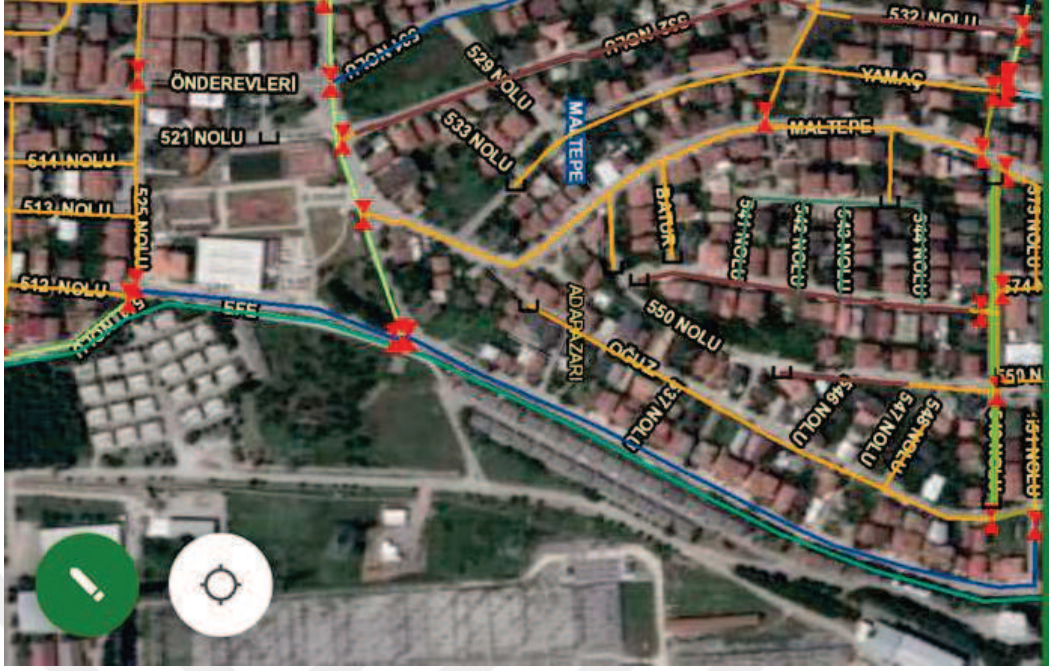
### **5.1. Materyal**

Bu çalışmada;

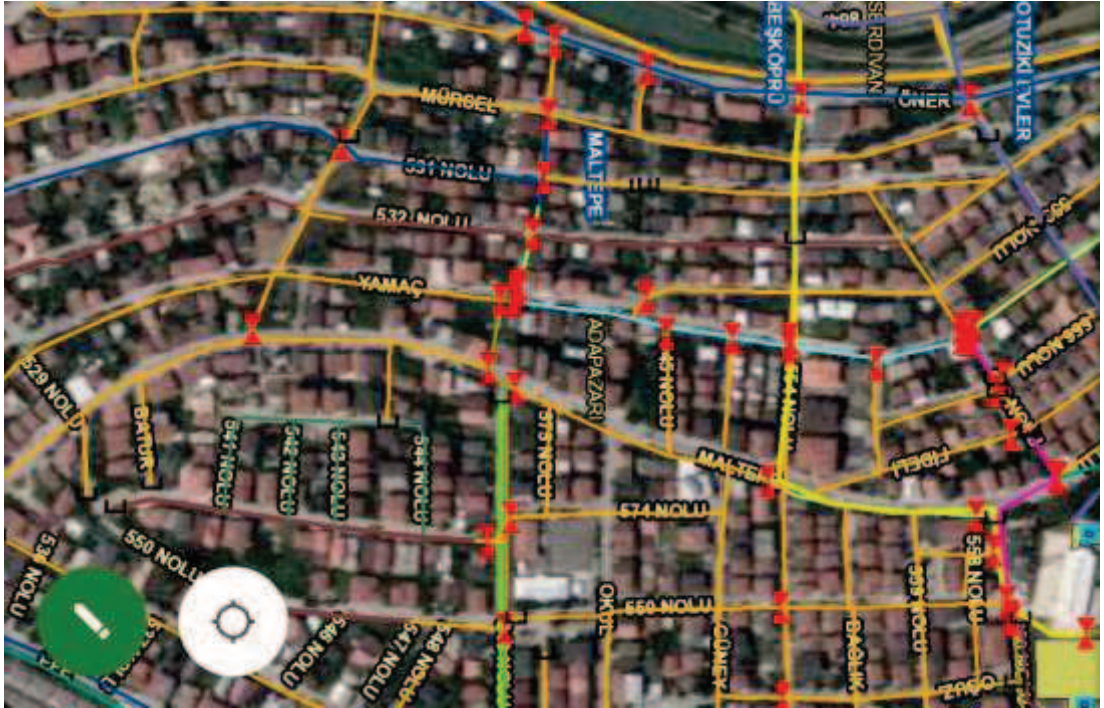
- Polietilen Boru,
- Asbestli Çimento boru,
- Vana,
- Yangın Hidrantı,
- Bilgisayar,
- HWM-Water (Halma Company) firmasına ait Soundsens marka ses kaydedici Korelatör çantası,
- 8 adet dinleme sensörü,
- Sensörlerin kayıt ettiği seslerin analizi yapan Türkçe menüli bir bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

### **5.2. Metod**

Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Kurumu (SASKİ) personeli tarafından SCADA ve Abone Bilgi Sistemine göre su kayıpların olduğu bilinen bölgelerde fizibilite çalışması yapılarak sensör yerleştirilecek noktaların ve kaç adet kullanılacağıının tespiti yapıldı (Şekil-5.1, Şekil-5.2).

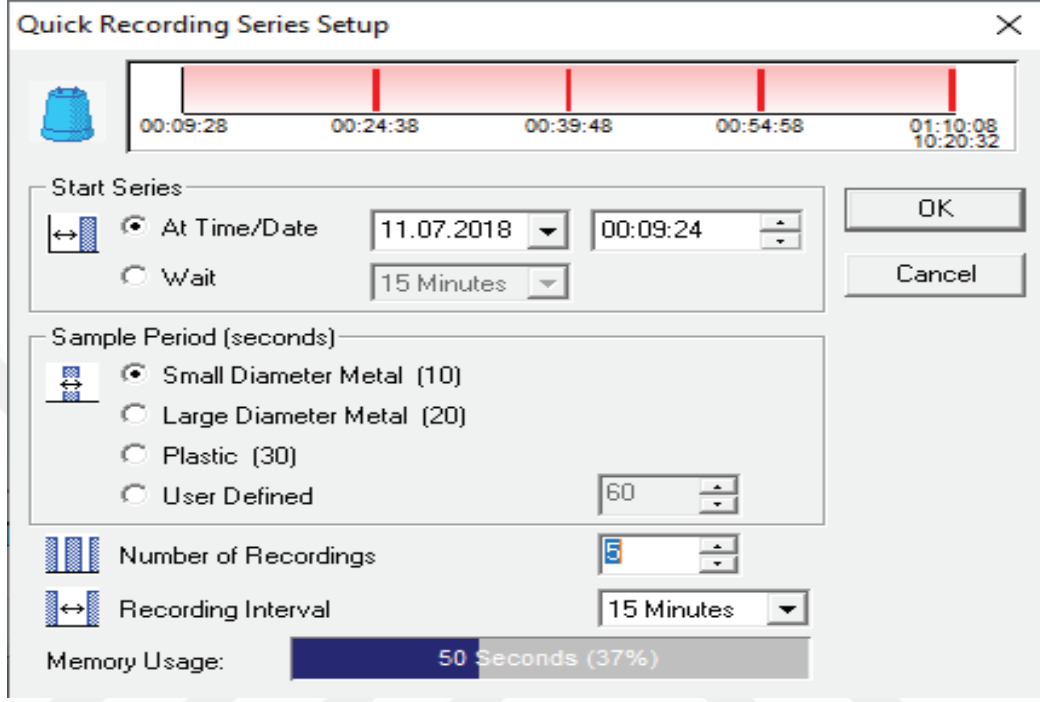


Şekil 5.1: Maltepe Mahallesi Efe Sokakta Bulunan Su Hattının Uydur Görüntüsü.



Şekil 5.2: Maltepe Mahallesi Yamaç Sokakta Bulunan Su Hattının Uydur Görüntüsü.

Boru malzemesi ve ortamın gürültü şartları göz önünde bulundurularak cihazın hangi saatler arasında (Tablo 5.3) ve kaç dakika aralıklar ile ne kadar kayıt alacağı planlandı.

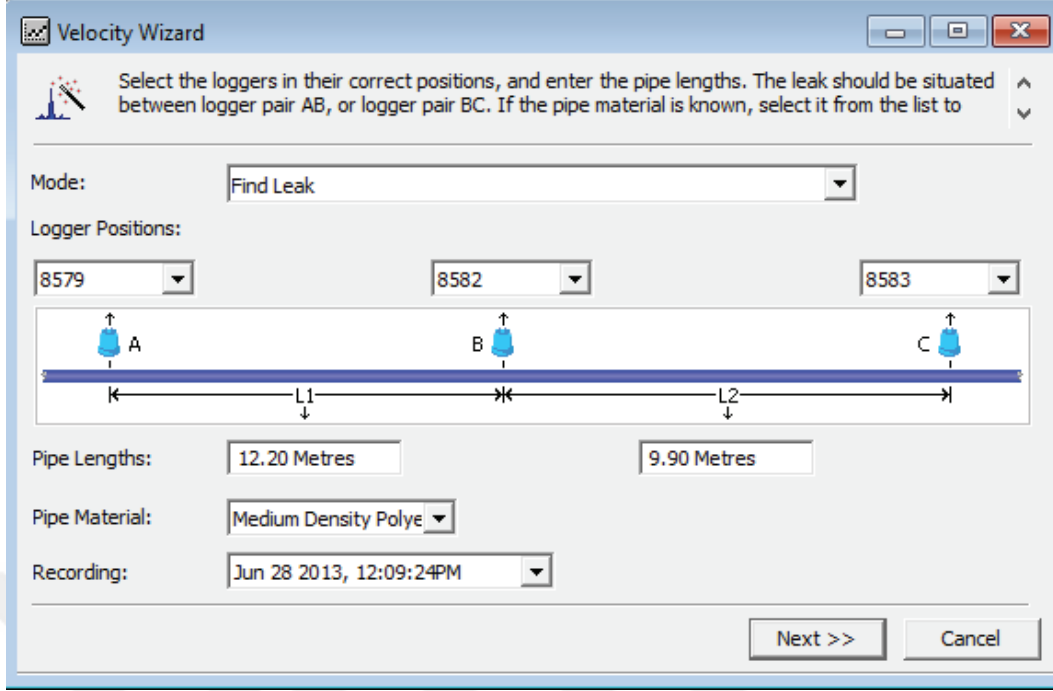


Şekil 5.3: Sensörlerin Planlandığı Arayüz Ekranı.

Bu planlamalar yapıldıktan sonra bilgisayar yazılımı yardımı ile kriterler belirlenerek sensörler programlandı. Programlanan sensörler su kaçak tespiti yapılacak bölgede vana buşakleleri açılarak vana tişi üzerine direkt vanaya temas edecek şekilde yerleştirildi. Vanaların müsait olmadığı durumlarda yangın hidrantları, yada direkt olarak boruya temas edecek şekilde sensörlerin yerleşimi yapıldı. Sensörlerin hangi noktaya hangi seri numaralı sensörün yerleştirildiği kayıt altına alınarak aynı hat üzerinde bir biri ardına konularak işlem tamamlandı.

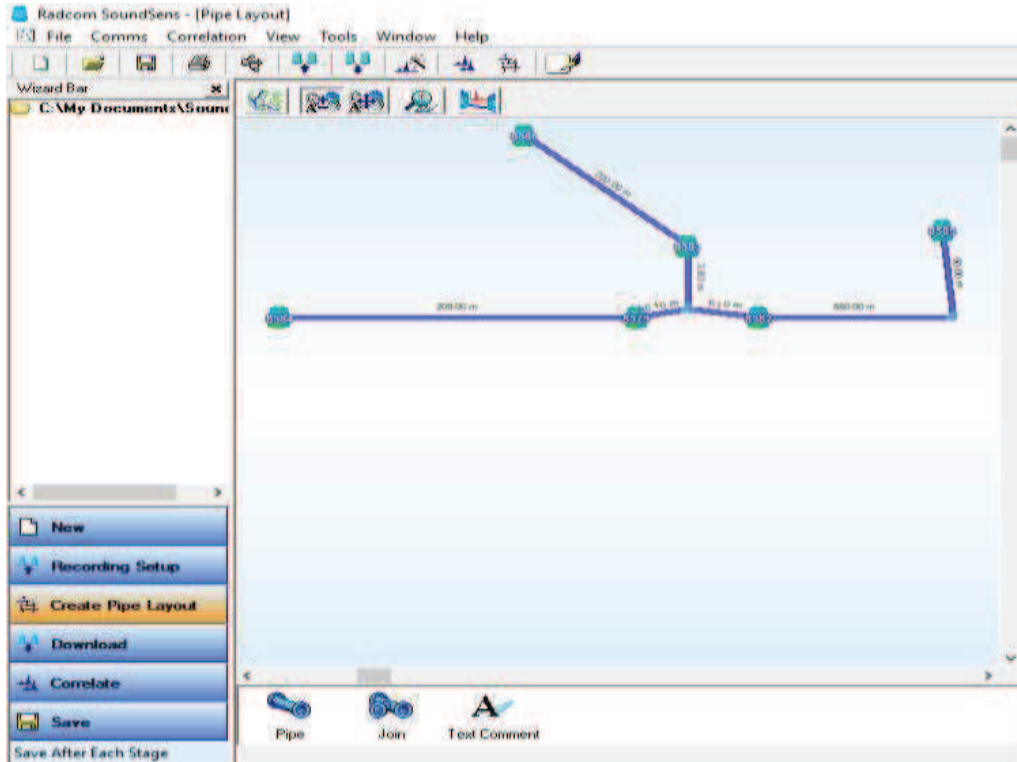
Sahada kayıt işlemini tamamlayan sensörler yerleştirildikleri yerlerden toplanarak çantasının içerisine konuldu ve usb bir kablo yardımı ile çanta bilgisayara bağlanarak kayıt edilen veriler bilgisayara indirildi.

Konulan sensörler arasındaki mesafe sahada ölçülerek saptandı (Tablo 5.4). Boru malzemesi, saptanan boru uzunlukları ve çapı yazılıma boru planı çizilerek girildi.

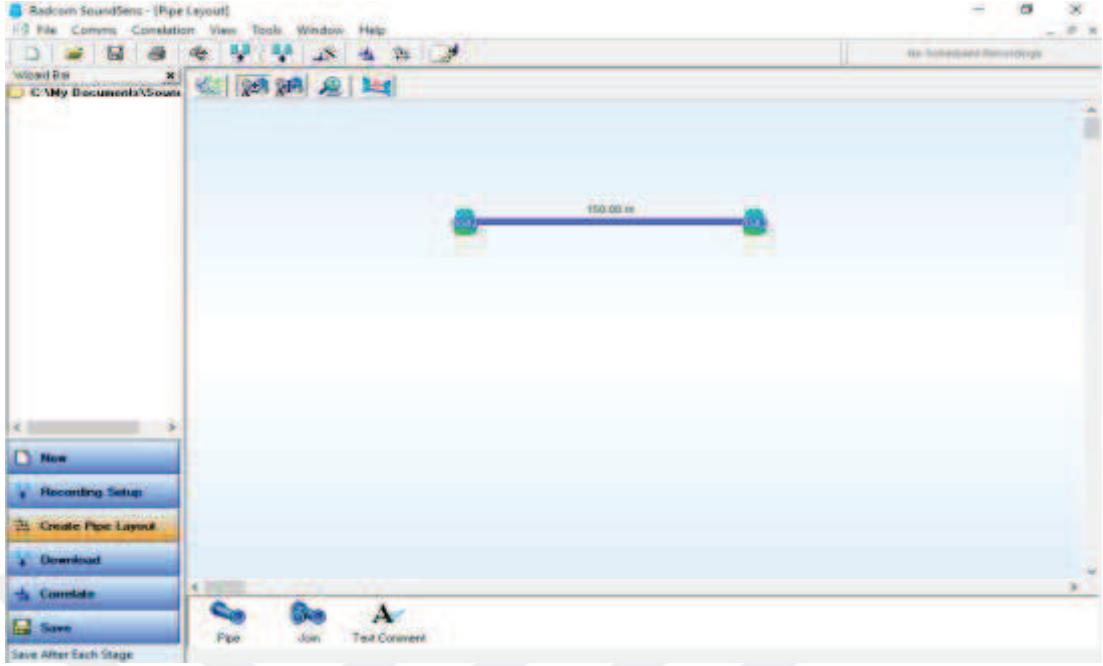


Şekil 5.4: Boru cinslerinin ve sensörler arası mesafenin planlandığı arayüz ekranı.

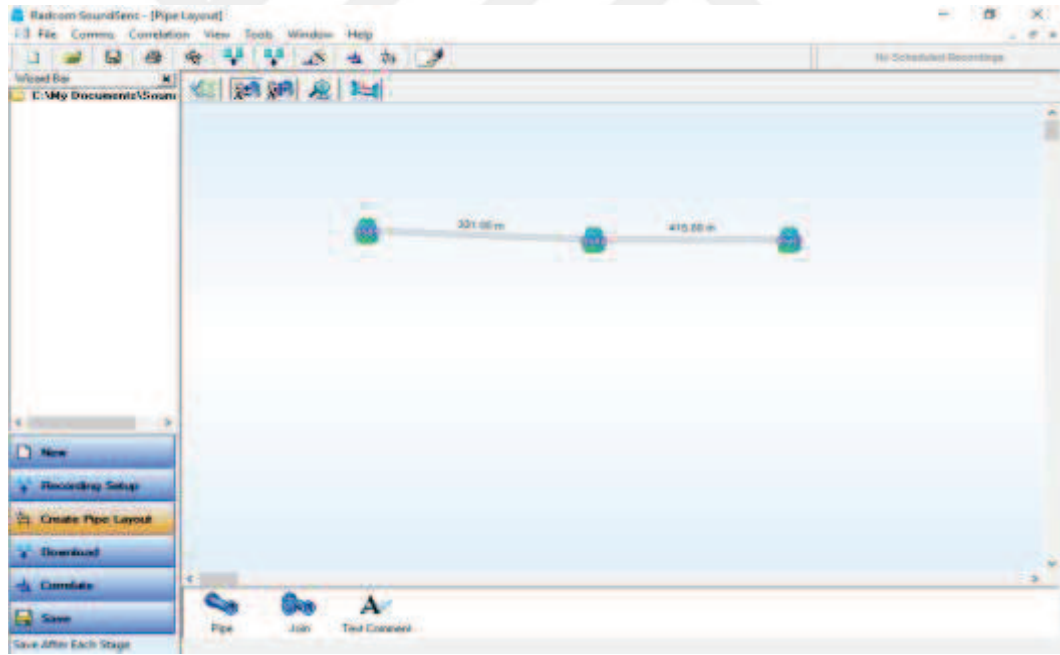
Yazılıma bu giriş yapılırken yerleşim sırasına göre seri numaraları alınan sensörler boru planına dahil edildi ( Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.5: Maltepe mahallesi efe sokak boru planı ve ses kaydedici sensörlerin yerleşimi.



Şekil 5.6: Maltepe mahallesi yamaç sokak boru planı ve ses kaydedici sensörlerin yerleşimi.



Tablo 5.7: Serdivan istiklal mahallesi altınışık sokak boru planı ve ses kaydedici sensörlerin yerleşimi

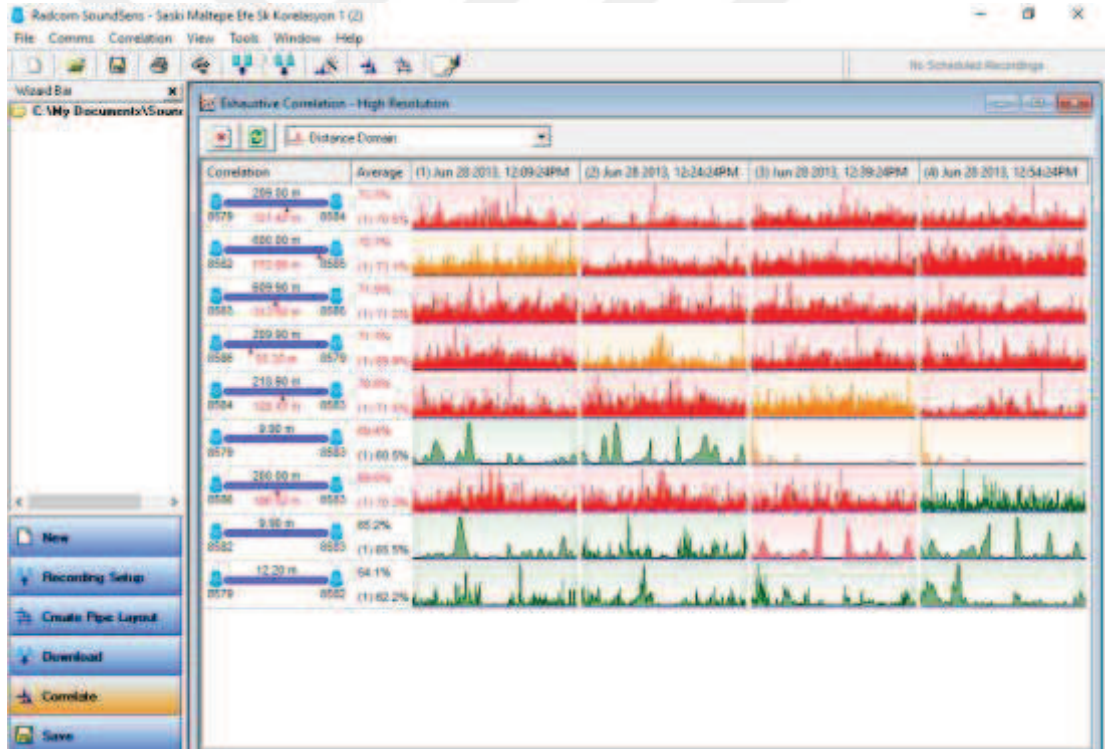
Bilgisayara indirilen seslerin birbirleri arasında program vasıtasıyla korelasyon yöntemiyle analizleri yapıldı.



## 6. BULGULAR

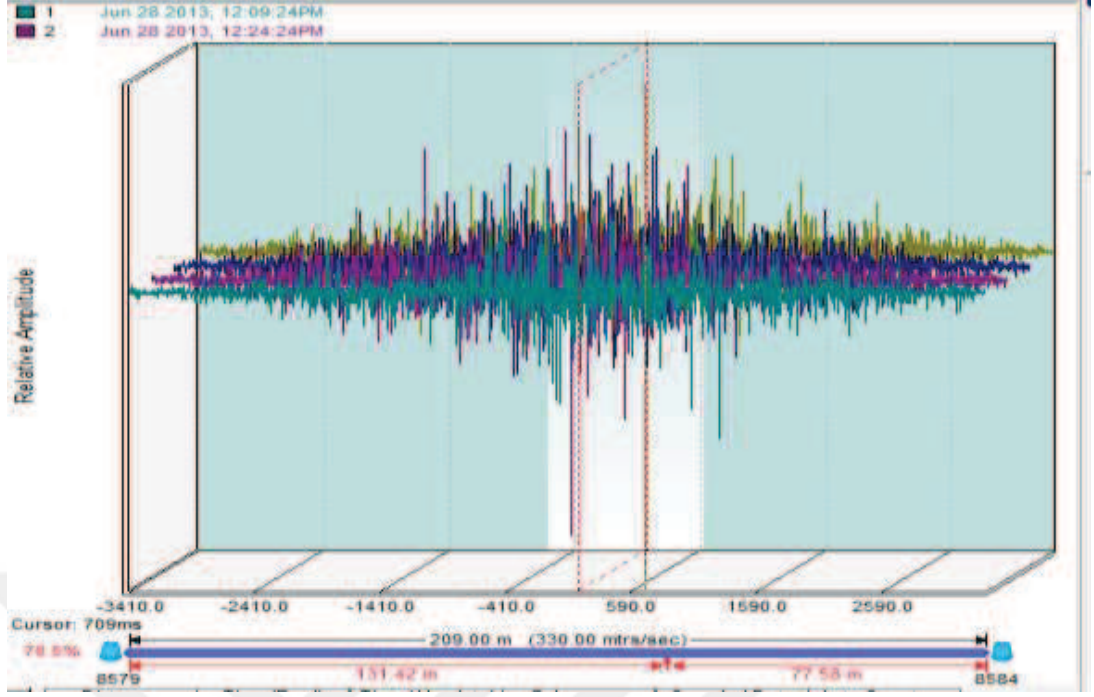
### 6.1. 1.Vaka Çalışması

SASKİ Maltepe Mahallesi Efe Sokak da bulunan su hattı üzerinde ses kaydedici sensörler den elde edilen verilerden yapılan korelasyon sonucunda Şekil 6.1 deki gibi bulgular elde edilmiştir.

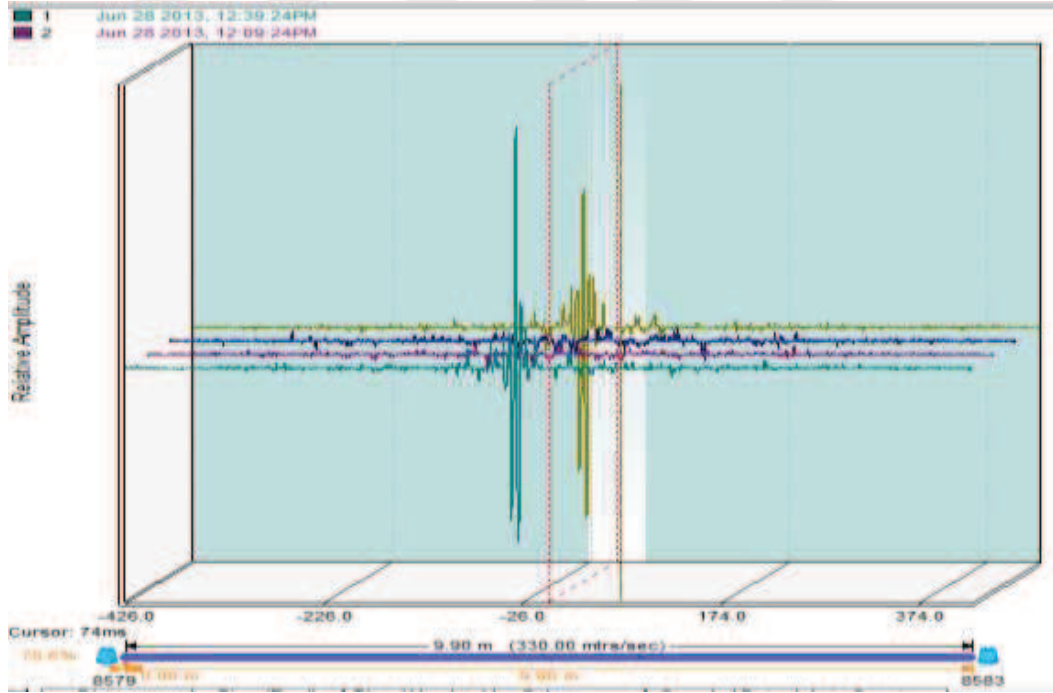


Şekil 6.1: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon ekranı.

Bu analizlere göre en olumlu olası 1.patlak sesinin 8584-8579 nolu sensörler arasında 8584 nolu sensöre 78.58m mesafede, 2.patlak sesinin 8579 nolu sensöre 6.18 m mesafede olduğu değerlendirilmiştir (Şekil-6.2, Şekil-6.3).

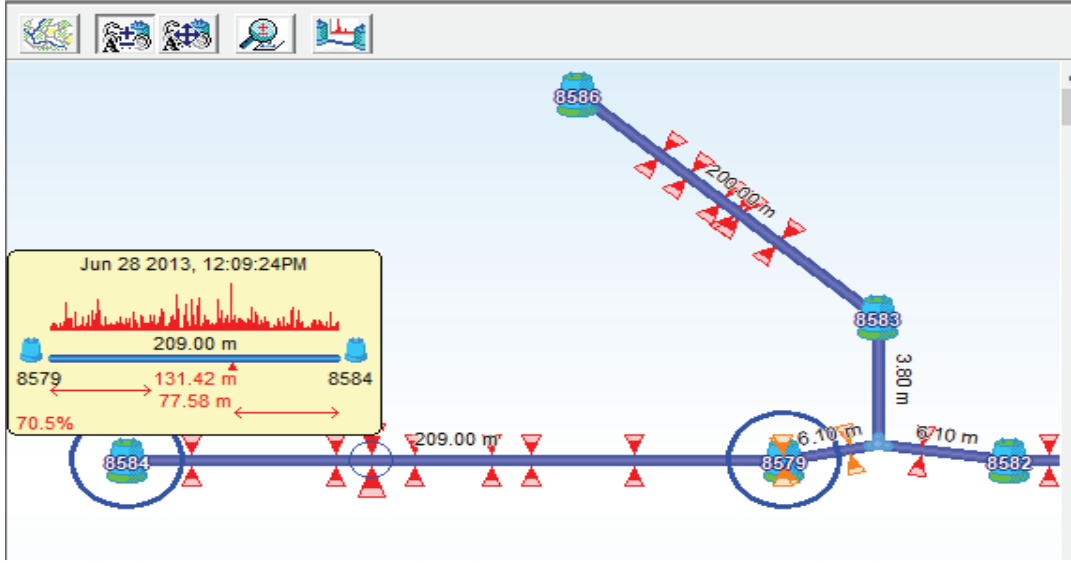


Şekil 6.2: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 1.patlağın (8584-8579 nolu sensörler arası) ses analizi.

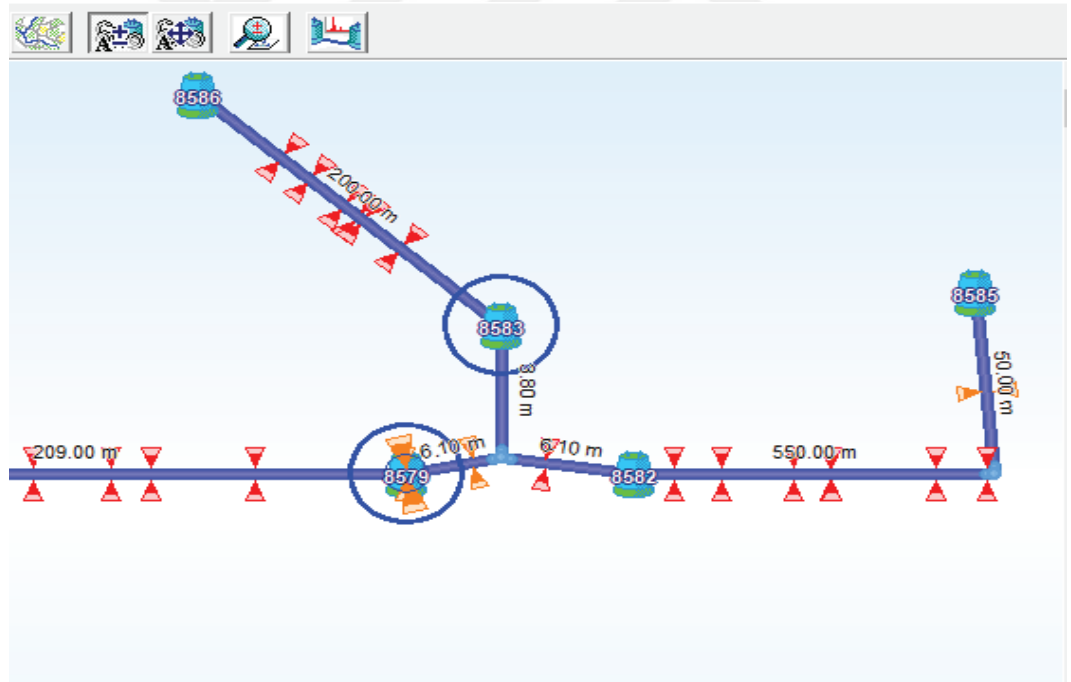


Şekil 6.3: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 2.patlağın (8583-8579 nolu sensörler arası) ses analizi.

Çizilen boru planı üzerinde hangi noktalarda olası sızıntı veya kaçağın gösterimleri aşağıda Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 de gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 1.patlağın (8584-8579 nolu sensörler arası) yeri ve sensörlere uzaklığı.



Şekil 6.5: Maltepe mahallesi efe sokak korelasyon sonucu tespit edilen 2.patlağın (8583-8579 nolu sensörler arası) yeri ve sensörlere uzaklığı.

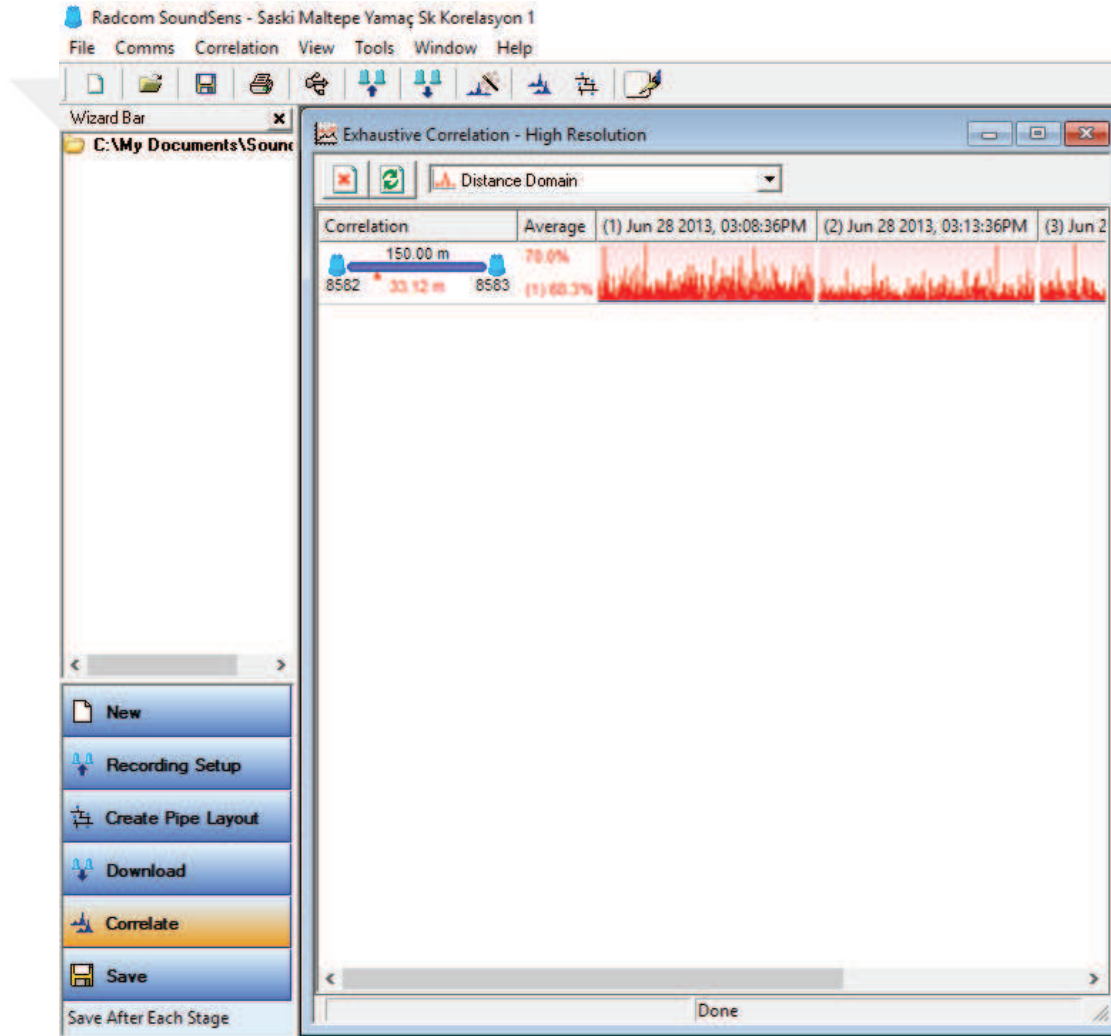
Yapılan çalışmalarda Maltepe Mahallesi Efe Sokak üzerinde tespit edilen noktalar yer mikrofonu ile de dinlenildikten sonra kazılmış, yaklaşık 1m hata ile tespitlerin



doğru olduğu, sistemde diğer seslerin, abone kullanımlarından ve boru dirsek geçişlerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

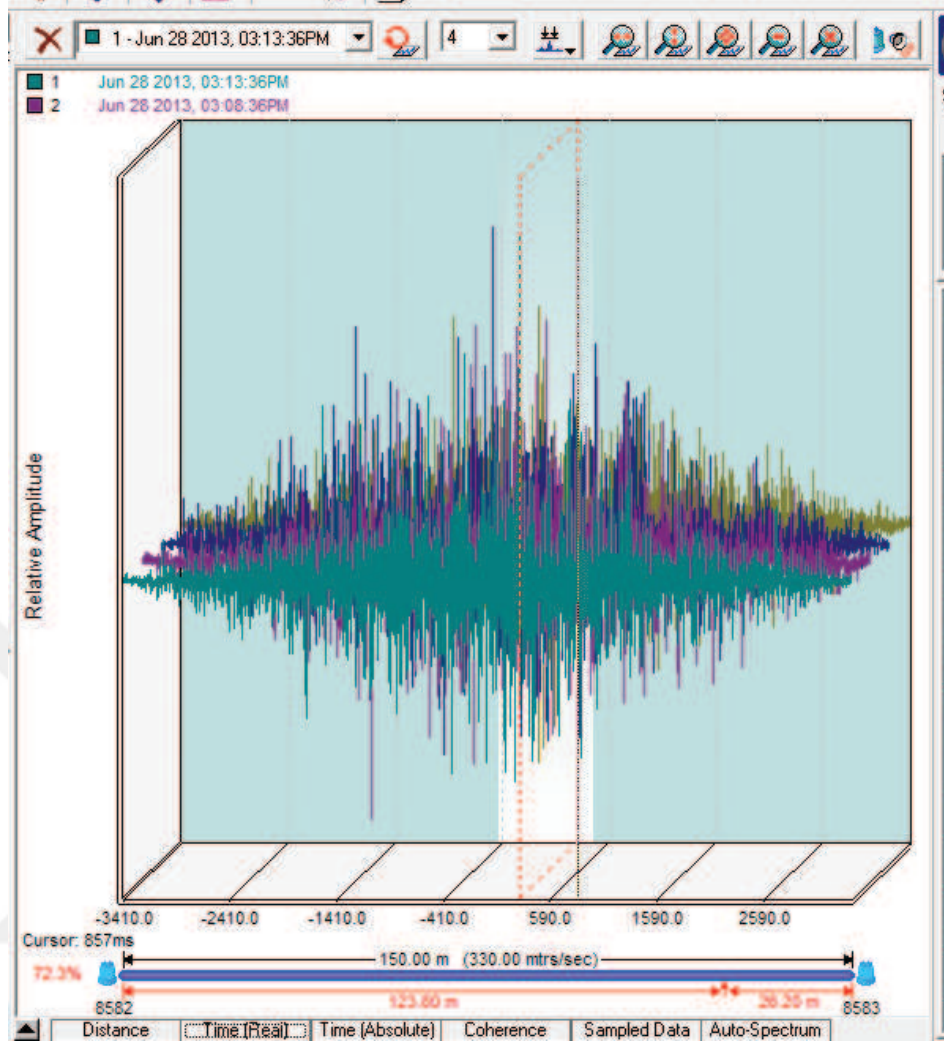
## 6.2. 2.Vaka alışması

SASKİ Maltepe Mahallesi yamaç Sokak da bulunan su hattı üzerinde ses kaydedici sensörler den elde edilen verilerden yapılan korelasyon sonucunda Şekil 6.6 deki gibi bulgular elde edilmiştir.



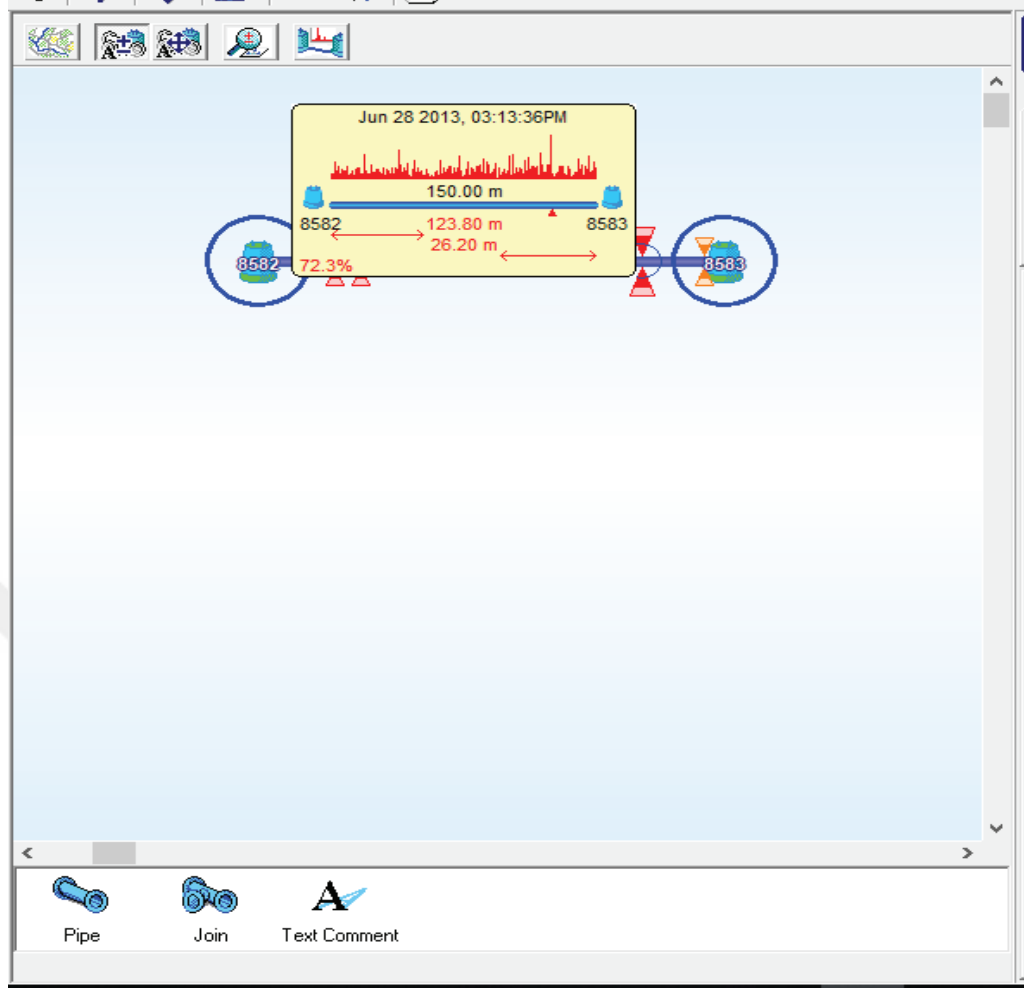
Şekil 6.6: SASKİ Maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon ekranı.

Bu analizlere göre en olumlu olası patlak sesinin 8583 nolu sensöre 26.20 m mesafede olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlajın ses analizi.

Çizilen boru planı üzerinde hangi noktalarda olası sızıntı veya kaçağın gösterimleri aşağıda Şekil 6.8 de gösterilmiştir.

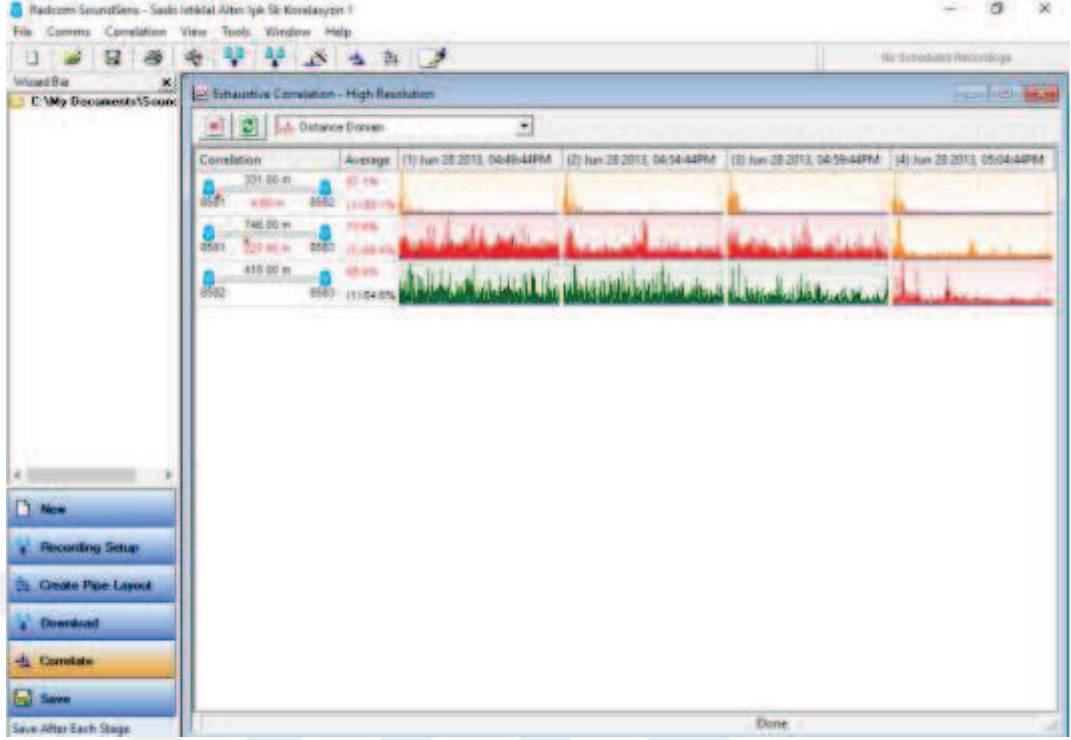


Şekil 6.8: Maltepe mahallesi yamaç sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlağın sensörlere uzaklığı.

Yapılan çalışmalarda Maltepe Mahallesi Yamaç Sokak üzerinde tespit edilen noktalar yer mikrofonu ile de dinlenerek teyit dildikten sonra kazılmış, yaklaşık 0.5m hata ile tespitlerin doğru olduğu anlaşılmıştır.

### 6.3.3. Vaka Çalışması

SASKİ Serdivan İstiklal Mahallesi Altınışık Sokak da bulunan su hattı üzerinde ses kaydedici sensörler den elde edilen verilerden yapılan korelasyon sonucunda Şekil 6.9 deki gibi bulgular elde edilmiştir.



Şekil 6.9: Serdivan istiklal mahallesi altın ışık sokak korelasyon ekranı.

Bu analizlere göre en olumlu olası patlak sesinin 8581-8582 nolu sensörler arasında olduğu ve 8581 nolu sensöre 5.31 m mesafede olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10: Serdivan istiklal mahallesi altın ışık sokak korelasyon sonucu tespit edilen patlamanın sensörlere uzaklığı.

Yapılan alışmalarda Serdivan İstiklal Mahallesi Altın Işık Sokak üzerinde tespit edilen noktalar yer mikrofonu ile de dinlenildikten sonra kazılmış, yaklaşık 0.5m hata ile tespitlerin doğru olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu hat üzerinde diğer verilerinde yüksek olmasından dolayı hat geniş açıldığında yer yer sızıntıların bulunduğu görülmüş, bunun üzerine hattın tamamen yenilemesi yapılmıştır.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kullanılan bu yöntemlerle içme suyu şebekelerinde boru cinsi ve çapından bağımsız olarak sızıntılarını tespit edilebileceği görülmüştür. Boru çapı veya boru cinsi değişse bile veri analizi yorumlanması yapılarak küçük sızıntılarını dahi tespit edilebileceği görülmüştür. Ancak bu yöntemlerin verimli kullanılabilmesi için şebekelerde ki boru cinsine göre belirli aralıklarla şebeke enstrümanı (vana, yangın hidrantı ,..vb.) bulunması gerekmektedir. Polietilen borular daha çok sesi emrinden borudaki ses yayılımı daha kısa mesafelerde olmaktadır. Bu sebeple polietilen şebekelerde daha sık aralıklarla şebeke enstrümanı bulundurulmalıdır ki kısa mesafelerle cihaz yerleştirerek analizlerinde daha doğru sonuçlara ulaşılabilir. Polietilen borular da 500 metre aralıklarla kadar sistemin kullanabileceği söylene de 300 metre ve altı arasındaki mesafe de sonuç alınmaktadır. Fakat ülkemizde bu kadar kısa aralıklarla Koreletörlerin kullanılabileceği şebeke elemanları azdır ya da mevcut vanalar üzeri asfaltla kaplanmış olduğundan kullanım dışı kalmaktadır. Bu durumda çalışma yapmadan önce daha uzun bir ön hazırlık işgücü gerektirmektedir. Su Kanalizasyon İdareleri ve belediyeler korelasyon yöntemi ile içme suyu şebekelerinde ki arızalarını tespit edebilmek için şebekelerdeki vana ve yangın hidrantlarını kullanılabilir durumda tutmalıdırlar.

## KAYNAKLAR

- [1] URL-1: <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, E.T.04.03.2019
- [2] *Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği*, Kalkınma Bakanlığı, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara 2014.
- [3] Aydın, D. (2007). *İçmesuyu dağıtım sistemlerinde cbs tabanlı su kalitesi yönetimi*, (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- [4] Songur, M. (2016). *İçme suyu şebekelerindeki fiziksel kayıpları önlemeye yönelik diyarbakır için örnek bir model geliştirilmesi*. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi. Sakarya.
- [5] Karpuzcu, M. (2005). *Su temini ve çevre sağlığı*, Kubbealtı Neşriyatı, sf. 32-34, İstanbul.
- [6] Şengörür, B. (2006). *Su temini ve çevre sağlığı*, Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Ders Notu, Sakarya.
- [7] Cinal, H. (2009). *Basınç yönetimi ile içme suyu şebeke kayıplarının azaltılması: Sakarya örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.
- [8] Karaca, Z. (2009). *İçme suyu şebeke sistemlerinde su kayıp ve kaçakların tespiti*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- [9] Dikmen, F. (2005). *İstanbul içme suyu dağıtım sisteminde su kayıpları kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.
- [10] Demir, A. (2001). *Konya içme suyu şebekesinde su kayıplarının belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- [11] Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A. (2017). *İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının kontrolü el kitabı*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- [12] URL-2: <http://suyonetimi.ormansu.gov.tr>. E.T. 15.04.2019.

- [13] Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın 08/05/2014 tarihli ve 28994 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği.
- [14] Toprak, S., Koç, A. C., Bacanlı, Ü. G. Dikbaş, F., Fırat, M. ve Dizdar, A. (2007), İçme suyu dağıtım sistemlerindeki kayıplar, III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümöldür, İzmir.
- [15] Pala, B. (2002). *İçmesuyu şebekelerinde oluşan su kayıplarının belirlenmesi ve kontrolü: Kayseri İli Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- [16] Buluş, K. (2003). *Diyarbakır içme suyu dağıtım sistemi kayıp önlem projesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Şanlıurfa.
- [17] Henrie, M., Carpenter, P. ve Nicholas, R. E. (2016). *Pipeline leak detection handbook*. Gulf Professional Publishing.
- [18] Orhunbilge, N. (2002). Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, 2. Baskı, İstanbul, İÜ Basım Yayın.
- [19] Saski. (2019). *Saski Scada Sistemi Veritabanı*. Sakarya Büyükşehir Belediyesi.



## ÖZGEÇMİŞ

Ercan BEKTAŞ, 10/10/1979'da Trabzon ili Vakfikebir ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon Şalpazarı'nda tamamladı. 1997 yılında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümüne başladı ve 2001 yılında bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Hakkâri İl Emniyet Müdürlüğünde polis memuru olarak göreve başladı ve halen Sakarya İl Emniyet Müdürlüğü Bünyesinde görevine devam etmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.