



**İÇMESUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN POLİETİLEN
BORULARIN İŞLETMEDE KARŞILAŞILAN ARIZA SEBEPLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Ahmet KASAP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ahmet KASAP

13 / 08 /2024

İÇMESUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN POLİETİLEN
BORULARIN İŞLETMEDE KARŞILAŞILAN ARIZA SEBEPLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet KASAP

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2024

ÖZET

Su kaynaklarının verimli kullanılması ve su döngüsünde sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla içme ve kullanma sularının israf edilmeksizin tüketilmesinin ve mevcut kayıpların ise araştırılarak önlenmesinin sağlanması, su kıtlığının arttığı günümüzde büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, içme suyunun iletiminde yaşanan arıza sebeplerinin tespiti, oluşan su kaybı ve diğer maddi kayıpların önüne geçilebilmesi amacıyla belirlenen sebeplerin derecelendirilmesi amaçlanmıştır. Derecelendirilerek önem düzeyine göre öncelikle ortadan kaldırılması mümkün olan arıza nedenlerinin belirlenmesi ve giderilmesine yönelik çözüm önerileri sunulması sağlanmıştır. Çalışmada, ülkemizde en çok kullanılan boru tiplerinden polietilen borular değerlendirilmiştir. Yapılan literatür çalışması neticesinde ortaya konulan en sık karşılaşılan boru arıza nedenleri belirlenerek, altyapı sektörü paydaşlarından yerel yönetim, su kanal idaresi ve İller Bankası A.Ş teknik personellerinden oluşan çalışma grubuna anket uygulaması yapılarak arıza sebeplerinin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Söz konusu çalışma grubuna uygulanan ankette objektif veya sübjektif olarak sunulan problemler arasındaki önem derecesinin tayin edilmesinde, bu tür çalışmalardan literatürde kullanılan matematiksel yöntemlerden biri olan analitik hiyerarşi süreci uygulanmış olup ortaya çıkan ana arıza sebeplerinin nicel olarak tespit edilmesi sağlanmıştır. Tez çalışması sonucunda içme suyu inşaatlarında en çok kullanılan boru tipinin polietilen borular olduğu, genel arızaların inşaat safhasındaki imalat hatalarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçları ayrıca en sık karşılaşılan boru arıza sebeplerinin sırasıyla; boru ek yerlerinden, borunun yaşından ve boru cinsinden ötürü yaşandığını göstermektedir. Çözüm yöntemleri olarak boru ek yerleri imalatında parça veya işçilik kaynaklı hataların giderilmesi, boru ömrünün tesis işletme ömrünü geçmemesi konusunda takip sağlanması ve proje hizmet alanı tasarım kriterlerine uygun boru cinsi tercihinde bulunulması öncelikli öneriler arasındadır.

Bilim Kodu : 91134

Anahtar Kelimeler : Boru Arızaları, Polietilen Borular, Su Dağıtım Şebekeleri, Analitik Hiyerarşi Süreci

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

INVESTIGATION REGARDING THE CAUSES OF FAILURE IN POLYETHYLENE
PIPES USED IN DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORK CONSTRUCTIONS
AND SOLUTION SUGGESTIONS

(M. Sc. Thesis)

Ahmet KASAP

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2024

ABSTRACT

In order to ensure efficient use of water resources and sustainability in the water cycle, it is of great importance to ensure that drinking and utility water is consumed without waste and that existing losses are investigated and prevented. In this context, it is aimed to determine the causes of failure in the transmission of drinking water and to rank the causes determined in order to prevent water loss and other material losses. It is provided to determine the causes of failure that can be eliminated primarily according to the level of importance and to offer solutions for their elimination. In the study, polyethylene pipes, one of the most widely used pipe types in our country, were evaluated. As a result of the literature study, the most common causes of pipe failures were determined and a questionnaire was applied to the working group consisting of local administration, water and sewerage administration and İller Bankası A.Ş. technical personnel from the infrastructure sector stakeholders and the causes of failures were prioritised. The analytical hierarchy process, which is one of the mathematical methods used in the literature from such studies, was applied to determine the degree of importance between the problems presented objectively or subjectively in the questionnaire applied to the said working group, and the main causes of failure were quantitatively determined. From result of the thesis study, it was determined that the most commonly used pipe type in drinking water constructions is polyethylene pipes and the general failures are caused by manufacturing defects during the construction phase. The results of the research also show that the most common causes of pipe failure are pipe joints, age of the pipe and pipe type, respectively. As solution methods, elimination of defects caused by parts or workmanship in the manufacture of pipe joints, ensuring that the pipe life does not exceed the operating life of the facility and choosing the pipe type in accordance with the design criteria of the project service area are among the priority recommendations.

Science Code : 91134

Key Words : Pipe Failure, Polyethylene Pipes, Water Distribution Network, Analytical Hierarchy Process

Page Number : 77

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde desteğini, emek ve tecrübelerini özveriyle paylaşan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamdaki lüzumlu verilere ulaşmamda yardım ve desteklerinin esirgemeyen başta İller Bankası A.Ş. çalışanları olmak üzere tüm yerel yönetim teknik personellerine ve tezdeki içeriklerin tanziminde yardım ve desteklerinden dolayı kardeşim Bilgisayar Mühendisi Emre KASAP'a teşekkür ederim.

Ayrıca, araştırmam boyunca sabrını ve motivasyon desteğini esirgemeyen Eşim Dr. Sultan KASAP ile bu süreçte yeterince ilgilenemediğim kızım Elif KASAP'a, dualarından mahrum etmeyen ve bugünlere gelmemde asıl emek sahibi olan annem Hacer KASAP'a ve babam Mehmet Kazım KASAP'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. BORU ARIZASI ARAŞTIRMALARI	3
3. İÇMESUYU TEMİN VE YÖNETİMİ	9
3.1. İçme Suları ve Özellikleri	9
3.2. İçme Sularına İlişkin Mevzuatlar	11
3.2.1. Su kirliliği kontrol yönetmeliği (temiz su kaynakları konusundaki atıfları)	11
3.2.2. İnsani tüketim amaçlı temiz sular hakkındaki yönetmelik	11
3.2.3. Türk Standardı (içme suları yönünden-TS)	12
3.3. İçme Suyu Tedariği ve Sunulması	12
3.3.1. İçme sularının servis edilmesi	13
3.3.2. Su alma maksatlı yapılar	14
3.3.3. Pompa (terfi) istasyonları	15
3.3.4. İletim (isale) hattı	17
3.3.5. Depolama yapıları	17
3.3.6. Tahliye odaları veya yapıları	17

	Sayfa
3.3.7. Vantuz odaları veya yapıları	18
3.3.8. Basınç kırmaya yarayan vanalar ve maslak yapıları	18
3.3.9. Şebeke ağı	19
3.3.10. Borular	20
3.3.11. Vanalar	21
3.3.12. Yangın muslukları	22
3.4. Etüt Çalışmaları	23
3.4.1. Nüfus hesaplamaları	24
3.4.2. Mevcut durum ve coğrafyanın ele alınması	24
3.4.3. Jeomorfolojik durum	25
3.5. Hidrolik Raporlar	25
3.5.1. Debinin hesaplanması	26
3.5.2. Basınç parametreleri ile hız ve çap	26
4. İÇMESUYU İNŞAATLARINDA KULLANILAN BORULAR	29
4.1. Temiz Su Altyapısında Tercih Edilen Borular	29
4.1.1. Çelik çekme borular	29
4.1.2. Düktil tip borular	30
4.1.3. Pvc borular	32
4.1.4. PE (Polietilen) içme suyu boruları	33
4.1.5. PPRC (Poli Propilen Random Co-Polimer) borular	34
4.1.6. Ctp tipi borular	35
5. İŞLETMEDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR	37
5.1. İçme Suyu Şebekelerindeki Global Durum	37
5.2. Boru Fiziksel Özelliklerine Bağlı Sorunlar	38

	Sayfa
5.2.1. Boru yaşı	38
5.2.2. Boru çapı	39
5.2.3. Boru cinsi	40
5.2.4. Boru uzunluğu	41
5.2.5. Boru et kalınlığı	42
5.2.6. Boru üretim hataları	43
5.2.7. Boru ek yerleri	44
5.2.8. Korozyon	45
5.3. Çevresel Kaynaklı Sorunlar	45
5.3.1. Don derinliği	45
5.3.2. Toprak cinsi	46
5.3.3. Mevsimsellik	46
5.3.4. Taşınan suyun pH'ı	47
5.3.5. Yataklama-gömlekleme kalitesi	48
5.3.6. İşletme hataları	49
6. YÖNTEM, UYGULAMA ve BULGULAR	53
6.1. Anket Çalışması	53
6.2. Yöntem ve Uygulama	57
6.2.1. AHP yöntemi aşamaları	58
6.2.2. Uygulama	59
6.3. Bulgular	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
EKLER	73

Sayfa

EK-1. Anket soruları	74
ÖZGEÇMİŞ	77



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Temin edildiği yere göre su	13
Çizelge 3.2. Evsel nitelikli sulara ait tüketim debileri	24
Çizelge 3.3. Yangın debisi olarak su ihtiyacı	26
Çizelge 3.4. Boru türüne karşılık ‘C’ değerleri	28
Çizelge 5.1. Basınç sınıfına karşılık et kalınlıkları	42
Çizelge 6.1. Saaty’ye göre önem derecesi tablosu	58
Çizelge 6.2. Karar faktörlerine göre oluşturulmuş karşılaştırma matrisi.....	60
Çizelge 6.3. Karar faktörlerine göre normalize edilmiş matris.....	61
Çizelge 6.4. RI-Rassal İndeks ve CR-Tutarlılık Oranı hesap formülleri	62
Çizelge 6.5. λ_{max} ve ağırlık ortalama sonuç tablosu	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye’de suyun kullanım alanları	10
Şekil 3.2. Su tedarik ve servis yapıları	14
Şekil 3.3. Kaptaj odası	15
Şekil 3.4. Su dağıtım şebeke ağının içme suyu planlarındaki gösterimi	20
Şekil 5.1. Aynı çapa karşılık farklı basınç sınıfındaki polietilen borular	43
Şekil 5.2. İçme suyu boru hattına dair hendek kesiti	48
Şekil 6.1. Ana arıza başlıklarının tespitine ilişkin yöneltilen anket sorusu	54
Şekil 6.2. Boru arızaları alt başlıklarının tespitine ilişkin yöneltilen anket sorusu	55
Şekil 6.3. Anket örneklem kümesi için katılımcı sayısının belirlenmesi	56
Şekil 6.4. Ankete katılan teknik personel görev pozisyonları	56
Şekil 6.5. Ankete katılan teknik personellere ait konu ile ilgili bilgi düzeyi	57
Şekil 6.6. İçme suyu boru tipi tercihleri	64
Şekil 6.7. İçme suyu hatlarında görülen genel arızaların kaynakları	65
Şekil 6.8. Boru kaynaklı arıza nedenlerinin dağılımı	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.2. Şebeke tipi (dinamik) vantuz ile basınç bertarafı	18
Resim 3.3. Kelebek tipi vana	21
Resim 3.4. Yangın hidrantları	22
Resim 4.1. Çelik çekme boru	30
Resim 4.2. Düktil boru üretimi	31
Resim 4.3. Pvc boru	32
Resim 4.4. PE tipi muhtelif çapta iç içe geçmiş borular	33
Resim 4.5. PPRC boru	34
Resim 4.6. Ctp tipi muflu boru	35
Resim 5.1. Düşük çaplı PE abone bağlantı borusuna ait arıza durumu	40
Resim 5.2. Çoklu dönüş ve ek yeri içeren bir polietilen boru	44
Resim 5.3. Korozyona uğramış döküm boru	45
Resim 5.4. Mevsimsellik etkisinde yer altı suyunun boruya etkisi	47
Resim 5.5. Basınç düşürücü ekipman	50
Resim 5.6. Su koçu darbesi sonucu asbest çimento boru	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Atm	Atmosfer basıncı
C	Boru türüne bağlı katsayı
D	Çap
f	Boru iç yüzeyi sürtünme katsayısı
g	Yer çekimine bağlı ivme
J	Boru taban eğimi
h	Hidrolik kayıp
km	Kilometre
km³	Kilometre Küp
km²	Kilometre Kare
lt	Litre
m	Metre
sn	Saniye
m/sn	Metre/Saniye
m³	Metre Küp
mm	Mili Metre
L	İki nokta arasındaki uzaklık
D	Boru çapı
V	Hız
pH	Power of Hydrogen
Q	Debi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇB	Asbest Çimento Boru
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AI	Artificial Intelligence (Yapay Zeka)
A.Ş.	Anonim Şirketi
CTP	Cam Takviyeli Plastik
CI	Consistency Index (Tutarlılık İndeksi)
CR	Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
HES	Hidroelektrik Santral
HDPE	High Density Poly Ethilene
LDPE	Low Density Poly Ethylene
PVC	Polivinil Klorür
PE	Polietilen
PPRC	Poli Propilen Random Co-Polimer (Polipropilen)
PN	Pressure Number
RI	Rassal Index
SUEN	Türkiye Su Enstitüsü
SDR	Standard Dimension Ratio
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WDN	Water Distribution Network

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun geçmişten bugüne var olmasını sağlayan, yaşamsal ihtiyaçlarının temelinde yer alan ana elementlerden birisi de sudur. Su olmadan ekolojik zincir oluşamayacağı gibi, vücudumuzun 3/4'ünü oluşturan su olmadan hayatta kalmamız da mümkün değildir. Zaman içerisinde gelişen zekâsının sınırlarını zorlayan insanlık, toplumsal yaşam biçiminin gereklilikleriyle şekillenen medeniyet gelişiminde birçok yapısal keşif ve devrim yapmıştır. Bu keşiflerin içerisinde yaşamsal gereksinimlerini karşılamak için korunması gereken suyun sürdürülebilirliğini sağlayan hidrolik yapılar başta gelmektedir.

Geçmişten bugüne yaşanan nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşmenin hızlanması ve bilinçsiz tüketim sonucu tüm kaynaklar gibi su kaynaklarının da tükenmekte olduğu bilinmektedir. Ülkeler bu kapsamda hidrolik yapılarını çağın gerekliliklerine uygun olarak suyun geri kazanılmasını desteleyecek veya israf edilmesinin önüne geçecek şekilde çeşitlendirmekte ve geliştirmektedir.

Suyun doğadan hasadı, kullanılabilir hale getirilmesi, insanların kullanımına sunulması ve atık halinin toplanarak bertaraf edilmesinde, medeniyet mühendisliğinin bir kolu olan hidrolik bilimine büyük görev düşmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kentleşmede suyun bir damlasının dahi boşa harcanılmamasını sağlamak, israfın önüne geçmek, yapısal veya sistemsel kusurları en düşük seviyeye indirmek için yapılacak çabalar oldukça önemlidir.

Hasat edilerek içme ve kullanma suyu özelliklerine uygun haline getirilen su, muhtelif hidrolik yapılar vasıta ile depolanmakta ve bir ağ şeklinde dallanan borulama sistemiyle şehirlerin yerleşim karakterlerine uygun olarak her bir haneye iletilebilmektedir. Bu içme suyu borulama sistemlerinin inşasında kullanılan teknikler, boru tiplerinin kullanımının çeşitlendirilmesi ve bunlara bağlı işletme ile ilgili tecrübeler yıllar içerisinde değişiklik gösterse de suyun döngüsel korunumunun sağlanması amacı değişmemiştir.

Bu çalışmada, içme suyu sistemlerinde yer alan suyun, günümüzde sıklıkla kullanılan boru tiplerinden olan polietilen boru cinsi ile yapılan dağıtım ağı içerisindeki işletmeden kaynaklı problemlerinin araştırılması, önceliklendirilmesi ve öncelik sıralamasına göre çözüm önerilerinin sunulması kayının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Uluslararası literatürde, içme suyu sistemlerinde yaşanan işletme arızalarının tespiti ve giderilmesine dair akademik çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde bu konuda yapılmış çalışmaların daha çok su dağıtım şebekelerinin arıza performanslarının nihai tüketiciler açısından değerlendirilerek su kanal idarelerine fikir vermesi amacıyla yapıldığı anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında ana amaç literatürde yer alan akademik çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlarla ülkemizdeki mevcut içme suyu şebeke sistemlerindeki karşılığının irdelenmesi, benzer niteliğe sahip sorunların belirlenip özellikle sektör içerisinde yer alan paydaşlardan anket yöntemi ile elde edilecek veriler ışığında önceliklendirilmesini sağlamaktır.

İçme suyu şebeke sistemlerinin işletilmesinde tespit edilen sorunların önem düzeyinin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminden (AHP) yararlanılmıştır. Bu sayede paydaşlardan elde edilen anket sonuçlarının yorumlanmasında objektif bir sınıflandırma sisteminin oluşturulması sağlanmıştır. Çalışma sonuçları itibarıyla içme suyu şebeke sistemlerinin işletilmesi süresince borularda yaşanan arıza sebeplerinin kaynakları hakkında sistemsel değerlendirme fırsatı oluşturmuş ayrıca sorunların giderilmesine dair çözüm önerileri de sunulmuştur.

Bu sayede suyun israf edilmesinin önüne geçilebilecek ve döngüsel korunumu sağlanabilecektir. Ayrıca gerek maddi gerekse iş gücü veya zaman kaybının önlenmesi ve suyun kesintisiz iletimine dair konfor kayıplarının da ortadan kaldırılması sağlanabilecektir.

2. BORU ARIZASI ARAŞTIRMALARI

Boru arızalarının ele alınması, ülkemizdeki su kayıp kaçaklarının azaltılması, iş gücü, zaman ve yerel yönetimlere mal olacak maddi kayıpların önüne geçilmesi açısından elzem bir durum haline gelmiştir.

İnsanların konfor alanlarına duydukları gereksinimin yıllar içerisinde artmasıyla birlikte, su arıza modlarına, bağlı oluşacak maddi manevi olumsuz yüklerin ortadan kaldırılması ve hedef nüfusa yansıtılmadan çözülmesinin önemi artmıştır.

Ayrıca, içme suyu sistemlerinin tasarımının, arıza modlarının doğru anlaşılmasıyla birlikte daha sağlıklı yapılabileceği ortadadır. Arıza türlerinin doğru ve önem düzeyine göre eksiksiz tespit edilmesi halinde, proje ömrü olabilecek en uzun haliyle sağlıklı bir şekilde tamamlanabilecektir.

Bunu sağlamak amacıyla, Dünya üzerinde farklı coğrafyadan, farklı etki özelliklerine göre içme suyu arıza modlarına ilişkin birçok araştırma yapılmış olup her araştırmacı ülkesinin farklı değişkenlerine göre ortaya çıkan arıza türlerini sınıflandırma çalışmıştır.

Dehghan (2009) yaptığı araştırmasında su tedarikine dayanan şebeke borularının gelecekteki durumunun istatistiksel analiz yöntemlerinden; yapay sinir ağları, bulanık modelleme ve Matlab dilini kullanarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada her ne kadar tüm verilere ulaşmanın maliyetli ve uzun zaman gerektirdiği savunulsa da, bu yöntemlerin tümüyle ortak bir paydada toplandığı dinamik bir modelleme tekniği önererek içme suyu boru arızalarının %95 güvenilirlikle durağan olmayana arıza süreçlerinin tahmin edilmesini sağladığını belirtmiştir [1].

Folkman, Rice, Sorenson ve Braithwaite (2012) tarafından A.B.D. özelinde Utah eyaletinde yaklaşık 190 km'lik örneklem kümesi içerisinde seçilen 51 km uzunluğundaki içme suyu şebeke ağında yaşanan arızalar, kamu hizmeti yapan 188 farklı kuruluşlarla anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada pvc, asbest çimento beton boru ve çelik borular üzerinde inceleme yapılarak 12 aylık içme suyu arıza modları belirlenmiştir. Sonuç olarak bu boru türleri içerisinde en düşük arıza sıklığının pvc borularda olduğu savunulmuştur [2].

Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A. (2017), T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı talebi üzerine, ülkemizde su yönetiminin tesis edilmesi konusunda su kayıplarının tanımı, olduğu yerler ve kayıplarının azaltılması ile ilgili rapor hazırlamıştır. Bu rapor doğrultusunda şebekedeki basınç yönetiminin izlenerek arızaların değerlendirilmesi ve kayıp kaçakların asgariye indirilmesi amacıyla farkındalığın artırılması, ulusal kayıp kaçak mücadele birimi kurulması ve arıza tespit süreçlerinin kısaltılması önerilmiştir [3].

Wols, Moerman, Horst ve Laarhoven (2018) boru birleşim noktalarındaki toprak, trafik, zemin oturması veya iç basınca bağlı olarak oluşan gerilmeyi Hollanda özelindeki şebekeler açısından ele almaya çalışmıştır. Bu amaçla, birleşim yerlerindeki gerilmeyi hesaplayan “comsima” adlı program yardımıyla yüksek iç ve dış basınca maruz kalan noktaların uydu verilerinden elde edilen arıza noktaları ile kıyaslanarak karşılaştırılmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, yüksek basınca maruz kalan veya dirsek/dönüş noktalarının arızalara daha çok yol açtığını tespit edilmiştir [4].

Velasco, Cortés, Muñuzuri ve Onieva (2019) çalışmaları ile arızaların ortaya çıkış sıklığının azaltılarak yıllık onarım masraflarının en aza indirilmesi ve yüksek kalitede su dağıtım hizmetinin sunulabilmesi amacıyla farklı bir yöntem sunmayı amaçlamıştır. Bu doğrultuda mantıksal regresyon ve vektörel sınıflandırma metodu ile İspanya'daki boru arızalarından 4393 tanesini ele alarak, mevcut eski boruların %3'ünün değiştirilmesiyle arızaların %30 azaldığı savunulmuştur [5].

Barton, Farewell, Hallett ve Acland (2019), su dağıtım şirketlerinin, arızaları azaltarak kayıp suyun en aza indirilmesini sağlamak, hizmet seviyesinin iyileştirmesine yardımcı olmak amacıyla altyapı, mevsimsel faktörler ve çevresel etki verilerini irdeleyerek boru arızalarını istatistiksel olarak modellemeye çalışmıştır. Bu amaçla Birleşik Krallık özelinde ele alınan çelik, font, düktil, pvc, asbest çimento ve pe borular için arızaların olumsuz toprak türüne maruz kalan eski borularda, yüksek basınca maruz kalan noktalarda ve toprak neminin fazla olduğu kısımlarda mevsimsel sıcaklık değişimine bağlı daha fazla arıza olduğu belirtilmiştir [6].

Hekmati, Rahman, Gorjian, Rameezdeen ve Chow (2020) çevresel faktörlerin boru arızaları üzerindeki etkilerini, araştırmaya yönelik daha az kaynak gerektirmesi nedeniyle, sosyal medya üzerinden araştırmaya çalışmıştır. Bu amaçla, kamuya açık veri kaynaklarını

kullanarak (Twitter kanalı ile iletilen şikâyetler, yerel yönetimlerin paylaşımları altına yapılan yorumlar vb.) AI-yapay zekâ vasıtasıyla Güney Avusturalya özelinde en çok karşılaşılan çevresel kaynaklı arıza türlerinin; boruya etkileyen toprak kimyasal direnci, gömülü derinlik ve toprağın nem muhteviyatı olduğu belirlenmiştir [7].

Fırat ve Güleç (2021) içme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıp ve kaçaklarının kontrolü ve yönetiminin sağlanması amacıyla SÜEN'e sunulacak rapor çalışmasıyla 2021 yılında yerel yönetimlerde oluşan su kayıplarına (arıza modları dâhil) dair veriler analiz edilmiştir. Bu kapsamda, Bosna Hersek, Zagreb'teki su yönetimi incelenmiş, Kemberburgaz projesi pilot uygulaması irdelenmiş, Malatya ilindeki şebekenin bölümlere ayrılarak incelenmesi ve kayıpların takip edilerek etkin mücadele edilmesine yönelik stratejiler geliştirilmesinde ve gerekli eylemlerin yürürlüğe konulabilmesinde yatırım yapılarak sızıntıların önlenmesi önerisinde bulunmuştur [8].

Taiwo, Shaban ve Zayed (2023) sürdürülebilir su altyapısının geliştirilmesi için bibliyometrik analizlerden elde edilen verileri, hata ağacı mantığıyla listeleyerek haritalanmasını ve boru arızalarının doğru anlaşılmasını sağlamaya çalışmıştır. Sonuç olarak, boru yaşı, uzunluğu, toprak nemi, trafik yükü, yağış rejimi ve iç basınç yüksekliğinin arızaların oluşumu ile doğru orantılı olduğunu, bunun yanı sıra, boru çapı, kalınlığı ve gömülü derinlik ile ters orantılı ilişki olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca boru türlerine göre teknolojik gelişimlerin arıza modlarını azalttığını dökme demir borudan çelik boruya geçiş ile vurgulamaya çalışmıştır [9].

Braun, arıza tahminlerinin değerlendirilmesine yönelik 1969 yılında hazırladığı teknik rapor ile geçmişte yaşanan boru arıza nedenlerini irdelleyerek gelecekte aynı arızaların nasıl önlenebileceğini belirlemek için rehber oluşturmaya çalışmıştır. İncelediği parametre ve arızalar içerisinde en çok arızaya neden olan faktörün iç basınç olduğu, bu sorunun boru üretimindeki teknolojik gelişmelerle birlikte azaltılabileceği ve yeni tasarlanacak şebeke sistemleri için bu hususun özellikle dikkat edilmesi gerektiğini savunmuştur [10].

Aydoğdu, içme suyu şebekelerinde meydana gelen arızaların kümeleme yöntemi ile analizinin yapılmasına yönelik 2014 yılında yaptığı çalışmada, coğrafi bilgi sistemi üzerinden yansıyan arıza noktalarını tespit ederek, oluşan arızanın hangi boru sınıfında ve hangi sebeple yaşandığını bulanık veri kümeleme yöntemiyle araştırılmasını sağlamıştır.

Araştırma sonuçları, boru malzeme özellikleri, yer altı suyu seviyesi, zemin özellikleri, trafik yoğunluğu, boru çapı ve işletme basıncına bağlı oluşan arızaların daha sık arıza oluşturan sebepler olduğunu tespit etmiştir. Çalışma Malatya içme suyu şebekesindeki muhtelif türdeki borular için gerçekleştirilmiştir [11].

Analitik hiyerarşi prosesinin uygulanmasına yönelik bir diğer çalışma Nedjar, Djebbar ve Djemili (2022) tarafından Cezayir'deki su dağıtım şebekelerinin rehabilitasyonun planlanmasında su dağıtım şebekelerinin fiziksel, çevresel ve operasyonel etkilerini belirlemek üzere yapılmıştır. 24 uzmanın değerlendirmesine başvurulmuş araştırmada analitik hiyerarşi prosesi sonuçları fiziksel, çevresel ve operasyonel etkilerin sırasıyla %35,4, %55,6 ve %9 göreceli ağırlık etkileri ile oluştuğunu tespit etmiştir. Bu sayede belirlenen ağırlık oranları dikkate alınarak kısa, orta ve uzun vadeli içmesuyu rehabilitasyon programına ilişkin aciliyet seviyesinin belirlenmesi sağlanmış, su dağıtım şirketlerinin tüketiciye yeterli miktarda kaliteli suyu ulaştırmada önemli öneriler sunmuştur [12].

İşletme açısından şebeke bileşenlerinin her biri önemli ve ayrı incelenmesi gereken unsurlardır. Örneğin Beker ve Kansal (2023) kentsel su dağıtım şebekelerindeki vana etkilerini ve arızaları belirlemek, bakımları için öncelik verilmesi gereken sebeplerin araştırıldığı çalışmalarında, Etiyopya'daki Dire Dawa şehrinin su dağıtım şebekesini *WaterGems* yazılımını kullanarak modellemişlerdir. Çalışma, şebekedeki vana sayısı, arızalardan etkilenen müşteri sayısı ve arz açığını tespit etmeye odaklanmıştır. Araştırma sonuçları vana sayısının arttırılmasıyla birlikte arıza sayısında azalma olduğunu ve vana bakım-onarım sıklığının arttırılması gerektiğini vurgulamaktadır [13].

Kılınç, Özdemir, Orhan ve Fırat (2018) su dağıtım sistemlerindeki boruların teknik performansını belirlemek amacıyla analitik hiyerarşi prosesi tekniğini kullandıkları araştırmalarında, fiziksel, çevresel ve operasyonel etkilere ait ağırlık katsayılarını sırasıyla 0,43, 0,14 ve 0,43 olarak hesaplamışlardır. Katsayılara ilişkin faktör puanları hesaplanmış 17 farklı bölgedeki su boruları üzerinde test edilmiş ve asbest çimento boru ile pvc boruların performansının düşük ve arıza risklerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Uluslararası literatürdeki benzer araştırmalara göre en az önem seviyesine sahip operasyonel etkilerin ağırlığının ülkemiz özelinde en önemli arıza nedeni olduğu da görülmüştür [14].

Kakoudakis, K., boru arızası tahmini ve etki değerlendirmesine yönelik 2019 yılında yaptığı araştırmasında boru arızası eğiliminin kısa, orta ve uzun vadede tahmin edilebilmesi amacıyla arızaya etki eden faktörlerin etki sürecinin yapay sinir ağı modeliyle ele alınmasını sağlamıştır. Uzun vadede ortaya çıkacak arızaların; çap, yaş, uzunluk gibi fiziksel özelliklerin yanısıra kısa vadeli veya yıllık arızaların mevsimsel veya çevresel etkiler nedeniyle ortaya çıktığını belirtmektedir [15].

Thavamony ve Rajagopal (2024) analitik hiyerarşi sürecini kullanarak yeni su dağıtım şebekesi için uygun boru malzemesi seçimi konusunda yaptığı araştırmasıyla Hindistan'ın Athivilai şehri için bir tasarım modellemesi gerçekleştirmiştir. Araştırmasında maliyet, ömür, bakım kolaylığı, korozyon ve iç basınç gibi arıza nedenlerini göz önünde bulundurarak döküm ve düktil boruların en uygun boru türü olduğu sonucuna ulaşmıştır. *EPANET* programı ile yapılan tasarımda boru tiplerinin seçiminde yüksek basınç etkilerinin en önemli faktör olduğu anlaşılmıştır [16].

Mesalie, Aklog ve Kifelew'in (2021) Etiyopya'da bulunan bir içme suyu dağıtım şebekesi için yaptıkları arıza değerlendirme araştırması kapsamında Arc-GIS ve WaterCAD programlarından yararlanarak su kalitesi, yüksek basınç, debi, boru türü, pompa gibi etkenlerin sistem arıza risk derecelerinin tespiti için çalışılmıştır. Etkenlerin puanlanması kısmında elde edilen sonuçlar analitik hiyerarşi prosesi ile yorumlanmış ve pompalar ile boruların değişim periyodunun kısa tutulması ilgili sistem özelinde önerilmiştir [17].

Farh, Seghier, Taiwo ve Zayed (2023) tarafından içme suyu boru hatlarında korozyon nedenlerinin tespiti amaçlı yapılan çalışmada korozyona neden olabilecek çevresel, boru kaynaklı ve operasyonel nedenler araştırılmıştır. Potansiyel sebepler hata ağacı metodu ile analiz edilerek önemli korozyon etkenlerinin tespit edilmesi ve tartışılması sağlamıştır. Araştırma çalışmasının en önemli sonuçları operasyonel faktörlerin %43 düzeyde, çevresel faktörlerin ise %34 oranında korozyona etki eden faktörler olduğunu göstermiştir [18].

Birçok akademik çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi aslında ilk kez Saaty tarafından önerilen bir yöntemdir. Saaty (1987), çalışmasında oran ölçekli bir ölçüm yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi uygulamasının ne olduğunu ve nasıl kullanıldığını tanıtmaktadır. Bu ölçüm yöntemini 2 farklı örnek üzerinden açıklayarak tutarlılıktan

ayrılmanın ölçümünü, göreceli ölçümde sıralamanın sağlanmasını ve sonuçların tartışılmasını gerçekleştirmiştir [19].

Zangenehmadar, Golnaraghi ve Fanaei (2019) su dağıtım sistemlerindeki arızaların farklı coğrafyalarda ne türde sıklıkla ortaya çıktığı konusunda bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada Kanada ve Katar'daki benzer koşullarda çalışan uzman görüşleri üzerinden kıyaslama yapılarak boru hatlarındaki bozulma nedenleri derecelendirmeye çalışılmıştır. Her iki uzman grubuna aynı anketler yöneltilerek görüşleri alınmış; fiziksel, çevresel ve operasyonel nedenlerin sırasıyla Kanada/Katar kıyasında, sırasıyla 0,36/0,42, 0,31/0,32 ve 0,33/0,26 şeklinde önem derecesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır [20].

Kılınç (2017) su dağıtım sistemlerinde pvc ve açb borularının performansının çevresel faktörlere göre değerlendirilmesi konulu çalışmasında Malatya içme suyu sisteminin son on yıldaki arıza nedenlerinin zamansal ve konumsal olarak değişimini ele alarak çevresel kaynaklı arıza faktörlerinin analitik hiyerarşi prosesi ile puanlanması ve boruların tipine göre performans analizini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçları çevresel kaynaklı etkenlerin pvc borularda daha çok arızaya neden olduğunu göstermektedir [21].

Kim, Choi ve Kim (2011), anket uygulaması ve analitik hiyerarşi yöntemini kullanarak su temin ve dağıtım sistemlerini oluşturan, su alma yapısı, su arıtma tesisi, boru şebekesi, pompa istasyonu, kontrol ve dağıtım ünitelerinden oluşan yapısal elemanların önem derecelerinin tayin edilmesini hedeflemiştir. Sonuç olarak %42 oranıyla en önemli ünitenin su arıtma tesisi olduğu tespit edilse de hiçbir ünitenin birbirine üstünlüğü olmaksızın su dağıtım sisteminin ayrılmaz bir parçası olduğu vurgulamaktadır [22].

3. İÇMESUYU TEMİN VE YÖNETİMİ

Bu bölümde, içme suyunun elde edildiği noktanın etüt edilerek tayin edilmesi, kullanıma sunulmasından önce içme veya kullanım amacına uygun olarak sahip olması gereken özelliklere ait bazı mevzuatsal limit ve zorunluluklara ilişkin bilgiler verilecektir.

Ayrıca, temin edilecek suyun nihai tüketiciye ulaştırılmasını sağlayacak tasarımlarda dikkat edilmesi gereken parametreler ve yapılması gereken zorunlu hesaplamalara ilişkin bilgiler aktarılacaktır. Yapılacak hesaplamalardaki gerekli olan temel bilgiler, bu hesaplamalar neticesinde inşa edilecek olan içme suyu dağıtım sistemi içerisindeki; sanat yapıları, bazı mekanik ekipmanlar ve özellikleri ile bunlara ilişkin temel bilgilerden bahsedilecektir.

3.1. İçme Suları ve Özellikleri

Canlılar için ana yaşam maddesi olan suyun dünyada eşit yayılmış halde ifade etmek zordur. Global popülasyonun %35'i hali hazırda su fakirliği çekmektedir ve bu yüzde günden güne yükselmektedir [23]. Geçmişte yalnızca sulama, taşıma ya da gündelik gereksinimleri karşılamak amacıyla ihtiyaç duyulan su, mevcut yaşantımızda enerji gereksiniminde, sanayide ve buna benzer alanlarda kullanım alanına sahip olmaktadır. Su problemi bulunmayan ülkeler dahi gündelik teknolojik değişiklerle oluşan su ihtiyacını göğüsleyebilmek için keşfedilmemiş su kaynaklarının bulunmasına çalışmaktadır.

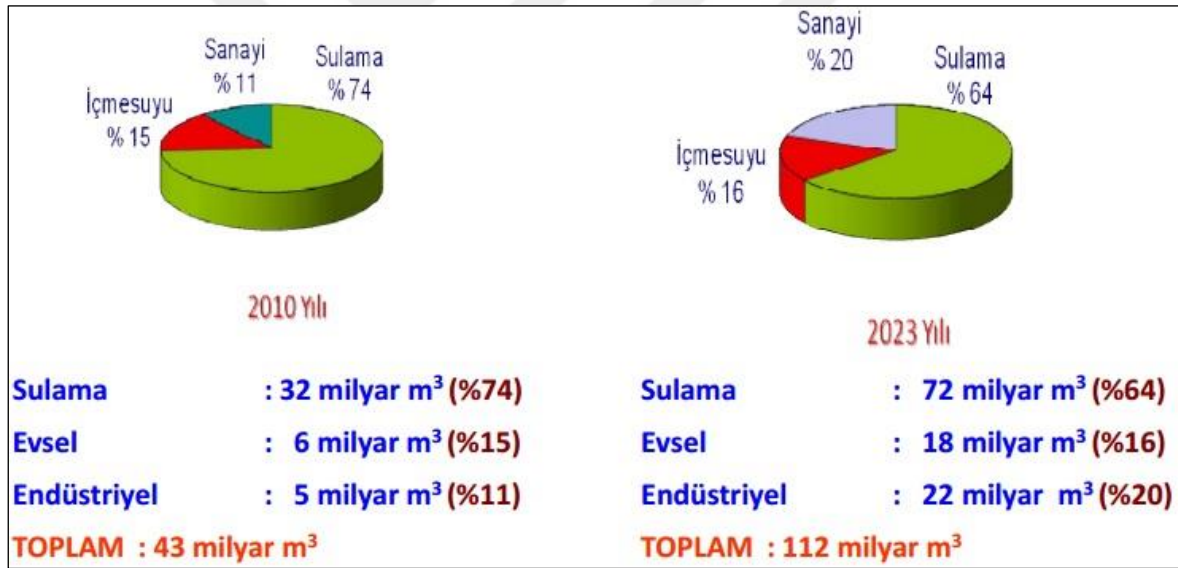
Yeryüzünde şu anda 1,39 milyar km³ su var olmakta; bu suların %97,9'u tuzlu, %1,9'u ise tatlı su kaynaklarında meydana gelmektedir. Tatlı suların da %96,9'u yerin altındaki su kaynaklarından elde edilebilmektedir. Yaşadığımız Dünya'da yer altı sularının kirliliğini önlemenin en tesirli yöntemi olan atıksu sistemlerinin varlığının ne derece önemli olduğu bu sebeple de dikkatle irdelenmelidir [23].

Ülkelerin yeryüzünün altındaki ile üstündeki su kaynakları kendi aralarında kurdukları ilişkileri tayin eden bir unsur olup, mevcutta sahip oldukları temiz olarak adlandırılan su kapasitelerinin coğrafi konumlarının payı ile su döngüsündeki yüzdelerinden artı kalan parçanın nüfus yoğunluklarına oranlanmasıyla temiz su kaynakları açısından zengin olduğu ya da olmadığı da ortaya çıkmaktadır. Fert başına isabet eden bir yılda tüketilen temiz su miktarının 10 000 m³ veya daha fazla olan ülkeler temiz su potansiyeli açısından zengin

lkelerdir. Türkiye'nin güneyindeki komşularına nazaran sahip olduğu temiz suyun fazla olduğu ama bu açıdan zengin bir ülke konumunda bulunmadığı bilinmeli ve temiz su kaynakları boşa harcanmadan; sürdürebilir haliyle tüketilmelidir [24].

Türkiye, yüzölçümü yaklaşık 780.000 km² büyüklüğünde olup günümüzde bu alanın takribi %2'si su ile kaplı durumdadır. Ülkemiz, yıllık ortalama yağış açısından 500 milyar m³ potansiyele sahipken, 94 milyon m³'nden efektif olarak faydalanabilmektedir.

DSİ (Devlet Su İşleri), 2023 yılı verilerine göre, Türkiye'nin faydalanılabilir tüm temiz su varlıkları 12,9 milyar m³' yer altında, 96 milyar m³' ise yer üzerinde olmakla birlikte toplam 109 milyar m³/yıl'dır. Belirtilen temiz su hacimleri, bölge ya da mevsimlere göre değişiklik göstermektedir [23].



Şekil 3.1. Türkiye'de suyun kullanım alanları [25]

Belirtilen temiz suyun %35 kadarı konutsal, tarımsal, sanayi amacıyla kullanılan alanlarda istifade edilmek üzere ayrılmış olmakla birlikte, diğer %65 kadarından henüz kullanılmamaktadır. Dolayısıyla diğer bu temiz su kaynaklarının istifade edilmek üzere sunulması, var olan temiz su kaynaklarının gözetilmesi, ülkemizin döngüsel olarak temiz suyun sürdürülebilirliğinin sağlanması amacı noktasında da önemlidir. Bu konuda ülkemizde lüzumlu olan önlemleri almak, kontrollerini sağlamak maksadıyla muhtelif yönetmelikler aracılığıyla düzenlemeler yapmaktadır [26].

3.2. İçme Sularına İlişkin Mevzuatlar

İçme sularının temin ve dağıtılmasında, kullanım amacına göre belirli kriterlere uyulması, gerek canlıların sağlığı açısından gerekse kullanım alanı özelliğinin gerekliliğinin karşılanması açısından önemlidir.

Bu nedenle, suyun kalitesinin kullanım amacına uygunluğunun ve bu uygunluk kriterlerinin belirlenerek takibinin standartlar dahilinde yapılabilmesi için ulusal veya uluslararası birçok mevzuat bulunmaktadır.

3.2.1. Su kirliliği kontrol yönetmeliği (temiz su kaynakları konusundaki atıfları)

Çevre Kanunu'na ait sekizinci madde kararları uyarınca Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 1988 senesinde teşkil edilmiş ve 2022 senesinde gündelik ihtiyaçlara göre tekrardan düzenlenmiştir. Temiz suyun kaynakları için, bu yönetmelikle birlikte kullanım alanları açısından nitelik sınıflandırılması yapılarak; temiz içme suyunun kalitesinin gözetilmesini sağlamak amacıyla gerekli düzenlemeler ile uyulması gereken kuralların oluşturması hedeflenmiştir [27].

3.2.2. İnsani tüketim amaçlı temiz sular hakkındaki yönetmelik

Avrupa Birliği ile devam edilen üyelik müktesebatları çerçevesinde, kurul talimatlarına eşdeğer olmak üzere, Umumi Hıfzıssıhha Kanunu ile Sağlık Bakanlığı görev ve yükümlülükleri konularındaki yasa hükmünde kararname uyarınca İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY) teşkil edilmiştir.

Yönetmelikle hedeflenen İnsan tüketiminde kullanımı amaçlanan suların, sağlık yönünden, haliyle muhteva etmesi gerekli nitelikleri belirlemektir. Memba yani kaynak suları ile temiz içme suları tedarikinin yapılması, paketlenmesi, kullanıma sunulması ve bunun gibi konulardaki usul ile esasları muhteva etmektedir [27].

3.2.3. Türk Standardı (içme suları yönünden-TS)

Nitelikleri standartlaştırmak maksadıyla insan tüketimi maksadıyla sunulan temiz sulara ait Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nce ortaya konulan standartlara uygun olarak TS 266 numaralı Türk Standartları hazırlanmıştır.

Bu standart ile suyun mikrobiyolojik içeriğine, organik ve inorganik kimyasal muhteviyatına, renk-tat-koku vb. gibi fiziksel özelliklerine ilişkin limit değerler belirlenmiştir.

3.3 İçme Suyu Tedariği ve Sunulması

İnsan vücudunun %90'ı sudan oluşmakta olup su yaşayan tüm varlıkların temelinde yer almaktadır. Gerek hayvanlar gerekse insanlar aç olarak günlerce hayatını idame ettirse dahi su olmadan uzunca bir süre varlığını sürdürmesi mümkün değildir. Yaşam sahası nitelikleri doğrultusunda ihtiyaç duyulan miktarlarda değişiklik olsa bile herhangi birinin temiz su veya diğer kullanımları amacıyla ortalama gündelik tüketimi 240-280 lt mertebesinde dir. Bu sebeple, insanların standart ve mevzuatlara uygun nitelikte, günümüz teknolojik gereksinimlerine paralel olarak suya ulaşımını mümkün kılmak, şehirleşmenin ön plana çıktığı yaşadığımız yüzyıl içerisinde yerel yönetimler açısından öncelikli görevler arasında yer almaktadır [26].

Sular, kullanıldığı tüketim alanları ile temin edildiği kaynakları gözetildiği iki farklı grupta ele alınabilir. Tüketim alanlarına bakıldığında; içme amacıyla kullanılan sular, tarımsal sulama amaçlı yararlanılan sular ve sanayide kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan sular bu kapsamda yer almaktadır.

Türkiye açısından, yararlanılabilir su zenginliği yaklaşık 109 milyar m³/sene mertebesinde olmakla birlikte, %40 kadarlık kısmından ancak yararlanılabilmektedir. Faydalanılan söz konusu bölümün kullanım amaçlarına göre taksimi yapıldığında 31,9 milyar m³ kadarı sulama amaçlı olmak üzere, 7,1 milyar m³ kadarı içme amacıyla kullanılan sular ile 5 milyar m³ kadarından da endüstriyel faaliyetlerde yararlanılmaktadır [25].

Elde edildiği yere bakıldığında sular; yerin altından veya yerin üzerinden elde edilenler olarak iki grupta ele alınabilir. Yer üstü (yüzey) suları nitelik derecelendirmesine bakıldığında; çok kaliteli, orta veya az kirli, kirli ve aşırı/çok kirli su kaynakları olarak sınıflandırılmıştır. Yerin altından temin edilen sular 3 ayrı alt başlıkta ele alınabilir. Temiz içme suları birinci sınıf kalitede; arıtma işlemi neticesinde içme amacıyla sunulabilen ya da doğrudan endüstri ile tarımsal sulama maksadıyla kullanılabilecek olan sular ikinci sınıf kalitede, amacına uygun olarak diğer niteliklerine göre arıtılması akabinde faydalanılan sular da üçüncü sınıf kalite olarak sınıflandırılmaktadır. Yerin altındaki ve yerin üzerindeki suların, tedarik edildiği noktaya göre ifade edildiği hali Çizelge 3.1 altında yer almaktadır [27].

Çizelge 3.1. Temin edildiği yere göre su kaynakları [27]

SU KAYNAKLARI	
Yerin altındaki sular	Yüzey (yer üstü) su kaynakları
- Taban su kaynakları - Tabaka su kaynakları - Artezyen kaynaklar - Karstik su kaynakları - Yamaçlardaki su kaynakları - Tabaka su kaynakları - Vadilerdeki su kaynakları - Fay hareketi sonucu oluşan su kaynakları - Gayzer su kaynakları	- Akarsu - Göl - Okyanus/Deniz

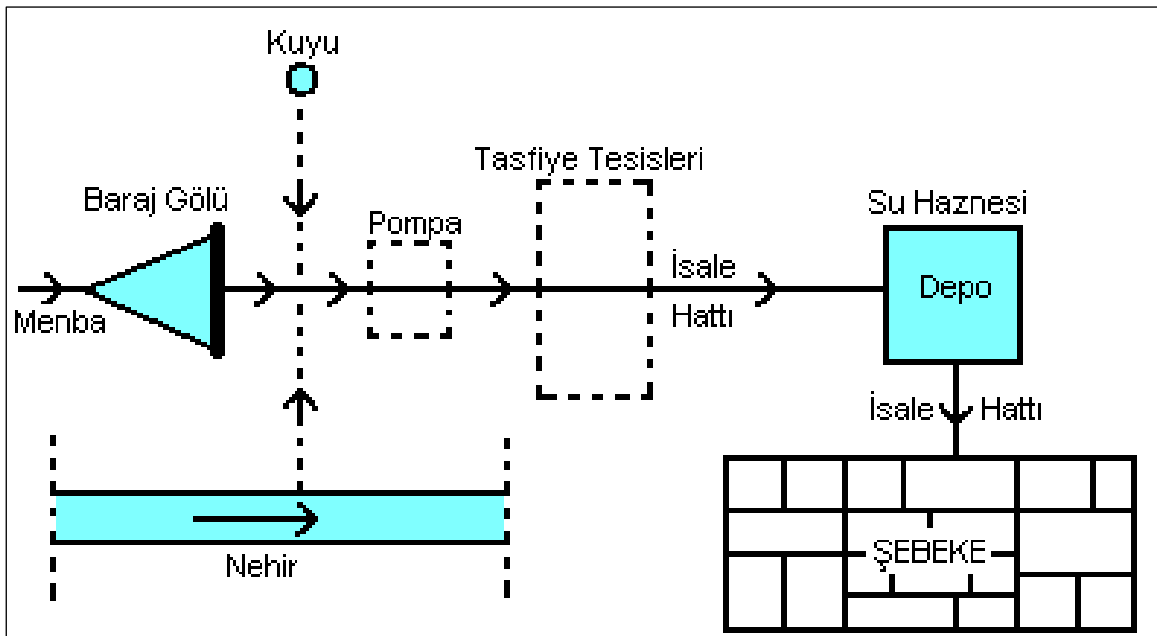
İnsani kullanım amacıyla sunulacak içme suyu kaynakları, mevzuatlardan; Su kirliliğinin kontrolünün sağlandığı yönetmelik, İnsani kullanım amacıyla sunulan sular hakkında kuralları içeren yönetmelik ile Türk standartları uyarınca yeterli ve gerekli niteliklere sahip duruma getirilmesi akabinde sunulmaktadır.

3.3.1. İçme sularının servis edilmesi

İçme suyu tedarik ile servisinde belli başlı unsurlar yer almaktadır. Bu unsurlar; suyun alındığı sanat yapıları, tahliye (tasfiye) tesisleri, terfi (pompa) istasyonları, lüzumlu

görüldüğü takdirde vantuz yapıları, isale veya iletim hatları, hatları, servis ya da ham su depoları, mesken (abone) bağlantıları ile şebeke hatlarından oluşmaktadır.

Suyun alındığı noktanın kotu, sistemin cazibeli veya terfili olup olmayacağını ortaya koyan temel unsurdur. Her tasarımda, sürdürülebilir bir su iletimi sağlamak amacıyla öncelikle varsa yüksek kottaki bir su kaynağı bulunması amaçlanmaktadır. Bu sayede ilave enerji maliyeti doğmadan, hatta belki bu kottan doğan enerjiden kazanım elde edilerek su dağıtımı gerçekleştirilebilecektir.



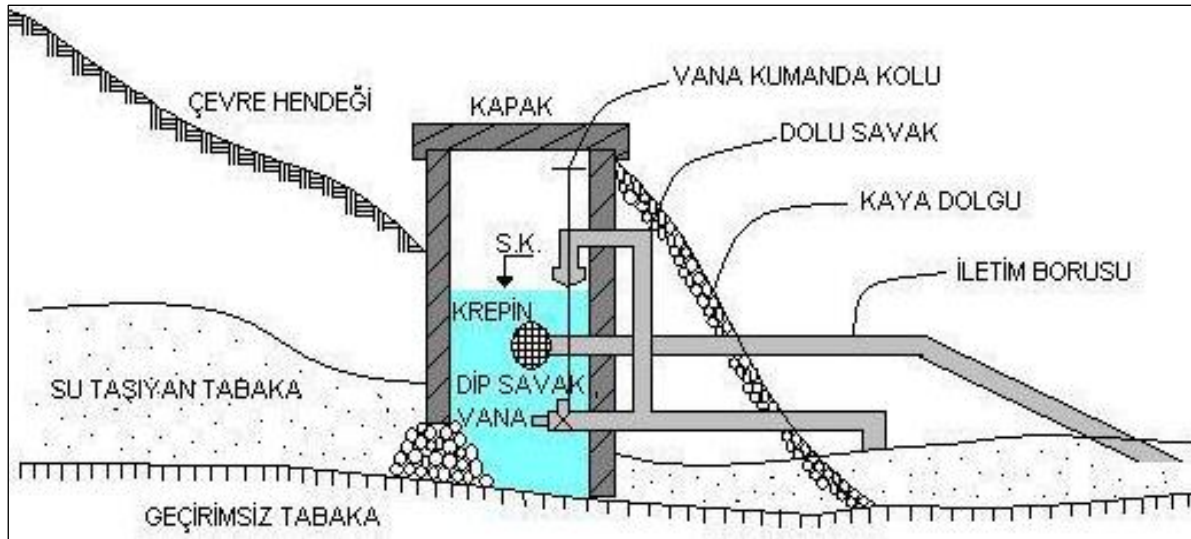
Şekil 3.2. Su tedarik ve servis yapıları [28]

3.3.2. Su alma maksatlı yapılar

Yerin altındaki veya yerin üzerindeki su kaynaklarının, tayin edilen alandaki mevcut durumdaki ya da gelecekteki temiz su gereksinimini hesaba katarak tedarik edebilmek amacıyla kullanılan tesislerdir. Bunların arasında; pınarlar, kuyular, ırmak, barajlardan veya göllerden tedarik edilen sular yer almaktadır. Tespit edilen kaynağın aktarımının sağlanmasından evvel, devamlılık oluşturmak, niceliğinin uygun olup olmadığının veya hayata geçirilmesi noktasında yatırım maliyetinin iyi irdelenerek teknik ve ekonomik açıdan elverişli olan kaynağın belirlenmesi sağlanmalıdır.

Kaptajlar, içme sularının tedarik edilebilmesi amacıyla elde gerek yüzeysel gerekse yüzeye doğru kaynayan temiz suların toplanarak içini alınmasını sağlayan sanat yapısıdır. Drenfleks de denilen drenaj boruları yardımıyla yüzeysel olan ya da yüzeye çok yakın noktada kaynayarak yüzeye ulaşmaya çalışan sular içerisine alınır.

Çevresel hendek marifetiyle zararlı dış unsurlarının su kaynak alanına yaklaşmaması sağlanmaya çalışılır. Akabinde, borunun çevresinin tamamıyla çakıllarla bezenerek filtreleme işlevinin yerine getirilmesi boruların içerisine dolan temiz su, kaptaj içerisindeki toplama kısmında elde edilmiş olur [29].



Şekil 3.3. Kaptaj odası [29]

3.3.3. Pompa (terfi) istasyonları

Suyun temin edildiği yerdeki potansiyel enerjisine karşılık, servis (abone) bağlantısının yer aldığı son yer arasında iletiminin gerçekleşebilmesi amacıyla harcanması gereken enerji miktarının daha fazla olması durumunda yani cazibe etkisinde membadan mansaba aktarımının sağlanamadığı halde, servisi yapılacak olan suyun ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak maksadıyla mekanik terfi pompalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Servis edilecek suyun miktarına karşılık akımı, son noktada ihtiyaç duyulan enerjinin miktarı ile iletiminde yer alan gerek borular gerekse dirsek, vana, redüksiyon ve ölçüm noktalarındaki sürtünmeye bağlı kayıplar gözetilerek terfi pompası özellikleri belirlenir ve yer alacağı oda tasarımı yapılır.

İsale veya iletim hatları ile suyun temin edildiği yapı olan kaptaj veyahut derin kuyudan; ham su ya da servis deposunun yer aldığı kota, oradan da şebeke ağı örgüsündeki konum olarak en üst kottaki servis noktasındaki aboneye sunulacak temiz suyun kendi enerjisiyle taşınamayacak olması durumunda, pompa/terfi istasyonlarındaki föyüne uygun olarak tedarik edilen bu pompalar vasıtasıyla ulaştırılabilmektedir.

Günümüzdeki iklim değişikliği senaryoları ve karbon sıfır hedefleri gözetildiğinde, bu istasyonların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenmesi sürdürülebilir su döngüsü açısından da büyük önem arz etmektedir.

Terfi merkezlerinde pompalar, titreşimin yapı temeline zarar vermemesi amacıyla kaide betonlarının üzerine oturtulmaktadır. Birleşim yerleri demontaj parçalarıyla, çap azaltımlarında geçişler redüksiyonlar, çap artışlarında ise indüksiyon marifetiyle süreklilik sağlanmakta olup, vana ve diğer ekipmanlar bu istasyonlarda boru ile pompa arasında yer alan mekanik enstrümanlardır.



Resim 3.1. Terfi istasyonu ve pompalar (Tekirdağ/Çerkezköy terfi istasyonu)

3.3.4. İletim (isale) hattı

İsale/iletim hatları, kaptaj yapısı ile depo veya depo ile şebeke ana borusu arasında bağlantı kuran borulardır. Bu hatlarda kullanılan borular, şebeke hatlarına kıyasla çok daha geniş çaplara sahiptir. Bu durum, hatlarda meydana gelebilecek arızaların onarımını zorlaştırır ve büyük bir bölgeye su iletiminin kesintiye uğramasına neden olabilir. Bu nedenle, isale hatlarının inşaat aşamasında dikkatli ve özenli bir çalışma gereklidir.

3.3.5. Depolama yapıları

Suyun iletilmesi gereken bölgedeki ihtiyaç debisi hesaplanarak, suyun sürekliliğini sağlamak amacıyla stoklandığı tesislerdir. Bu tesisler, kaynaktan elde edilen debinin zaman ve kullanım durumuna göre sürekli sağlanamayacağı göz önünde bulundurularak tasarlanır.

Bir diğer yapım nedeni ise, yüksek bir noktaya inşa edilen deponun, suyun kaynaktan doğrudan bu noktaya terfi ettirilerek şebeke ağına ek enerji harcamadan iletilmesini sağlamaktır.

Depolar, kullanım alanına göre çeşitli hacimlerde ve genellikle betonarme olarak gömme veya ayaklı biçiminde yapılır. Su tüketiminin en yüksek olduğu zamanlarda, depoya ulaşan su miktarı ile ihtiyaç arasındaki dengeyi optimize edecek şekilde projelendirilen depolar, 10-30.000 m³ arası bir kapasite skalasında ve nüfus-tüketim değerlerine göre tasarlanır.

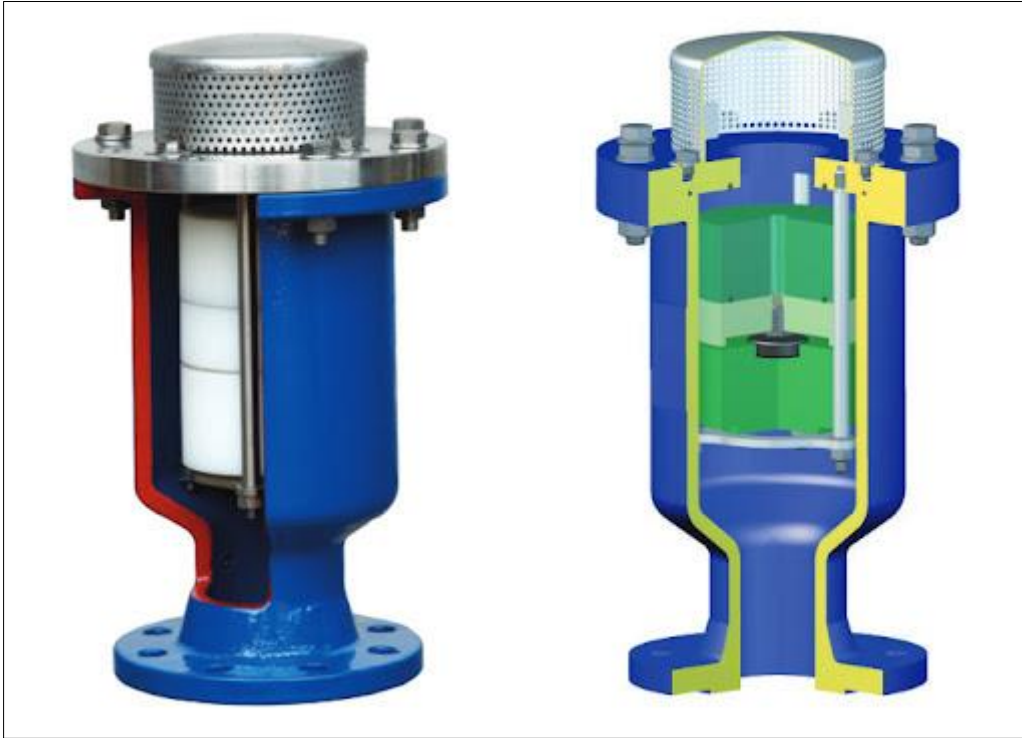
3.3.6. Tahliye odaları veya yapıları

İletim veya şebeke hatlarının alçak kotlarına yerleştirilen bu sistem elemanları, bakım-onarım çalışmaları veya hat içindeki suyun boşaltılması sırasında biriken tortuları temizlemek için kullanılır. İçme suyu inşaatlarında, bu tür sistemler hattın temizlenmesi ve bakımının kolaylaştırılması amacıyla uygulanır.

Tahliye edilecek su miktarı, en yüksek nokta ile tahliye noktası arasındaki mesafenin boru alanıyla çarpılması yoluyla hesaplanır. Tahliye edilen suyun çevreye zarar vermeden süzülmesi veya su yatağı ile uzaklaştırılması için uygun bir bölge belirlenir.

3.3.7. Vantuz odaları veya yapıları

Şebeke veya iletim hatlarının en yüksek noktalarına yerleştirilen bu sistem elemanları, suyun hatta ilk girişinde beraberinde getirdiği havayı tahliye etmek amacıyla kullanılır. Bu elemanlar, içme suyu sistemlerinde suyun sorunsuz akışını sağlamak için önemli bir rol oynar.



Resim 3.2. Şebeke tipi (dinamik) vantuz ile basınç bertarafı (Doğuş vana)

3.3.8. Basınç kırmaya yarayan vanalar ve maslak yapıları

Depodan (en üst kottan) şebekeye aktarılacak suyun, kullanıcıya ulaştırıldığı noktadaki (daha alt kotlar) arasındaki enerji farkı belirli bir seviyede olmalıdır. Bu önemlidir çünkü borular ve bağlantı elemanları, suyun taşıdığı enerjiye karşılık gelen hız ve basınca dayanacak kapasitede üretilmiştir. Suyun başlangıçtaki enerjisi; iletildiği noktanın yüksekliği dolayısıyla sahip olduğu potansiyel enerji, suyun akış hızından kaynaklanan kinetik enerji, basınç ve boru içi sürtünme kayıplarının toplamından fazla olduğunda, geriye kalan enerji sisteme zarar vererek kullanım ömrünü kısaltır ve işletme maliyetlerini artırır. [29].

Bu nedenle, depo ile şebeke arasındaki iletim hattında yüksek düşü yüksekliği olan bölgelerde, suyun hızını ve enerjisini proje kriterlerine uygun seviyeye düşürmek için maslak adı verilen odalar inşa edilmektedir. Bu maslaklar, suyun enerjisini kırarak sisteme zarar vermesini engeller. Günümüzde ise yeterli potansiyele sahip düşü yüksekliği olan yerlerde, maslak yapıları yerine küçük türbinler ile mikro hidroelektrik santraller (HES) kurularak, bu enerjiden ekonomik katkı sağlanabilmektedir.

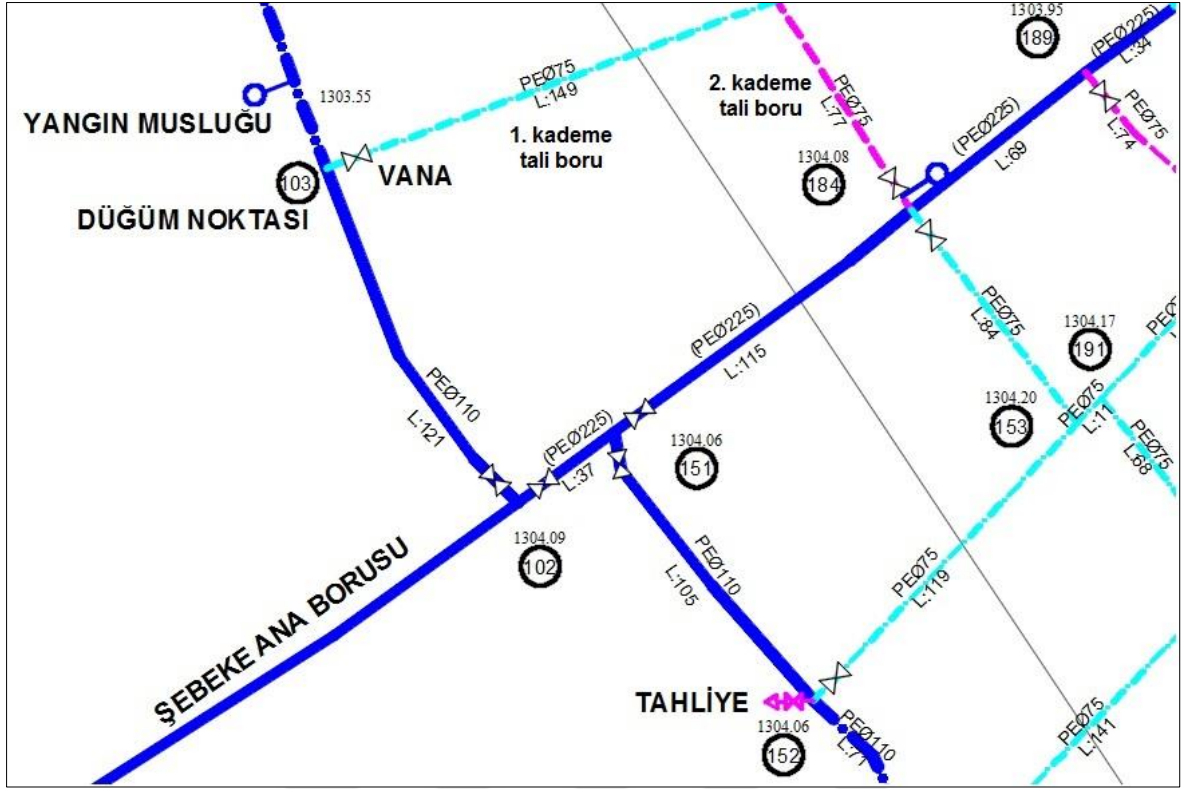
Şebekeler, kotlarına göre gruplandırılarak her bir grup "kat" olarak adlandırılır. Depodan şebekeye inen veya terfi ile ulaşan suyun sahip olduğu basıncın uygun seviyeye indirilmesi için basınç kırıcı vanalar kullanılmaktadır. Bu vanalar, suyun basıncını kırarak en uygun sistem basıncına getirir.

3.3.9. Şebeke ağı

Gereksinim olan söz konusu alandaki konutlara veya iletilecek talep bölgesine temiz suyun aktarılmasını sağlayan içme suyu boru ağı sistemidir. Bu sistem, bölgenin katla sınırlanmış su dağılım miktarına uygun olacak şekilde çeşitli çaplarda borulardan oluşur.

Depodan tüketiciye ulaştırılmak üzere alınan su, cazibeli veya terfili olarak iletim hattı ile şebeke ana borusuna verilir. Şebeke ana borusundan, asıl boruya ve oradan da kollar oluşturarak tali borular yardımıyla tüketicilere iletilir. Şebeke ana borusundan tali hatlara doğru ilerledikçe, basınç ve boru çapı azalır.

Her bir katta bulunan en yüksek kottaki abone dikkate alınarak maksimum basınç yüksekliği 60 m olacak şekilde, atıksu inşaatı projelerinde olduğu gibi hatlar 1. kademe ve 2. kademe olarak projelendirilir. Bunun sebebi imara bağlı gelişmeyi öngörerek henüz ihtiyaç oluşmamış ama gelişmenin yoğunlaştığı bölgelere yapılacak yatırımın zamanı geldiğinde altyapı projesinin hazır edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.4. Su dağıtım şebeke ağının içme suyu planlarındaki gösterimi (İlbank)

3.3.10. Borular

Borular, kullanım yerlerine göre çeşitli çap ve tiplerde gruplandırılan (iletim hattı borusu, terfi hattı borusu, tahliye hattı borusu, şebeke ana borusu, esas boru, tali boru, abone bağlantı borusu) içme suyu projelerinin ana elemanlarıdır.

Boru seçimi, hidrolik hesap kriterleri, basınç sınıfı gerekliliği, maruz kalacağı zemin ve trafik yükü ile diğer projelendirme kriterleri göz önünde bulundurularak yapılır. Borular, genellikle üretildikleri hammaddelerine göre isimlendirilir.

İçme suyu inşaatlarında yaygın olarak kullanılan borular arasında çelik boru, düktil boru, PVC (polivinil klorür) boru, PE (polietilen) boru, PPRC (polipropilen) boru, CTP (cam takviyeli plastik) boru, font boru ve asbestli çimento boru bulunmaktadır.

3.3.11. Vanalar

İçme suyu şebeke ağı içerisinde suyun yönlendirilmesini, boru içerisindeki su miktarını denetim altında tutmayı, bakım ve tadilat amacıyla suyun sadece ilgili bölgede olmak üzere kesilmesini sağlamak ve sistem bütünlüğünü bozmadan korumak amacıyla kullanılan içme suyu inşaatı elemanlarıdır.

Bu elemanlar genellikle içme suyu depolarında, iletim hatlarında, tahliye hatlarında, şebeke ana borularında, esas borularda, tali borularda ve abone bağlantı borularında yer alarak uygulanır.



Resim 3.3. Kelebek tipi vana (Doğuş vana)

Çekvalf (tek akış yönlü) vanalar, suyun akış yönünün tersine kaçmasını önlemek için kullanılır ve genellikle depolarda, iletim ve terfi hatlarında yer alır. Sürgülü vanalar veya kelebek vanalar ise sistem yönlendirmesi için standart olarak kullanılır ve ana, esas ve tali boru bağlantılarında yer alır. Abone bağlantılarında ise küresel vanalar tercih edilir.

Vana malzemeleri genellikle dökme demir ile çelikten üretilir. Ancak teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, polietilen boruların tercih edilmesi ve sistem elemanlarının uyumlu çalışabilmesi amacıyla polietilen vanalar da içme suyu inşaatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Polietilen vanaların projelendirme sürecinde korozyona karşı yüksek dirençli, bakım-onarım ve ek imalat çalışmalarına karşı daha toleranslı olacağı öngörülmektedir.

3.3.12. Yangın muslukları

İçme suyunda, inşaatlar projelendirilirken insani tüketimin yanı sıra tarımsal ve endüstriyel kullanım ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmaktadır. Ayrıca, yerleşim yerinde meydana gelebilecek olası bir yangın durumunda gerekli olabilecek debi de hesaba katılarak proje debisi belirlenir. Bu proje debisi, içme suyu depolarında olası acil durumlar için sisteme verilmeye hazır şekilde tutulur.



Resim 3.4. Yangın hidrantları (Yangın muslukları/Kayseri-Yahyalı)

Günümüzde büyük şehirlerde yangın hidrantları (yangın muslukları) yaygın olarak bulunur ve projelendirme aşamasında yerleşim yoğunluğu yüksek bölgelere ortalama 150 metre aralıklarla yerleştirilmeleri planlanır.

Yangın musluklarının konumlandırılmasında öncelikli olarak toplu kullanım alanları veya toplu kullanıma ait binaların önüne konulması (okul binaları, kamu yapıları, iş merkezleri vs.) tercih edilir. Ayrıca, ulaşımın zor olduğu veya araç giriş çıkışının sıkıntılı olduğu sokaklara yangın muslukları yerleştirilerek, olası can kayıplarının önüne geçilmesi hedeflenir.

Yangın hidrantları direkt yangına müdahale edilmesini sağlamasının yanı sıra, itfaiye araçlarının müdahale esnasında tankına su ikmali yapabilmesine de olanak tanımaktadır.

3.4. Etüt Çalışmaları

İçme suyu iletim ağının oluşturulmasında ilk adım, suyun temin edileceği kaynağın belirlenmesidir. Ardından, memba olarak adlandırılan bu kaynak noktasından, suyun dağıtılacağı son alan olan mansap bölgesine kadar olan süreç, bu bölgelerin özellikleri ve ihtiyaçlarına göre planlanır.

İçme suyu dağıtımında hazırlık etaplarına geçilmeden hemen önce su kaynağının güvenilirliği sağlanmalıdır. Proje ömrü boyunca varlığını sürdürebilecek kaynaklar tercih edilmeli ve bu kaynakların hak sahipliği konusunda yerel yönetimlerden gerekli yasal izinler alınmalıdır.

Kaynak seçimi yapılırken, ekonomik açıdan yerleşim yerine en yakın mesafedeki kaynaklar tercih edilmelidir. Ayrıca, bu kaynaklardan suyun yer çekimi etkisiyle tüketiciye ulaştırılması hedeflenmelidir.

İçme suyu niteliğine sahip olan sular, küçük su kaynaklarını birleştiren veya su kaynağını kirlilikten koruyan kaptaj yapıları ya da kuyulardan pompalar aracılığıyla elde edilir. Bu sular, isale (iletim) hatları ile yüksek kotlardaki su depolarına taşınır. Aynı isale hatları, suyu bu depolardan şebeke hatlarına ileterek tüketicilere dağıtır.

Su kaynağının özelliğine göre, kaptaj yapıları veya kuyu üzeri pompa istasyonları kullanılır. İletim ve şebeke hatları üzerine tahliye veya vantuz yapıları yerleştirilir. Ayrıca, ayaklı veya gömme su depoları, basınç/enerji kırıcı maslak ve vanalar, şebeke ağı elemanları (boru, flanş, dirsek, bransman, tapa ve vanalar), abone bağlantı elemanları ve yangın muslukları da içme suyu inşaatının önemli bileşenlerindendir [30].

İçme suyu tasarım etaplarının etüt kısmında, kanalizasyon inşaatlarındaki yöntemlere benzer bir süreç izlenir. İlk olarak, projenin yapıldığı yıl mevcut nüfusa göre kişi başına düşen evsel su tüketim miktarı seçilir (Çizelge 3.2). Proje ömrü, genellikle uzun vadeli olarak 35 yıl kabul edilir ve bu süre zarfında ulaşılması beklenen nihai (hedef) nüfus belirlenir. Nihai nüfus, Çizelge 3.2' deki mevcut nüfusa göre seçilen kişi başı tüketim debisi ile çarpılarak ihtiyaç duyulan su debisi hesaplanır. İnsani tüketim dışındaki bu debilere, mevcutsa ilave tarımsal ve endüstriyel alanlarda ihtiyaç duyulan debiler de eklenir [30].

Çizelge 3.2. Evsel nitelikli sulara ait tüketim debileri [30]

Projenin yapıldığı yıla ait nüfus (N - kişi)	Evsel birim su tüketimi ($Q_{evsel} - \frac{lt}{kişi/gün}$)
$N \leq 50\ 000$	80 - 100
$50\ 000 < N \leq 50\ 000$	100 - 120
$100\ 000 \leq N$	120 - 140

İçme suyu tesislerinin inşa edileceği bölgede tercih edilen güzergahlara göre harita çalışmaları yapılırken, mülkiyet durumu ve alt yapı tesislerinin durumu dikkatlice değerlendirilmelidir. İçme suyu hatları, kanalizasyon hatlarından farklı olarak, doğal zemin kotuna daha yakın bir şekilde inşa edildiği için bu unsurların iyi bir şekilde planlanması önemlidir. Bu nedenle, mevcut altyapı tesisleri ve mülkiyet durumları göz önünde bulundurularak, su hatlarının güzergahı titizlikle belirlenmelidir.

3.4.1. Nüfus hesaplamaları

Altyapı işlerinin ön hazırlık aşamasında, gerekli debinin belirlenmesi amacıyla nihai nüfusun tespiti için kullanılan yöntemler genellikle aynıdır. En sık tercih edilen yöntemler arasında aritmetik artış metodu, eksponansiyel artış metodu ve İller Bankası metodu yer alır. Projenin yapıldığı sene ve önceki senelere ait veriler dikkate alınarak, hizmet süresine göre hedef yıl için nüfus tahmin modellemeleri oluşturulur. Hidrolik hesaplamalara başlamadan önce, ilgili idare ile değerlendirmeler yapılarak optimum nüfus sonucuna ilişkin veriler baz alınarak projelendirme yapılır.

3.4.2. Mevcut durum ve coğrafyanın ele alınması

İçme suyu işleri bünyesindeki elemanlar belirlerken topografya özellikleri oldukça önemli bir rol oynar. Arazinin engebeli olduğu durumlarda tahliye ve vantuzlar devreye girer. Suyun elde edildiği krepin (suyun çıkış noktasındaki süzgeç başlık) taban kotuna bağlı olarak iletim hattı düşü yüksekliği fazla ise maslak ve basınç kırıcıların kullanılması gerekebilir.

Topografyanın inişli çıkışlı olduğu ve farklı kotlarda yerleşimin bulunduğu bölgelerde (örneğin Karadeniz Bölgesi), suyun abonelere ulaştırılabilmesi için yüksek işletme basınçları kullanılır. Bu durum, yüksek basınç sınıfına ait boruların kullanılmasını gerektirir.

Mevcut durum ve yapılaşma planları ortaklaşa ele alınarak aplikasyon çalışmaları etüt ve proje aşamasında yapılır. Aplikasyon alanındaki bölgesel kot farkları belirlenir ve bu bilgilere dayanarak en az işletme basıncı 19-20 m, en fazla işletme basıncı ise 55-60 m olarak belirlenen şebeke basınç katları oluşturulur. Bu basınç yükseklikleri gözetilerek şebeke katları belirlenir ve en uygun boru tipi ile uygun çapları seçilerek kullanılır. [30].

3.4.3. Jeomorfolojik durum

Jeolojik etüt işleri çalışmaları sırasında kazılan rasat kuyularıyla lokal zemin parametreleri belirlenir ve bu bilgiler doğrultusunda hendeğin kazı işlerinin nasıl yapılacağı, hendeğin geri dolgusunda kullanılacak malzemenin nasıl değerlendirileceği gibi proje detaylarına karar verilir.

İnşaatin gerçekleştirileceği sahanın jeolojik nitelikler değerlendirilirken, alanın deprem riski de detaylı bir şekilde incelenmelidir. Yüksek deprem riski olan bölgelerde, esnek yerine rijit boruların tercih edilmesi gerekebilir. Esnek borular zemin titreşimlerini tolere edemeyebilir ve bu durum bağlantı noktalarında çatlaklara veya kopmalara yol açarak işletme sorunlarına neden olabilir. Bu sebeple, jeolojik ve depremsellik özelliklerin dikkate alınması, doğru boru tipinin seçilmesi ve uygun inşaat yöntemlerinin uygulanması son derece önemlidir [29].

3.5. Hidrolik Raporlar

Sisteme gönderilecek temiz suyun temin edildiği nokta ile hedef kitle tayin edildikten sonra, su hatlarının geçeceği güzergâhlar belirlenir. Bu süreçte, güzergâh üzerindeki eğimler, dirseklerle teşkil edilen manevralar ve kot farkları detaylı bir şekilde dikkate alınır. Bu bilgiler doğrultusunda hidrolik hesaplamalar yapılarak raporlanır.

3.5.1. Debinin hesaplanması

$$Q_{max} = 1,5 * Q_{iletim} + Q_{yangin} \quad (3.1)$$

Temiz içme sularının temin ve iletiminde, iletim debisinin hesaplanması sırasında evsel nitelikli tüketimin (Çizelge 3.2) yanında tarım amaçlı veya hayvansal niteliğe ilişkin tüketim, sanayiye bağlı kullanım ihtiyacı ve özel kullanım alanları için gereken debiler de nüfusa göre hesaplanır. Bu değerlendirme sonucuna 1,5 katsayısı uygulanır. Bu katsayı, günlük su tüketiminin 24 saatlik süre içinde pik dönemlerde genellikle 1,5 kat arttığını dikkate alarak sistem ihtiyacını genişletmek amacıyla kullanılır [28].

Sistem gereksinimi belirlendikten sonra, yerleşim yerinde olası bir yangın durumunda gereksinim duyulacak su miktarı, hedef nüfusa göre belirlenen yangın suyu miktarı tablosundan seçilir (Çizelge 3.3). Bu iki debi toplanarak tasarım için pik debi hesaplanır ve bu debiye göre hat işletme hızı, çapı ve basıncı hesaplamaları Eşitlik (3.1)'e göre yapılır.

Çizelge 3.3. Yangın debisi olarak su ihtiyacı [30]

Zon Nüfusu (kişi)	Eşzamanlı Yangın Sayısı	Yangın Süresi (sa)	Yangın Başına Yangın Suyu Miktarı (l/s)		Yangın Suyu Hacmi (m3)	
			İki Katlı Binaların Olduğu Yerleşim Alanı	Uç Kat ve Üzeri Binaların Olduğu Yerleşim Alanı	İki Katlı Binaların Olduğu Yerleşim Alanı	Uç Kat ve Üzeri Binaların Olduğu Yerleşim Alanı
<5.000	1	2	5	10	36	72
5.001-10.000	2	2	5	10	72	144
10.001-25.000	2	2	10	15	144	216
25.001-50.000	2	2	15	20	216	288
50.001-100.000	2	3	15	20	324	432
>100.000	2	5	-	25	-	900

3.5.2. Basınç parametreleri ile hız ve çap

Boru hattından geçen suyun hızı yaklaşık 0,9-1,4 m/sn olmalıdır [39] Ayrıca, hızın 2 m/sn'den fazla olmaması için içme suyu tesislerinde işletme performansının optimum düzeyde tutabilmesi temin edilmelidir. Aksi takdirde iletilen suyun sahip olduğu hız ve buna bağlı oluşan kinetik enerji hem boruda hem de bağlantı noktalarındaki mekanik ekip ve ekipmanlarda aşınma veya arızalara yol açabilecektir.

Boru içindeki suyun hızının optimum düzeyde tutulmasıyla kazanılan kinetik enerjiyi olumlu yönde kullanırken, suyun boru içinde veya depoda bulunduğu kota göre sahip olduğu potansiyel enerjiyi ve statik basıncı da sınırlar içinde tutmak önemlidir.

Bu aşamada suyun iletimi sırasında boruda oluşan sürtünme, dirsek, vana gibi kayıplar da hesaba katılarak debiye uygun hız-çap değerleri belirlenir. İller Bankası A.Ş. tarafından içme suyu projeleri tasarımıdaki hidrolik hesaplamalarında ağırlıklı olarak Eşitlik (3.2)'deki Williams-Hazen formülünün kullanması tercih edilmektedir.

$$Q = 0,279 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad (3.2)$$

Q = Debi (m^3/sn)

C = Boru türüne bağlı katsayı (Çizelge 3.4)

D = Çap (metre)

J = Boru tabanı eğimi (hidrolik eğim)

Hidrolik eğim: aşağıda belirtilen Darcy-Weisbach formülünden yararlanılarak hesaplanan, iki farklı kota ilişkin hidrolik kayıp; hesaba konu bu farklı kotların arasındaki uzaklığa oranlanması ile tayin edilir. Boru uzunluğu boyunca sürtünme nedeniyle oluşan enerji kayıpları Eşitlik (3.3) ile hesaplanır.

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.3)$$

h = Hidrolik kayıp (metre)

f = Boru iç yüzeyi sürtünme katsayısı (birim içermez.)

L = İki farklı kot arasındaki uzaklık (metre)

D = Boru çapı (metre)

V = Borunun içerisindeki ortalama suyun hızı (m/sn)

g = yer çekimine bağlı ivme (m/sn^2)

Williams-Hazen formülünde yer alan boru türüne bağlı olarak değişen C değerleri Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Kota bağı kat yüksekliklerine bölünerek projelendirilen şebeke ağında farklı kot bölümlerine uygun olmak şartıyla basıncın en fazla 55-60 metre seviyesinde, minimum ise 19-20 metre bandında tutulması önemlidir. Ayrıca, boru birleşim ve bağlantı yerlerinin basınca devamlı maruz kalması halinde bu kısımlardan da arıza modlarının oluşabileceği ve işletmede sorunlar yaşanacağı unutulmamalıdır [31].

Çizelge 3.4. Boru türüne karşılık ‘C’ değerleri [28]

Boru tipleri	C
Pvc tipi boru	150
Çelik tip boru	118
Düktül tip boru	130
Hdpe tip boru	150
Pprc tip boru	150
Ctp tip boru	150

4. İÇMESUYU İNŞAATLARINDA KULLANILAN BORULAR

Temiz su altyapı tedarikinde, proje parametreleri doğrultusunda (basınç yüksekliği, toprak direnci, gömülü derinlik vb.) tercih edilen boru tipleri, yıllar içerisinde teknolojik gelişimle beraber türler arasında sıklıkla geçiş yaşamıştır. Döküm boruların çelik boruya evrilmesi, asbest boruların sağlığa zararlarının tespit edilmesi neticesinde pvc boruların popüler hale gelmesi, kolay nakliye, muhafaza etme ve döşeme şartlarındaki iyileşmeler nedenleriyle polietilen boruların sıklıkla tercih edilmesi buna örnek gösterilebilir.

Bu bölüm altında, boru arıza türlerindeki farklı araştırmalardaki farklı boru türlerinin özelliklerinin irdelenmesi sağlanarak avantajları ve dezavantaj olacak tarafları ele alınarak farkındalık oluşturulmaya çalışılacaktır.

4.1. Temiz Su Altyapısında Tercih Edilen Borular

Temiz su altyapısında kullanılacak boru tercihinde; boruya etki eden toprak yükü, kaptaj yapısı kotu ile servis edileceği bölge arasındaki kot farkı, öngörülen proje ömrü, ideal işletme özellikleri ile önceki bölümlerde belirtilen tasarım hesap parametreleri dikkate alınmaktadır. Farklı iklim özellikleriyle karşılaşılan bölgelere sahip olsa da ülkemizde en sık kullanılan temiz su boruları; polietilen tipteki borular, çelik spiral kaynaklı borular, içi çimento ortası dökme demir dışı bitüm kaplama olan düktil borular, pvc borular, genellikle sulama hatlarında kullanılan ctp borular, Avrupa'da kullanımı yaygınlaşan ülkemizde de kullanılmaya henüz başlanan o/u-pvc borulardır.

Birleşik Krallık'ta gerçekleştirilen bir araştırmaya göre, 1800'lü yılların sonlarına doğru hayatımızda yer bulan dökme demir borular, 1920'lerde yerini sfero dökme demir ve asbest çimento borulara bırakmıştır. 1950'lerde düktil, çelik ve pvc borular mütemadiyen kullanılmaya başlanmış, 1970'lerden itibaren ise yerini polietilen borulara bırakmıştır [6].

4.1.1. Çelik çekme borular

Çelik çekme borular, spiral kaynaklı olarak helezonik şekilde dökme çelik muhteviyatıyla, haddelenmesi için çok yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak sac formuna getirilmesi, bu

hale getirildikten sonra spiral kaynaklı (dikişli veya dikişsiz) olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir (Resim 4.1).

Olumlu yönleri

- ✓ Yüksek basınç altında çalışabilirler.
- ✓ Çekme dayanımı fazla olduğundan sünek davranış gösterebilirler.
- ✓ Su darbelerine (Water hammer) direnci yüksektir.



Resim 4.1. Çelik çekme boru

Olumsuz yönleri

- ✓ Korozyon altında çabuk deforme olurlar, dayanıklı değildirler.
- ✓ Katodik muhafaza ihtiyaçları vardır.
- ✓ İki boru arası birleşimlerinde kaynak sürekliliğinin devam ettirilememesi ya da bu durumun tespiti amacıyla röntgen çekilmesine karşın tespit edilememesi halinde iç basınç süreksizliği veya sızdırma sorunu oluşturabilir.

4.1.2. Düktil tip borular

Dökme demirin eritilmesiyle likit hale geldiği formda içerisine kalsiyum, baryum, zirkonyum, seryum gibi elementlerin eklenmesi ve karbon, silisyum, manganez, fosfor,

kükürt gibi elementlerin oranlarının düşürülmesi yoluyla; dökme demirin kırılmalılığının azaltılarak, özelliklerinin en uygun hale getirilmesinden sonra santrifüj döküm yöntemiyle elde edilen borulardır (Resim 4.2).

Çelik borulardan ayırt edici özelliğı, döküm yöntemiyle üretilmesi ve bu süreçte kırılmalılığın özellikteki elementlerin yeterli derecede uzaklaştırılmış olmasıdır. Ayrıca, iç kısmının çimento kaplı olması kullanımını sağlık açısından daha uygun hale getirir. Dış kısmı ise çinko ve bitüm ile kaplandığı için katodik ve asidik korumaya sahiptir. Ülkemizde birkaç işletme tarafından üretilmesi ve yüksek miktardaki siparişler dışında ithalatının (Çin, Hindistan gibi ülkelerden) ekonomik olmaması, bu boruların yaygın kullanımını sınırlamaktadır.

Olumlu yönleri

- ✓ Hem sünek karakterli hem de basınç altında dayanıklıdırlar.
- ✓ Yer hareketlerine ve iç basınca dayanıklıdırlar.
- ✓ Korozyona karşı mukavemetlidirler.
- ✓ Toprak cinsinden veya zemin suyundan kaynaklı asitliğe dirençlidirler.

Olumsuz yönleri

- ✓ Santrifüj dökme stiliyle üretilmesinin yanında iç yüzeyindeki çimento, içeriğindeki çinko ile bitüm dış kaplaması nedeniyle üretim maliyeti yüksektir.
- ✓ İthalat yoluyla temin hali, ülkemizde rekabetin olmamasından (tek firma mevcut) kaynaklı birim maliyeti fazladır.



Resim 4.2. Düktil boru üretimi (Samsun Makine Sanayi)

4.1.3. Pvc borular

PVC olarak bilinen, polivinil klorürün kısaltmasıyla anılan plastik boru türüdür. Petrol veya doğalgaz türevi ham madde ile birlikte tuz kullanılarak üretilir. Basınca karşı dayanıklı olmadığından, daha çok içme suyu şebeke uç noktalarında veya bina içi tesisatlarında tercih edilir (Resim 4.3).

Olumlu yönleri

- ✓ Taşınması kolay ve hafiftir.
- ✓ Döşenmesi basittir, yoğun işçilik gerektirmez.
- ✓ Pahalı değildirler ve temini kolaydır.

Olumsuz yönleri

- ✓ Kullanılabileceği yerler (düşük çaplı tali hatlar) kısıtlıdır.
- ✓ Gerek boru üstü yüklere gerekse taşıdığı suyun iç basıncına karşı mukavemetli değildirler.



Resim 4.3. Pvc boru (Derinkuyu/Nevşehir mevcut hat)

4.1.4. PE (Polietilen) içme suyu boruları

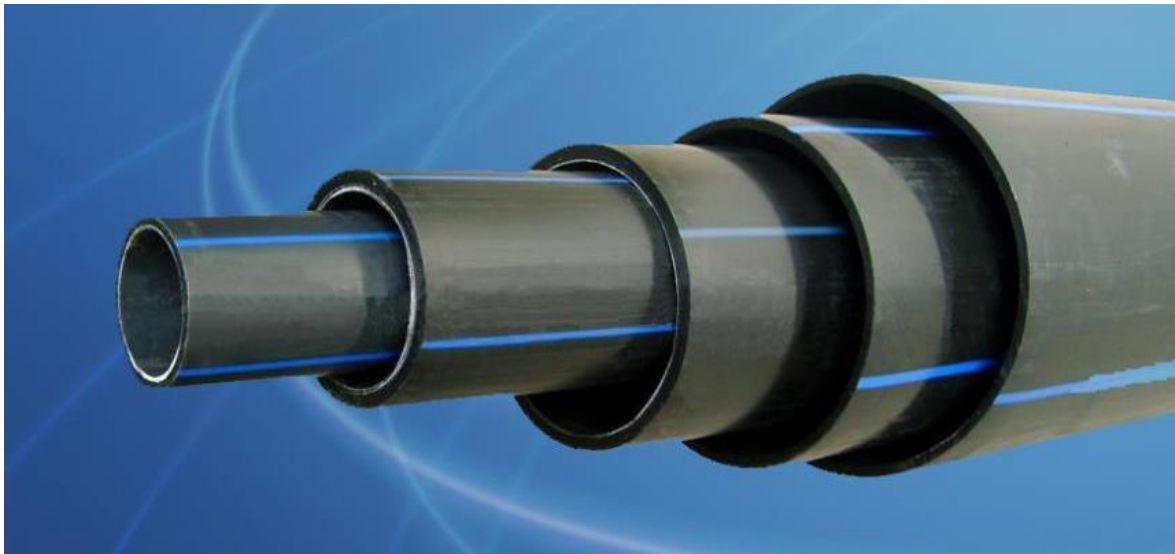
Petrolden elde edilen etilenin gaz formundaki halinin polimerizasyonu ile temin edilen bu boru türü, üretim yelpazesinde 'PE' olarak adlandırılır. İçme suyu tesislerinde sıklıkla tercih edilen PE 100 tipi, en dayanıklı polietilen boru sınıfıdır. PE 100 boruları, PN 4 (4 atm iç basınca dayanıklı = 40 m su yüksekliği) ile PN 32 (32 atm. iç basınca dayanıklı = 320 m su yüksekliği) arasında basınç sınıflarına sahip çeşitlerde üretilir. HDPE olarak bilinen boru ile PE 100 boru aynıdır (Resim 4.4) [32].

Olumlu yönleri

- ✓ Düşük çaplarda (dış çap 125 mm veya altı çaplar) kangal sarımlı üretilebilir ve dolayısıyla nakliye açısından az yer kaplar ve birleştirme yerinin azlığı açısından daha az işçilik gerektirir.
- ✓ Toprak türünün fazla asitli olması halinde dahi korozyona uğramazlar.
- ✓ Boyunun 6 katına kadar uzama esneyebilme özelliği vardır.

Olumsuz yönleri

- ✓ Üretildiği etilen; ithal bir mamul olup kg fiyatı döviz bazlıdır.
- ✓ Boruların ek yerlerinin tetkiki için bire bir sızdırmazlık ve basınç testi alınmadığı takdirde operasyonel kısımda sorunlar ortaya çıkmaktadır.



Resim 4.4. PE tipi muhtelif çapta iç içe geçmiş borular (Anonim)

4.1.5. PPRC (Poli Propilen Random Co-Polimer) borular

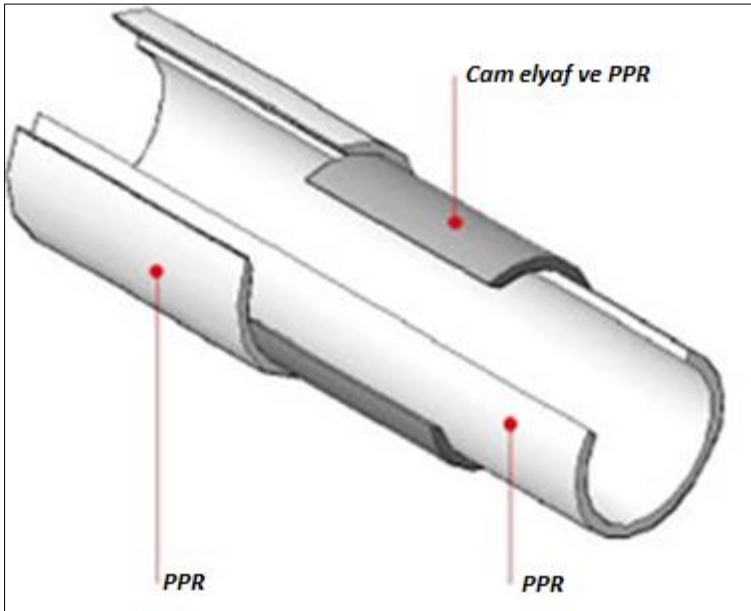
Petrol türevli elde edilen propilen gazının polimerizasyonu ile üretilen bu malzeme, PE 100 (HDPE) boru cinsine fazlasıyla benzer olsa da, elastisitesi polietilen boruya göre daha düşüktür. PE 100 temiz su borularının tercih edilmesinde artış yaşanmadan önce, PVC türevli borular, en çok kullanımı tercih edilen boru tiplerindendi. Sıcaklık ile basınç değişiklikleri karşısında dayanımını yüksek olması sebebiyle, çekme dayanımının cam elyaf takviyesi yardımıyla artırılması suretiyle temiz içme suyu iletimini sağlamak üzere bazı boru hatlarında tercih edilebilmektedir (Resim 4.5).

Olumlu yönleri

- ✓ İç yüzey pürüzsüzlüğü fazladır.
- ✓ İç ve dıştan maruz kalacağı kimyasallara dayanımı fazladır.
- ✓ Basınca ve su darbelerine karşı dirençlidir.

Olumsuz yönleri

- ✓ Güneş ışınlarına karşı dayanımı az olup bayatlayabilirler.
- ✓ Üretim çeşitliliği az olup temin edilmesi kısmen zordur.



Resim 4.5. PPRC boru (Sanbor)

4.1.6. Ctp tipi borular

Ana maddesi plastik olan, borunun dış çeperinde en az 2 mm kalınlığında kum, cam elyaf ve reçine muhteviyatlı bir kaplama uygulanarak üretilen boru türüdür. Genellikle büyük çaplı içme suyu veya sulama suyu inşaatlarında kullanılır. Ayrıca pıssu su toplayıcı ve kolektör hatlarında, trafik yükü ile sismik hareketlerin yüksek olduğu alanlarda, yüksek pH'lı topraklarda da tercih edilebilir. Özellikle çok büyük çaplı isale hatlarında DSİ tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Resim 4.6).

Olumlu yönleri

- ✓ Uygun fiyatlı ve dayanıklıdır.
- ✓ İç yüzey pürüzsüzlüğü fazladır.
- ✓ Ağırılığı boy/çap oranına göre azdır.

Olumsuz yönleri

- ✓ Tamirâtı, ek yapılması ve kesilmesi zordur.
- ✓ Hat planlarındaki dönüşlere göre kavis alması zordur.



Resim 4.6. Ctp tipi muflu boru (Kuzeyboru)



5. İŞLETMEDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

İçme suyu inşaatları akabinde, şebekelerin işletilmesi esnasında gerek boru özellikleri veya birleşim yerlerinden kaynaklı, gerekse içerisinde taşınan suyun veya boruya tesir eden dış etkiler kaynaklı arızalar meydana gelebilmektedir. Bu arızaların ortaya çıkmadan önce tespit edilerek tedbir alınabilmesi amacıyla öncelikle iyi tanımlanarak anlaşılması gerekmektedir.

Bu bölüm altına, özellikle uluslararası yapılan araştırmalarda ortaya konulmuş olan içme suyu hatlarındaki arızalar ve tanımları ele alınacaktır. Yapılan bu araştırmalar her ne kadar ilgili coğrafyasında tercih edilen boru türü özelinde veya özgün tasarımındaki şebeke projesine ilişkin olsa da birçok arıza türünün bu farklı dinamikler altında dahi ortak olduğu görülmektedir.

5.1. İçme Suyu Şebekelerindeki Global Durum

Literatürdeki araştırma sonuçları içme suyu borularında global düzeyde yaşanan arızaların giderek arttığını, örneğin ABD ve Kanada’da mil başına yaşanan kopmalarda %25 artış olduğu [9], Birleşik Krallıkta içme sularının yaklaşık %22’sinin arıza nedenleriyle kaybedildiği [6], Avusturalya ve Hong Kong’taki durumun benzerlik gösterdiğini göstermektedir.

Hollanda’da iç basınç yüksekliğine bağlı arıza modlarının sıklığı tespit edilmekle beraber [4], İspanya’da boruların çok eski olması nedeniyle arızaların sıklıkla tekerrür ettiği ve 60 yaş üstü boruların değiştirilmesiyle arızalarda %30 azalma olacağı tespit edilmiştir [5].

Bir yandan mevcut suyun iletilmesi ve işletilmesinde kayıplar yaşanırken, öte yandan 780 milyon kişinin içme suyuna erişemediği ve yılda 3,5 milyona yakın insanın bu nedenle hayatını kaybetmekte olduğu öngörüldüğünden, su borusu arızalarının küresel düzeyde sorun haline geldiği ve öncelikle ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır [33].

Bu doğrultuda içme suyu sistemlerindeki arıza nedenlerinin tespit edilmesi, neden olan faktörler arasında sebep sonuç ilişkisi kurularak sebeplerin ortadan kaldırılmasına yönelik

birçok araştırma yapılmıştır. Suyun iletimini sağlayan sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan sorunlara dair yapılan araştırmaların ortak sonucunda temel unsurların; asıl eleman olan borudan kaynaklı olduğu, bunun yanında çevresel ve işletme kaynaklı sorunlar olduğu tespit edilmiştir [6].

Boru arızasını etkileyen fiziksel faktörlerin; boru malzemesi, boru kaplaması/astarlaması, üretim hatası, uygun olmayan taşıma/depolaması, korozyon, boru yaşı, boru çapı vb. kaynaklı olduğunun ortaya konulduğu görülmektedir [6]

Çevresel faktörlerin arasında ise; mevsimsellik, don derinliği, toprak cinsi veya hareketi, zemin yükü, taşınan suyun pH'ı vb. kaynaklı sebepler bulunduğu görülmüştür. İşletme kaynaklı sorunların ise; personelin bilgi ve tecrübesine bağlı hatalar veya yüksek basınçlı işletme sonucu ortaya çıktığı öngörülmektedir [6].

Bu veriler ışığında, yapılacak ulusal bir araştırmada inşaat safhasında imalat kaynaklı hataların da tüm bu sebeplere ilaveten irdelenmesi gerektiğinin uygun olacağı düşünülmektedir.

5.2. Boru Fiziksel Özelliklerine Bağlı Sorunlar

Boru fiziksel özelliklerine bağlı sorunlar, adından da anlaşılacağı üzere, borunun kendi doğasının getirdiği dezavantajları, kullanım ömrüne bağlı ortaya çıkan amortismanları, imalat ve bakım zorluğunun getirdikleri sonucu ortaya çıkan sorunlardır.

Bu sorunların iyi tanımlanarak anlaşılması, polietilen borularla ilgili olan kısımların arıza türlerine olan etkisinin yorumlanabilmesi açısından da faydalı olabilecektir. Başlıca fiziksel sorunlar; borunun yaşı, çapı, cinsi, uzunluğu, et kalınlığı, üretim esnasındaki hataları, uygulama esnasındaki ek yerlerine bağlı hatalar ve korozyon şeklinde sınıflandırılabilir.

5.2.1. Boru yaşı

Borunun hizmette olduğu süreye bağlı amortismanı uğradığı bilinmektedir. Ülkemizde boruların işletme ömürleri ekonomik açıdan ortalama 40 yıl olarak planlanmaktadır [30]. Daha önce uluslararası alanda yapılan araştırma sonuçlarının yorumlarına göre 50-65 yaş

arası boruların 35-50 yaş borulara kıyasla %10 daha fazla arıza ortaya çıkardığı görülmüştür [9].

Yapılan araştırma sonuçları arızayla karşılaşma olasılığının ilk montajdan sonraki aylarda en yüksek olasılıkta olmasına karşılık bu durumun işletme süresince birkaç 10 yıl boyunca stabil seyrettiğini, 50 yaş itibariyle malzeme yorgunluğuna bağlı arıza oluşturma riskinin yeniden yoğunlaştığını göstermektedir [6].

Kanada'da geriye dönük bir yıllık dönemi kapsayan araştırma sonuçları, en yaygın boru arıza sebeplerinin boru yaşı ve malzemesinden kaynaklı arızalar olduğunu göstermiştir. Yapılan anket çalışması sonucunda ortalama 20-86 yıl arası değişkenlik gösteren şebeke skalasında ortalama şebeke ömrünün 47 yıl olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bunun örneklem kümesi içindeki oranının araştırılan şebekelerin %75'sinin kullanım ömrünün ötesinde olduğunu ortaya koymuştur. Burada önemli bir diğer konu ise bunu ortaya koyan katılımcıların, aynı zamanda karar verici ve yatırımcı grubunda olması, %77 oranında bu kısımların değiştirileceği iradesinin ortaya konulacağını belirtilmesidir [2].

İspanya'da yapılan bir diğer araştırmada, ortalama boru yaşının 25 olduğu ve büyük bir bölümün 50 yaş altı olduğu örneklem kümesi içerisinde ömrünü tamamladığı (50 yaş üstü) tespit edilen boruların sadece %3'ünün değiştirilmesiyle, mevcut boru arızalarının %30'unun önlenileceği tespit edilmiştir [5].

5.2.2. Boru çapı

En çok arıza ile karşılaşılan çap aralığıyla ilgili olarak yapılan araştırmalar 200 mm'den küçük çaplarda bu olasılığın fazla olduğunu ortaya koymuştur [6]. Bunu en önemli sebebi, bu aralıktaki boruların ana ve tali hatlarda en sık kullanılan çaplar olduğu düşünülürse normal karşılanacağı değerlendirilebilir.



Resim 5.1. Düşük çaplı PE abone bağlantı borusuna ait arıza durumu

Ancak, küçük çaplı boruların zayıf et kalınlığına bağlı daha çok hasar alabileceği (Resim 5.1), yer hareketlerine karşı daha az direnç gösterebileceği ve korozyona daha çok bağlı kalacağı düşünülmektedir.

5.2.3. Boru cinsi

Proje özelliklerine bağlı olarak doğru boru cinsinin seçilmesi çok önemlidir. Mevsimsel sıcaklık farkları, toprağın kimyasal özellikleri, taşınan suyun iç basıncının yüksekliği, bölgenin depremsellik durumu vb. etkenler boru cinsinin tasarım safhasında tayin edilmesinde aktif rol oynamaktadır.

Örneğin, deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde sünek olması sebebiyle düktil borular, toprağın asidik özellikte olduğu yerlerde çelik yerine polietilen borular ya da yüksek basınca maruz kalan hatlarda et kalınlığının çok artmasından ötürü polietilen yerine çelik borular tercih edilebilmektedir.

Ülkemizde yapılan pik döküm, asbest çimento, pvc ve pe borulardan oluşan bir örneklem kümesi incelendiğinde; en çok arızanın pvc borularda yaşandığı savunulmuştur. Ancak örneklem kümesi içerisindeki pvc borunun metrajı diğerlerine göre daha yüksek olduğundan arıza sayısının fazla olmasının metrajı göre de fazla olabileceği unutulmamalıdır [11].

Zira, günümüz teknolojik gelişmeleri doğrultusunda pik döküm borular yerini çelik ve düktil borulara bırakmış, asbestin solunması halinde insan sağlığında bıraktığı riske karşılık ise bu boru tipi komple terk edilmiş ve mevcut hatlarının yenilenme işlemleri birçok yerel yönetim tarafından sağlanmıştır.

5.2.4. Boru uzunluğu

Boru uzunluğunun artması, doğal olarak ortaya çıkabilecek sorun sayısını da orantılı olarak arttıracaktır. Bununla ilgili ABD’de yapılan bir araştırma sonuçları hat uzunluğunun yaklaşık 3 katına çıkmasıyla ortaya çıkan sorunların 40 katına çıktığını göstermiştir [9].

Bunun temelinde yatan sebeplerin başında, ek yeri sayısı veya bağlı tali hat sayısının artışı düşünülse de objektif bir değerlendirme için aynı çaplı ve aynı görevi gören hatların aynı sayıda bağlantı elemanı sayısı artışı altında arıza karşılaşma sıklığında nasıl davranış sergileyeceğinin yorumlanmasıyla mümkün olacaktır.

Boru uzunluğuna bağlı boru arızalarının artmasında, borunun üretim parametrelerine bağlı özellikler de ön plana çıkmaktadır. Örneğin, kaynaklı birleşim gerektiren ve eğilip bükülemeyen çelik veya büyük çaplı (125 mm veya üstü) polietilen borular tır dorseleri 13,6 metre olduğu için nakliye için uygun olabilmesi amacıyla 13,5 metre uzunluğunda üretilmektedir.

Bu nedenle ek yerini arttıracığı görülen bu nedenler mevcut iken küçük çaplı polietilen borularda kangal şeklinde üretim ve iletim mümkün olduğundan her 100 metrede bir birleşim yeri ihtiyacı doğmaktadır. Ancak, buna karşılık düşük çaplı boruların bu birleşim yeri azlığından dolayı daha az arıza vereceği kanaatine ulaşmadan evvel, şebeke ağı içerisinde küçük çaplı boruların ağırlık olarak en üstte yer aldığı ve bu kullanım sıklığından dolayı arızalarda yer alma ihtimalinin de artacağı göz ardı edilmemelidir.

Küçük çaplı boru uzunluğunda meydana gelecek artış ile isale hatlarında meydana gelecek uzunluk artışıyla eşit ölçüde kıyaslanmamalıdır. Çünkü, küçük çaplı borularda ilişkili olan; abone, yangın hidrantı veya sanat yapısı bağlantısı ile karşılaşma olasılığı daha fazla olacağından arıza ile karşılaşma sıklığı da daha fazla olabilecektir.

5.2.5. Boru et kalınlığı

Boru et kalınlığının artmasıyla, ortaya çıkabilecek arızaların azaldığı görülmektedir. Tabii olarak et kalınlığı artışı ile arızalar azalsa da bu ikisi arasında doğrusal bir artışın olamayacağı değerlendirilmiştir [9]. Bunun yanı sıra, aynı basınç sınıfında kalınmak suretiyle çap arttıkça et kalınlığının da buna bağlı olarak arttığı bilinmektedir.

Özellikle çap büyüdükçe borunun tali kullanımdan esas kullanım amacına dönüşmesi, yani şebeke iletim/besleme hattı amacıyla kullanılacağı bilindiğinden bu önemine bağlı olarak sahip olması gereken güvenlik katsayısı da yüksek olmalıdır. Bu nedenle, artan çapa karşılık borunun sahip olması gereken güvenlik katsayısının da artması sebebiyle çapla doğru orantılı olarak borunun et kalınlığı da artmaktadır. Artan et kalınlığı ise, gerek iç basınç mukavemet, gerekse çevresel faktörlere daha dayanıklı borular elde edilmesinin sağlayabilmektedir.

Çizelge 5.1’de görüleceği üzere, SDR (Standard Dimension Ratio) değerleriyle dış çapın et kalınlığına oranı ve buna karşılık gelen PN (Pressure Number) basınç değerleri atü cinsinden gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Basınç sınıfına karşılık et kalınlıkları (Polietilen boru/Kuzey Boru Katalog)

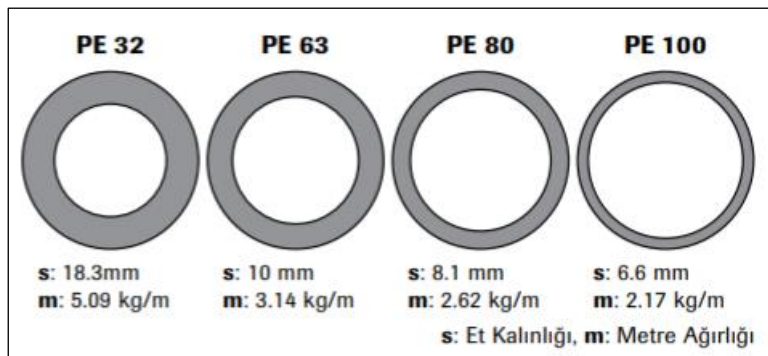
ANMA ÇAPI DN/DD	SDR 27.6	SDR 17.0	SDR 11.0	SDR 9.0	SDR 7.4	SDR 6.0
	PN6 s(mm)	PN10 s(mm)	PN16 s(mm)	PN20 s(mm)	PN25 s(mm)	PN32 s(mm)
32	-	2.0	3.0	3.6	4.4	5.4
40	-	2.4	3.7	4.5	5.5	6.7
50	2.0	3.0	4.6	5.6	6.9	8.3
63	2.3	3.8	5.8	7.1	8.6	10.5
75	2.8	4.5	6.8	8.4	10.3	12.5
90	3.3	5.4	8.2	10.1	12.3	15.0
110	4.0	6.6	10.0	12.3	15.1	18.3

5.2.6. Boru üretim hataları

Boru üretim hatalarıyla ilgili literatürde yapılmış çalışmalarda daha çok farklı malzeme sınıfındaki boruların birbiriyle karşılaştırılması sonucu oluşabilecek zafiyetler tartışılmış olsa da ülkemizde bu konunun aynı malzeme çatısı altında bile değişkenlik gösterebildiği görülmektedir. Örneğin polietilen borular açısından ele alındığında üretilen boru içerisinde yer alan minimum etilen miktarı, kalitesi, giren diğer bileşenlerdeki geri kazanım malzemesi oranı ve bunun birleşime elverişliliği gibi birçok farklı değişken etken olabilmektedir.

Üretim girdilerine karşılık boru bünyesine giren doğru miktarlarını ifade eden reçetelerin kullanım amacına uygun teşkil edilmesi, boru bünyesine nüfus eden her bir maddenin uygun miktarda bulunmasına bağlıdır. Ayrıca boru hammadde birleşimi kalitesinin her potadaki üretim öncesinde kontrol edilmesi, üretim sonrası fabrika kalite kontrol testlerinin doğru yapılması, saha uygulaması öncesinde yine her sevkiyattaki partiden numune alınarak bağımsız, akredite laboratuvarlarda test edilmesi önem taşımaktadır.

Özellikle polietilen borularda çap telaffuz edilirken söz konusu çap dış çap olup et kalınlığının düşülmesinden sonra kalan kısım efektif boru akışına müsaade edebilmektedir. Geçmişte düşük yoğunlukla üretilen polietilen borular (LDPE-low density poly ethylene) günümüzde yüksek yoğunluklu (HDPE-high density poly ethylene) olarak aynı basınç dayanımına karşılık daha ince et kalınlığında imal edilebilmektedir. Bu da beraberinde üretim reçetesindeki hataların daha zor tolere edilebileceği gerçeğini beraberinde getirmiştir.



Şekil 5.1. Aynı çapa karşılık farklı basınç sınıfındaki polietilen borular (Sanbor boru)

5.2.7. Boru ek yerleri

Boru ek yerlerine bağı olan hatalar, aslında birçok alt nedeni bünyesinde barındırmaktadır. Örneğin boru boyu uzunluğuna bağı olarak kaynak ek yerleşim yerleri, dirsek ve dönüş noktaları, vana birleşim noktaları ve diğr mekanik ekipmanlarla ilgili bağılantı noktaları, bu sorunlara yol açabilecek başlıca potansiyel kısımlardır.

Bu açıdan en sıklıkla arıza görülebilecek nokta, projelerdeki uygulama adet miktarı nedeniyle boru kaynak birleşim noktalarıdır. Bu noktalarda yapılacak işçilik hataları, onarımı güç bakım onarım faaliyetlerini de beraberinde getirmektedir. Vasıflı kaynak ustası çalıştırmamak, soğuk hava şartları, uygun olmayan yataklama tesviyesi koşulları bu duruma sebep olacak etkenlerdendir.



Resim 5.2. Çoklu dönüş ve ek yeri içeren bir polietilen boru

Bunu takip eden bir diğr sebep ise, su dağıtım şebekesinin olmazsa olmazı vanalar ile bunların borularla olan birleşim noktalarıdır. Ülkemizde her ne kadar vana sayısının artmasının şebeke boru hattında süreksizliğe ve kırılğan durumlara sebep olduğunu saha tecrübeleri sonucunda gösterse de uluslararası yapılan bir araştırmada, vana sayısının artmasıyla şebekede ortaya çıkabilecek arızaların azaldığını ortaya koymuştur [13]. Bu durum, elbette ancak doğru işçilik ve uygun ekipmanla mümkün olabilecektir.

5.2.8. Korozyon

Korozyon açısından demir, çelik ve diğer metalik boruların daha çok muhafaza edilmesi gerektiği bilinmektedir. Bunun için katodik koruma gibi borunun oksitlenmesini engelleyecek yöntemler kullanılsa da plastik türevi borularda bahsedilen dış korozyona bağlı hassasiyet ortaya çıkma olasılığı çok düşüktür.



Resim 5.3. Korozyona uğramış döküm boru [6]

5.3. Çevresel Kaynaklı Sorunlar

Çevresel kaynaklı sorunlar, borunun kendi özelliklerinden sebepli olmayıp, gerek boru içi taşınan malzemenin özelliklerinden kaynaklı, gerekse boruya etki eden harici unsurlardan kaynaklı boruda ortaya çıkan arızalara dayanmaktadır. Bu faktörler arasında; boru üstü zemin toprak cinsi yüksekliği, mevsimler arası sıcaklık farkları, boru altı yataklama ve üstü gömlekleme unsurlarının kalitesi, taşınan suyun pH değeri gibi unsurlar yer almaktadır.

5.3.1. Don derinliği

Boru üzerinde yük oluşturacak malzemeler, gömlekleme amacıyla kullanılan malzeme ile kapatılacak hendek dolgusunda kullanılacak malzemelerden oluşmaktadır. Genellikle borunun olası soğuklardan etkilenmemesi için 1 metre veya üzeri derinlik tercih edilmektedir. Bununla birlikte fazla seçilen boru üstü dolgu miktarındaki her artış, boruya

gelecek zemin yükü ağırlığını arttırmakta ve yüklere karşı borunun işletme ömrünü azaltabilmektedir.

Ulusal altyapı inşaatlarında boru üstü ideal dolgu yüksekliği en az 1,00 metre olarak kabul edilse de bu derinliğin iklimsel şartlara bağlı olarak artıp azalabileceği de göz ardı edilmemelidir [30]. Ancak, yapılan uluslararası bir araştırmada bu konuda ideal aralık olarak öne sürülen 0,75 m – 1,35 m dolgu yüksekliği olmakla birlikte, daha derin hatlar için yapılan araştırmada derinlik arttıkça dona karşı mukavemetin artmadığı ve bu durumun boru üstündeki dolgunun don kabarmasının (genleşmesinin) etkilerinden daha çok etkilenerek borunun üstünde ilave basınç oluşturarak deformasyonuna neden olacağını ortaya koymuştur [6].

5.3.2. Toprak cinsi

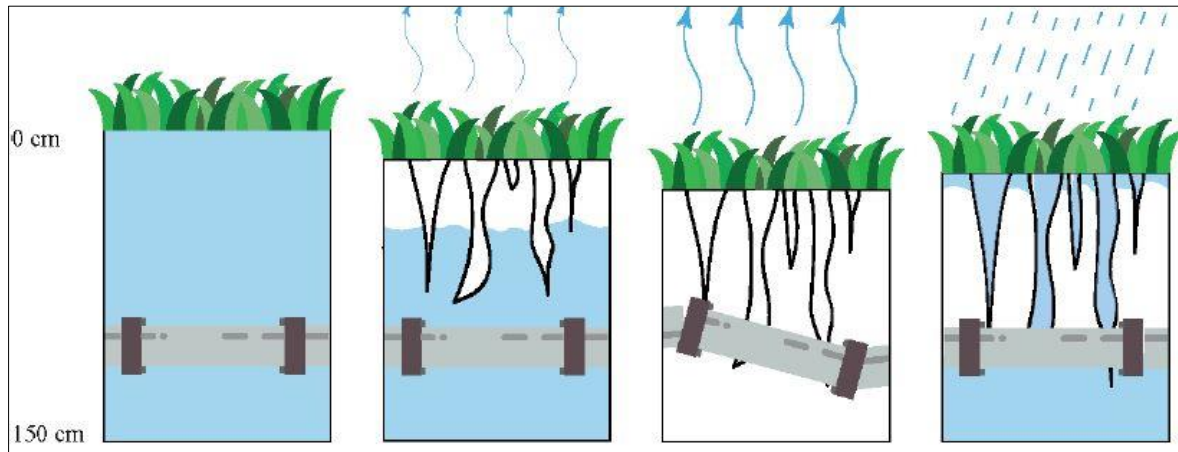
Borunun gömlekleme malzemesi üstünde hendek geri dolgusunda kullanılacak malzeme tercihinde her zaman sıkışmaya elverişli bir malzeme tercihinde bulunulmamakla birlikte hendeğin çıkan kazı toprağının da geri dolguda kullanılmasının öncelikli olarak ele alınması ekonomik olarak yerinde olacaktır. Gerek borunun etrafındaki gömlekleme malzemesinin organik bileşimi, gerekse dolgu toprağının muhteviyatından kaynaklı sebepler, borunun çevresel nedenle zaman içerisinde zarara uğramasına neden olabilmektedir.

Örneğin kil muhteviyatına sahip toprak örtüsünde, özellikle yazın kuruyarak su içeriğini kaybedip boşluk hacmi artan toprakta kış aylarında yağış etkisiyle toprak içeriğindeki su miktarının değişmesi ve buna bağlı şişme etkisiyle borunun üzerinde ek bir basınç gerilmesi oluşumuna neden olmaktadır [7].

5.3.3. Mevsimsellik

Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık değişikliklerine bağlı olarak boruda ortaya çıkan büzülme veya genleşme kaynaklı gerilmeler nedeniyle boru arızaları meydana gelmektedir. Bu arızaların görülme sıklığı, borunun malzeme içeriğine göre değişiklik göstermekte olup özellikle demir içerikli borularda mevsime bağlı sıcaklık değişimlerinde daha sık arıza meydana geldiği tespit edilmiştir [6].

Su kullanım yoğunluğunun arttığı yaz aylarında arıza görülme sıklığının en üst düzeyde olduğu savunulsa da, özellikle soğuk hava koşullarına bağlı büzülme gerilmeleri ile toprak örtüsü içindeki su muhteviyatının donarak genleştiği ve boru üstü ek basınç gerilmesi olduğu durumda, yani kış aylarında borularda görülen arıza sıklığının arttığı kanaatine varılmıştır [1]. Resim 5.4'te yer altı su seviyesinin mevsim etkisi altında azalmasına bağlı olarak hatta oluşabilecek deformasyonlar özellikle ortadaki resimde ifade edilmeye çalışılmıştır.



Resim 5.4. Mevsimsellik etkisinde yer altı suyunun boruya etkisi [6]

5.3.4. Taşınan suyun pH'ı

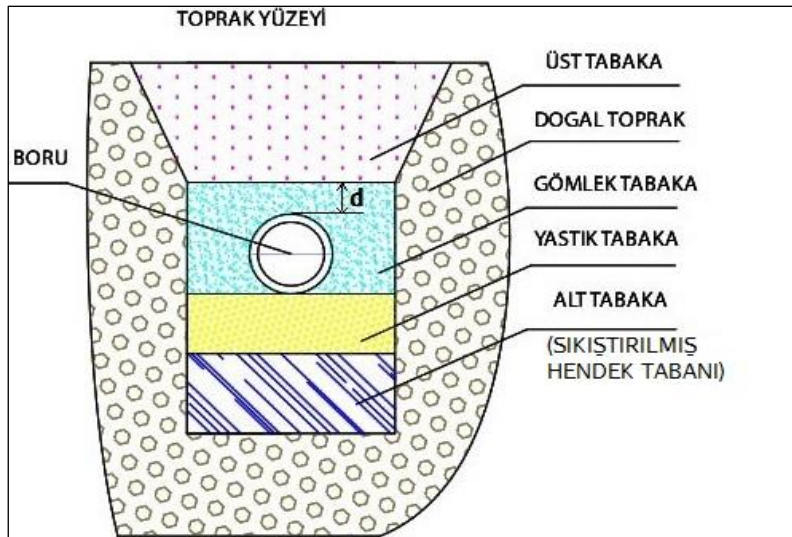
Borunun içinde taşınan suyun pH'ının düşük olması (1-7) durumuna karşılık gelen asidik özellikteki suya maruz kalan iç kaplamasız bir demir boru ile kaplamalı veya asitliğe dirençli başka tipteki bir borunun maruz kalacağı etki bir olmamaktadır.

Her ne kadar içme suyu kullanımı amaçlı bir suda, yüksek asitlik veya baziklik oranına rastlanılamayacağı düşünülse de uzun vadede maruz kalınacak düşük miktartlı asitliğe karşılık olarak tedbir amaçlı düktil boru kullanımı geliştirilmiştir. Bu sayede ana gövde olarak çelik olan, ancak iç kaplaması püskürtme betondan oluşan düktil borular ile, sudan kaynaklı içsel korozyonun en aza indirilebileceği düşünülmektedir.

5.3.5. Yataklama-gömlekleme kalitesi

Konu ile ilgili uluslararası literatürde, boruyu çevreleyen dolgu malzemesi cinsinin etkileri irdelenmiş olsa da imalat kalitesine bağlı etkilerin incelendiği tespit veya irdeleme çalışmasına ulaşılamamıştır. Bununla birlikte ülkemizdeki mevcut durum, imalat kalitesinin boru arızalarında etken bir parametre olabileceği gerçeğini değiştirememektedir.

Yataklama-gömlekleme muhteviyatının pH değerinin beşin altında veya kimyasallarla kirlenmiş içerikte olması nedeniyle boruya vereceği zararlar tartışılmıştır. Bu konudaki yaklaşım da dolgu toprağı cinsi yaklaşımındaki çevresel kaynaklı sorunlar ile aynıdır [1]. Ancak, burada farklı açıdan ele alınması gereken bir diğer konu, ülkemizdeki imalat şartları açısından; borunun altında yataklama/yastıklama için kullanılan malzeme ve üstünü çevreleyen gömlekleme malzeme ile kalan hendek dolgusunu karşılayan dahili veya harici malzemelerin uygun olmayan imalat koşullarına karşılık borularda fiziki hasar meydana gelerek arızalar oluşabildiğinin irdelenmesini içermelidir. Örneğin düzenli bir gradasyona sahip olmayan ve büyük dane çaplı bir boru sarmalama malzeme türü, boruya fiziksel olarak hasar verebilir, ya da uygun şekilde sıkıştırılmamış bu harici dolgu malzemesi, farklı oturmaların etkisi altında boruda bölgesel veya lokal oturma-göçme stresine yol açabilecektir.



Şekil 5.2. İçme suyu boru hattına dair hendek kesiti (İlbank)

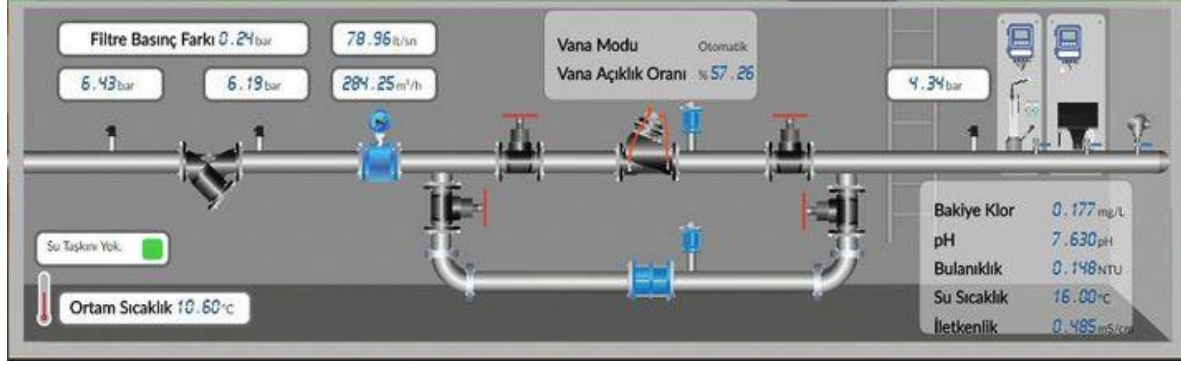
5.3.6. İşletme hataları

Basınçlı iletim prensibiyle çalışan içme suyu hatlarının işletme ve idame ettirilmesi, proje parametrelerine sadık kalınarak optimum çalışma şartlarının daimî olarak sürdürülmesi; şebeke ömrünün korunması ve arızaların ortaya çıkmasının engellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

İçme suyunun, membadan mansaba yani nihai tüketiciye ulaştırılması aşamasında, borunun özelliklerinin yanı sıra, zorunlu sanat yapılarının bakım ve onarımlarının düzenli olarak takip edilmesi hatta sistemin izlenebilmesi açısından otomasyon sistemi üzerinden daimî gözlenmesi gerekmektedir.

Örneğin, şebeke içi basıncı optimum çalışma prensibine göre tutmaya çalışan basınç kırıcı vana ekipmanında yaşanacak sorun, şebeke hattının yüksek basınca maruz kalarak yıpranmasına hatta patlamalara yol açabilecektir. Vantuz enstrümanının kusursuz çalışmaması halinde taşınan su, pik noktalarda oluşabilecek hava yüzünden iletilemeyecek veya burada sıkışan hava, boru hattı üzerinde sorunlara yol açabilecektir. Tahliye hatlarının belirli periyodlarla açılmaması halinde bu dip noktalarda biriken sediment (mil) vb. malzemeler, vana gibi elemanların çalışmasına zarar verebilecektir.

Bu konuda ülkemizde yapılan kapsamlı bir araştırma, su kayıp ve kaçaklarının izlenmesi ile özellikle basıncın optimum düzeyde tutulması ve dolayısıyla proje parametrelerine göre işletilmesinin sağlanmasının arızaları büyük ölçüde önleyebileceğini savunmaktadır [3]. Resim 5.5'te basınç kırıcı vanaya 6,19 bar olarak giren suyun 4,34 bara düşürülerek devam eden şebeke ağı içerisinde sahip olması gereken dizayn işletme basıncının ideal aralığında tutulduğu hali örnek bir uzaktan izleme sistemi ekran görüntüsü üzerinden gösterilmeye çalışılmıştır.



Resim 5.5. Basınç düşürücü ekipman (Örnek Scada Sistemi Ekran Görüntüsü)

Şebekenin kendi doğasında işletilmesinde basıncın takip edilmesine riayet edilmesi haricinde, özellikle şebekenin boşaltılıp doldurması esnasında, suyun hız ve basınç etkisiyle birleşim ve dönüş noktalarında hasara yol açabileceği bir gerçektir. Özellikle dönüş noktalarında, ani yükleme yapılması sonucu Resim 5.6’teki gibi oluşan koç darbesi etkisiyle şebekede kalıcı hasarlar meydana gelebilmektedir [6].



Resim 5.6. Su koçu darbesi sonucu asbest çimento boru [6]

Suyun temin ve iletiminden aboneye ulaştırılması noktasında, en son şebeke hattı abone bağlantılarıdır. Bu hatlar 32 mm veya 40 mm boru çapları kullanılarak tesis edilmekte ve bir tarafı şebeke ile bağlantıyı, diğer bir tarafı ise hane/tesis ile bağlantıyı sağladığından kısa mesafede birçok sorun çıkartma özelliğine sahip hatlardır. Önlemeye yönelik yapılan aynı araştırma sonucu; bu hatların verdiği arızaların yanı sıra en çok su kayıplarının yaşandığı bölge olduğunu ortaya koymuştur [3].

Bu noktada alınacak tedbirler ile ilgili olarak sunulan öneriler, işletme yapan idarenin şebeke ömrünün farkında olması, takip ve aksiyon almak üzere disiplinler oluşturulmasına yönelik olmuştur. Sistemin zayıf yönlerinin belirlenmesi için araştırma yapılması, önleme-izleme-azaltma görevlerinin eksiksiz uygulanmasının takip edilmesi gerektiği daha önceki araştırmalarda da ortaya konulmuştur. Bunların tümü için konusunda uzman ekip yetiştirilmesi, güncel yenilikler, işletme teknolojileri takip edilmesi önerilmiş ve işletme ömrünü tamamlamış sistemlerin yenilenmesi için program yapılması tavsiye edilmiştir [8].





6. YÖNTEM, UYGULAMA ve BULGULAR

İçme suyunun temininden dağıtımına kadar planlama, projelendirme ve imalat aşamalarında gerekli yapılar, mekanik ekipmanlar, kullanılan boru türleri ve tercih sebepleri ile literatürde benzer durumlar için yapılmış akademik çalışmalar önceki bölümlerde açıklanmıştır. Böylece işletme aşamasında iken borularda oluşabilecek arıza türlerine etki edecek unsurlara ait kavramsal bilgiler verilmiştir.

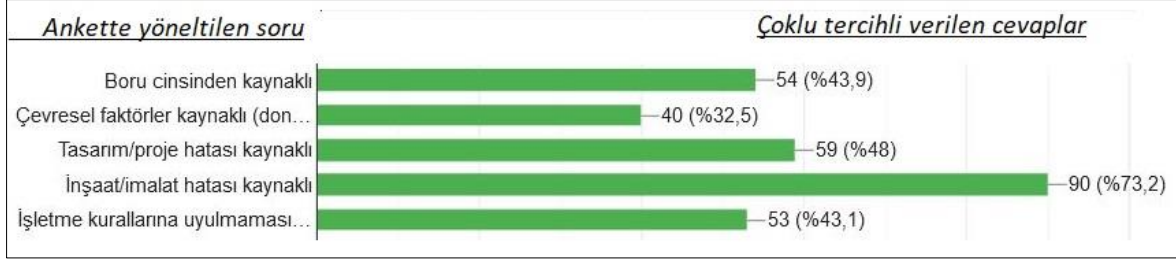
Buna karşılık, tez çalışması sürecinde konu ile ilgili uzman personellerle yapılan görüşmeler sonucunda ülkemizde su dağıtım şebekelerinin işletme aşamasında borularda oluşan arıza nedenlerinin bir kısmının dolaylı sebeplerden kaynaklanabileceği kanaatine varılmıştır. Örneğin boru üretim kalitesini etkileyen faktörler, altyapı inşaatı işçiliğiyle ilgili faktörler ve işletme konularındaki farklı olumsuz sebepler bunlar arasındadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında işletme aşamasında borularda yaşanan arızalar arasında tespit edilebilen dolaylı sebepler ile literatürdeki global tespitler harmanlanarak arıza türlerinin tümü göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır.

Bu bölümde, borularda yaşanabilecek muhtemel arıza türlerinin hem altyapı sektöründe çalışan uzmanlar hem de inşaat veya işletme safhasında yer alan paydaşlarla birlikte anket vasıtasıyla değerlendirilmesi sağlanmıştır. Yapılan anket sonucu elde edilen verilerin Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminin avantajlarından faydalanarak derecelendirilmesi ve nicel hale getirilerek hangi arıza türleriyle hangi sıklıkta karşılaşıldığının sayısal olarak ifadesi mümkün olmuştur.

6.1. Anket Çalışması

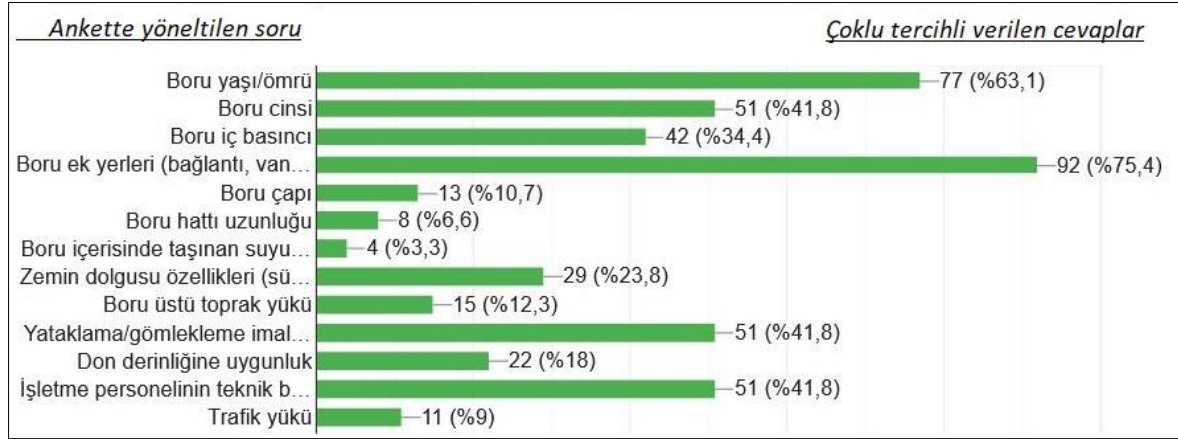
Uygulama öncesinde, teze konu olan temel boru arıza sebeplerinin gerek literatür taraması gerekse sektör araştırması neticesinde temel düzeyde ortaya konulması sağlanmıştır. Yapılan tüm literatür çalışmalarından süzülen ortak çıkarım sonucu arızaların boru fiziksel özelliklerine, çevresel etkenlere ve işletme kaynaklı nedenlere dayandığı görülerek bu başlıklar ve alt etkenleri önceki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Araştırma konusu, ülkemizde temiz su iletim hatlarında kullanılan boru fiziksel özellikleri, çevresel etkenler ve işletmeye bağlı nedenler ile oluşan arızalarla ilgili etki düzeyinin tespit edilerek en önemli boru arıza faktörlerinin belirlenmesi olarak tanımlanmış ve ankette yöneltilen soru haliyle Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Ana arıza başlıklarının tespitine ilişkin yöneltilen anket sorusu

Bu teknik sorulara karşılık teknik cevapların elde edilebilmesi amacıyla öncelikle altyapı konusunda uzmanların yer aldığı ilgili birim çalışanlarına anket uygulanmıştır. Yerel Yönetimler (Belediyeler), Su ve Kanalizasyon İdaresi ve İller Bankası ülkemizde mikro kentsel altyapıların inşasında ön planda yer alan kurumlardır. Bu kurumlarda konu ile ilgili çalışan teknik personellerinden oluşan çalışma grupları oluşturulmuştur. Araştırma konusu kapsamında önceden hazırlanan anket, bu çalışma gruplarına uygulanmış ve tezin çalışma yöntemi olarak seçilen AHP sürecinde kullanılmak üzere veri seti oluşturulmuştur. Anket aracılığı ile yöneltilen sorular sayesinde uluslararası literatürde yer alan çalışma sonuçlarından ortaya çıkan boru arıza sebeplerinin yanı sıra, ülkemiz özelinde görülen boru arıza nedenlerinin de dahil edilmesiyle nitel özellik taşıyan yeni bir veri kümesi elde edilmiştir. Bu veri kümesine ilişkin arıza tanımları yine önceki bölümde açıklanmakla birlikte anket üzerinden yöneltilen soru grubu haliyle de Şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Boru arızaları alt başlıklarının tespitine ilişkin yöneltilen anket sorusu

Şekil 6.2’de çoklu tercihli verilen cevapların altında, her soruya karşılık gelen (%...) oranı, 123 katılımcının bu ana soru başlığı altındaki toplam yanıt sayısına karşılık ilgili alt soru başlığının aldığı cevap payını göstermektedir.

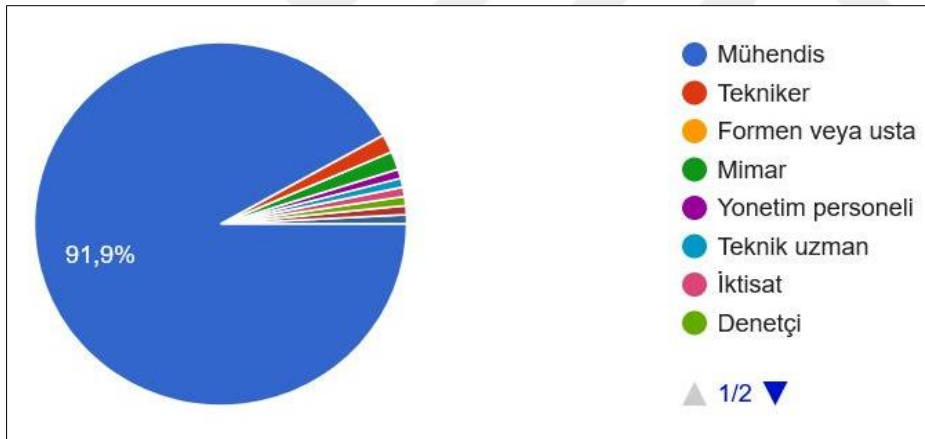
Tez konusu için hazırlanan anket içerisinde yer alan sorular (EK-1), Google şirketi tarafından ücretsiz olarak sunulan Google Forms uygulaması üzerinden çevrimiçi (online) olarak çalışma grubundaki katılımcılara yöneltilmiştir. 123 teknik personelin katılımının sağlandığı anket çalışmasının ön istatistiksel hazırlık çalışmaları Questions pro uygulaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel olarak %95 güven aralığında (confidence level), en fazla %10 hata payı (margin of error) içerecek toplamda 100.000 kişilik teknik personel havuzundan anket için gerekli minimum katılımcı sayısı (sample size) 97 olarak tespit edilerek Şekil 6.3’te hesap ara yüzü gösterilmiştir.. Böylece bu tez çalışmasında anket uygulanan 123 katılımcıdan anlamlı sonuçlar elde edilmesi için yeterli sayıya ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca tez kapsamında yürütülen anket çalışması Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu tarafından tüm onaylar alınarak tamamlanmıştır.

Confidence Level: ?	☒ 95% ☐ 99%
Margin of Error: ?	10
Population: ?	100000
Reset	Calculate Sample
Sample Size:	97

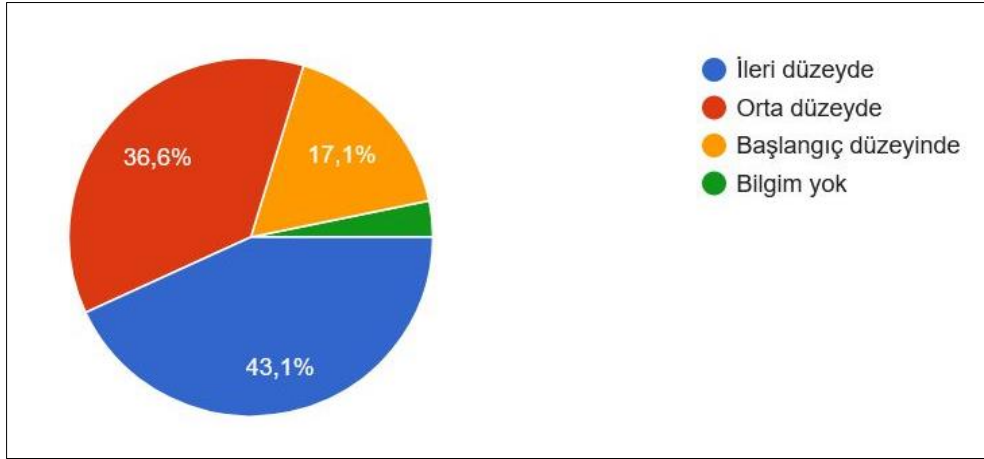
Şekil 6.3. Anket örneklem kümesi için katılımcı sayısının belirlenmesi

Anket çalışmasında yer alan katılımcıların yaklaşık %92'si mühendis pozisyonunda görevli olup diğer kategorisinde müfettişler de yer almaktadır. Altyapı konusunda ihtisaslı olan örneklem kümesine ait teknik personel dağılımı Şekil 6.4'deki gibidir.



Şekil 6.4. Ankete katılan teknik personel görev pozisyonları

Katılımcılara altyapı konusundaki tecrübeleri de sorulmuş olup bu konudaki cevapları Şekil 6.5'de gösterilmektedir. Bu verilere göre katılımcıların %97'sinin içme suyu işletme arızalarıyla ilgili alanda çalışan personel olduğu görülmektedir. Konu ile ilgili bilgisi olmadığını belirten %3'lük kesimle ilgili oluşabilecek sapma, öngörülen %5'lik güvenilirlik dışı kısmın içerisinde kaldığından anketin belirtilen öngörülen güvenilirliği sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.5. Ankete katılan teknik personellere ait konu ile ilgili bilgi düzeyi

Ankette sorulan diğer sorular; boru tiplerine göre en çok tercih edilen boru cinsleri, boru arızalarının genel sebeplerinin ne olduğu hakkındaki görüşleri ve boruya bağlı arıza faktörlerinden en sık karşılaşılan sorunların çoklu seçmeli olarak cevaplanması şeklindedir. Bu kısımlara ait bilgiler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak ifade edilecektir.

6.2. Yöntem ve Uygulama

Analitik hiyerarşi prosesi, konuya vakıf olduğu öngörülen bir çalışma grubunun önceliklerini veya görüşlerini ön planda tutarak, objektif ve sübjektif olarak sunulan problemler arasındaki önem derecesinin tayin edilmesinde kullanılan matematiksel yöntemlerden birisidir.

Bu yöntemin kullanımı ilk olarak 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından olasılık problemlerinin çözümünde yararlanılmasıyla ortaya çıkmıştır. AHP’de amaç, problemin çözümüne yönelik karar verme noktasında etkisi olduğu düşünülen kriterlerin oransal olarak katkısını ortaya koymaktır [35].

Analitik hiyerarşi prosesi sayesinde sorunların ağırlıklı etkisi ortaya konulduğundan, problemlerin daha rahat anlaşılması ve tariflenmesine de olanak sağlanabilmektedir. Bu kapsamda, ağırlık veya önceliği ön plana çıkan sorunların önemsenerek ilk etapta çözümlenmesi de sağlanabilecektir.

6.2.1. AHP yöntemi aşamaları

AHP yönteminde, seçenekler arasında derecelendirmeye karar verilebilmesi için kıyaslama yapılması gerekmektedir. Bu işlemi kolaylaştırmak ve yürütmek amacıyla kıyaslama faktörleri belirlenir. Başlangıç için bu unsurların birbirinden bağımsız olduğu kabul edilir. Bu faktörler arasında ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak ayrıca önem derecesi tayini yapılır.

Yöntemi ilk kez uygulayan Saaty [35] tarafından önerilen önem derecesi ölçeği, 1'den 9'a kadar rakamları içeren puanlama sistemidir. Ölçeklendirmede kullanılan kriterlere ait detaylar Çizelge 6.1'de özetlenmiştir. Çizelge incelendiğinde her puana karşılık bir ağırlık tanımının bulunduğu, önem derecesinin 9 rakamına doğru arttığı görülmektedir.

Bu ikili karşılaştırma tekniği aslında temel olarak psikolojideki seviyelendirme tekniğine dayanmaktadır. Fark etme kavramı, ayırt etme süreci, kişinin algılaması, tanınması ve tepkide bulunması olarak tanımlanmaktadır. Önceden oransal olarak ortaya konulan çoktan seçmeli karar faktörleri, uygulayıcının süzgecinden geçerek ortak bir nicel karakterde dengelenebilmektedir.

Çizelge 6.1. Saaty'ye göre önem derecesi tablosu [35]

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahiptir.
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre biraz daha önemli sayılmıştır.
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır.
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok daha önemli sayılmıştır.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.

Anket üzerinden elde edilen ve Şekil 6.2'de gösterilen soru grubuna ilişkin çoktan seçmeli tercihler içerisinde önem derecesinin nicel olarak belirlenerek önceliklendirilmesi amacıyla analitik hiyerarşi prosesinde her bir arıza nedenine (karar faktörüne) karşılık puan atanarak karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır (Çizelge 6.2).

Karar faktörlerin birbirine olan üstünlük puanına karşılık, satır ve sütunlar normalize edilerek (Çizelge 6.3), tutarlılık endeksi (CI) ve rassal endeksin (RI) hesaplanması sonucu elde edilen tutarlılık oranının (CR) 0,10'dan küçük çıkması durumunda derecelendirme doğru kabul edilebilecek ve karar faktörlerinin ağırlık oranlarının niceliksel karşılıkları ortaya konulacaktır.

6.2.2. Uygulama

Anketten elde edilen veriler ve bir önceki bölümde anlatılan AHP adımları takip edilerek, öncelikle karar faktörlerinin nicelik açısından analiz edilebilmesi ve arıza faktörlerinin birbirine karşı olan üstünlük durumunun belirlenmesi amacıyla karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 6.1'de belirlenen derecelendirmede 2, 4, 6 ve 8 puanlar ara değerler olup ikili karşılaştırma matrislerinde bu değerlerin atanıp atanmaması durumu opsiyonel kabul edilmektedir. Karşılaştırma matrislerinde ana köşegen değeri her zaman “1” olarak atanmaktadır [35]. Matris oluşturulurken Eşitlik (6.1)'de gösterilen işlemler yürütülür:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} = 1/a_{13} & a_{32} = 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Hem satır hem de sütunlara elde edilen faktörler yazılarak, birbirine karşı üstünlükleri önem derecesi tablosuna karşılık puanlanır. Satırlara karşılık sütunlardaki sebepler puanlanırken, tersi değerlendirilmede bu oran 1/... şeklinde hesaplanarak ilgili satıra yazılmaktadır.

Çizelge 6.2. Karar faktörlerine göre oluşturulmuş karşılaştırma matrisi

SEBEPLER	Boru ek yerleri	Boru yaşı/ömrü	Boru cinsi	Yastıklama işçiliği	İşletme personeli	Boru iç basıncı	Hendek dolgusu türü	Don derinliği	Toprak yükü	Boru çapı	Trafik yükü	Boru hat uzunluğu	Suyun özellikleri
Boru ek yerleri	1,0000	2,0000	3,0000	3,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	7,0000	7,0000	8,0000	9,0000
Boru yaşı/ömrü	0,5000	1,0000	2,0000	2,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	6,0000	6,0000	7,0000	8,0000
Boru cinsi	0,3333	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	8,0000	9,0000
Yastıklama işçiliği	0,3333	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	8,0000	9,0000
İşletme personeli	0,3333	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	8,0000	9,0000
Boru iç basıncı	0,2500	0,3333	0,5000	0,5000	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000	8,0000
Hendek dolgusu türü	0,2000	0,2500	0,3333	0,3333	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000	7,0000
Don derinliği	0,1667	0,2000	0,2500	0,2500	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000	6,0000
Toprak yükü	0,1429	0,1667	0,2000	0,2000	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000	5,0000
Boru çapı	0,1429	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000	4,0000
Trafik yükü	0,1429	0,1667	0,1429	0,1429	0,1429	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000
Boru hat uzunluğu	0,1250	0,1429	0,1250	0,1250	0,1250	0,1429	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000	2,0000
Suyun özellikleri	0,1111	0,1250	0,1111	0,1111	0,1111	0,1250	0,1429	0,1667	0,2000	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000

Örneğin ilk (boru ek yerleri) satıra karşılık gelen sütunlardaki karar faktörlerine karşılık bu satırın önem derecesi her sütunun altına yazılır ve bu durum altındaki her satır için ayrı ayrı yapılır. İlk sütuna karşılık aşağı doğru satır derecelendirmesi yapılırken ise 1/önem derecesi şeklinde hesap edilerek karşılaştırma matrisi oluşturulmuş olur.

Bir sonraki aşamada karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi ve kontrol edilmesi işlemi yapılmalıdır. Bu işlem için öncelikle karşılaştırma matrisinde her sütunun toplamı bulunur. Karşılaştırma matrisinde elde edilen kutucuklardaki her değer, ait olduğu sütunun toplamına bölünür ve yine aynı kutucuğa bu sonuçlar yazılarak matris normalize edilmiş olur.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6.2)$$

Bu denklemde n: satır veya sütundaki karar faktörü sayısını, i ve j'ler sırasıyla satır ve sütunları, a_{ij} karşılaştırma matrisinin elemanlarını, a'_{ij} ise normalize edilmiş matrisin elemanlarını göstermektedir.

Örneğin Çizelge 6.2’de verilen karşılaştırma matrisinin ilk sütundaki değerlerin toplamı 3,7813’tür. İlk satır ile ilk sütunun kesişim kutucuğundaki 1 değerinin 3,7813’e bölünmesiyle elde edilen yeni değer aynı kutucuğa yazılır ve normalleştirme matrisinin ilk elemanı elde edilmiş olur. Normalleştirme matrisindeki diğer elemanların elde edilişi benzer süreç ile yapılmıştır (Çizelge 6.3).

Normalleştirme işleminin teyit edilmesi için her bir sütun toplamının 1’e eşit olduğu görülmelidir. Eğer her bir sütundaki değerlerin toplamı 1’e eşit olmuyorsa normalleştirme işlemi hatalı yapılmış olup derecelendirme işlemi ve hesapların tekrar kontrol edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 6.3. Karar faktörlerine göre normalize edilmiş matris

SEBEPLER	Boru ek yerleri	Boru yaşı/ömrü	Boru cinsi	Yastıklama işçiliği	İşletme personeli	Boru iç basıncı	Hendek dolgusu türü	Don derinliği	Toprak yükü	Boru çapı	Trafik yükü	Boru hat uzunluğu	Suyun özellikleri
Boru ek yerleri	0,2645	0,3305	0,3052	0,3052	0,3052	0,2545	0,2213	0,1970	0,1782	0,1487	0,1254	0,1185	0,1125
Boru yaşı/ömrü	0,1322	0,1653	0,2035	0,2035	0,2035	0,1909	0,1770	0,1642	0,1527	0,1274	0,1075	0,1037	0,1000
Boru cinsi	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125
Yastıklama işçiliği	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125
İşletme personeli	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125
Boru iç basıncı	0,0661	0,0551	0,0509	0,0509	0,0509	0,0636	0,0885	0,0985	0,1018	0,1062	0,1075	0,1037	0,1000
Hendek dolgusu	0,0529	0,0413	0,0339	0,0339	0,0339	0,0318	0,0443	0,0657	0,0764	0,0850	0,0896	0,0889	0,0875
Don derinliği	0,0441	0,0331	0,0254	0,0254	0,0254	0,0212	0,0221	0,0328	0,0509	0,0637	0,0716	0,0741	0,0750
Toprak yükü	0,0378	0,0275	0,0203	0,0203	0,0203	0,0159	0,0148	0,0164	0,0255	0,0425	0,0537	0,0593	0,0625
Boru çapı	0,0378	0,0275	0,0170	0,0170	0,0170	0,0127	0,0111	0,0109	0,0127	0,0212	0,0358	0,0444	0,0500
Trafik yükü	0,0378	0,0275	0,0145	0,0145	0,0145	0,0106	0,0089	0,0082	0,0085	0,0106	0,0179	0,0296	0,0375
Boru hat uzunluğu	0,0331	0,0236	0,0127	0,0127	0,0127	0,0091	0,0074	0,0066	0,0064	0,0071	0,0090	0,0148	0,0250
Suyun özellikleri	0,0294	0,0207	0,0113	0,0113	0,0113	0,0080	0,0063	0,0055	0,0051	0,0053	0,0060	0,0074	0,0125
Toplam	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Normalize edilmiş matrisin tutarlılığının tespit edilmesi ve prosesin doğru teşkil edildiğinden emin olmak için tutarlılık indeksinin (Consistency Index-CI) hesaplanması gerekmektedir. Bunun için (6.3) ve (6.4) eşitlikleri kullanılmaktadır;

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6.3)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right) \quad (6.4)$$

Bu denklemlerde w_i , normalize edilmiş matristeki ilgili satırdaki değerlerin ağırlıklı ortalamasını ifade etmektedir.

(6.3) eşitliği kullanılarak bulunan tutarlılık indeksi (CI) hesaplanır. Akabinde Saaty tarafından önerilen karar faktörü sayısına (n) değerine karşılık gelen Rassal İndeks (Random Index-RI) değeri Çizelge 6.4'e göre belirlenir. RI değerinin de CI değerine bölünmesiyle (Eşitlik 6.5) tutarlılık oranı (Consistency Ratio-CR) tespit edilmiş olur.

Çizelge 6.4. RI-Rassal İndeks ve CR-Tutarlılık Oranı hesap formülleri [19]

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6.5)$$

Yapılan çalışmada karar faktörü kümesi 13 girdi sayısına sahip olduğundan *RI* değeri Çizelge 6.4 yardımı ile 1,56 olarak alınmıştır. Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere AHP prosesi ile en fazla 15 girdi arasında işlem yapılabilir.

13 karşılaştırma faktörü için sübjektif olarak verilmiş puanlara karşılık, normalize edilmiş değerler üzerinde her satırda ortalama değer hesaplanmış, λ ve λ_{max} değerleri bulunmuş ve tutarlılık indeksi formülüne göre (Eşitlik 6.3) *CI* değeri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5'te listelenmiştir.

Çizelge 6.5. λ_{max} ve ağırlık ortalama sonuç tablosu

SEBEPLER	Boru ek yerleri	Boru yaşı/ömrü	Boru cinsi	Yastıklama işçiliği	İşletme personeli	Boru iç basıncı	Hendek dolgusu türü	Don derinliği	Toprak yükü	Boru çapı	Trafik yükü	Boru hat uzunluğu	Suyun özellikleri	ORT	λ_{max}	λ_{min}
Boru ek yerleri	0,2645	0,3305	0,3052	0,3052	0,3052	0,2545	0,2213	0,1970	0,1782	0,1487	0,1254	0,1185	0,1125	0,2205	3,16422	14,3491
Boru yaşı/ömrü	0,1322	0,1653	0,2035	0,2035	0,2035	0,1909	0,1770	0,1642	0,1527	0,1274	0,1075	0,1037	0,1000	0,1563	2,27448	14,5558
Boru cinsi	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125	0,1137	1,6469	14,4807
Yastıklama işçiliği	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125	0,1137	1,6469	14,4807
İşletme personeli	0,0882	0,0826	0,1017	0,1017	0,1017	0,1272	0,1328	0,1314	0,1273	0,1274	0,1254	0,1185	0,1125	0,1137	1,6469	14,4807
Boru iç basıncı	0,0661	0,0551	0,0509	0,0509	0,0509	0,0636	0,0885	0,0985	0,1018	0,1062	0,1075	0,1037	0,1000	0,0803	1,11961	13,946
Hendek dolgusu	0,0529	0,0413	0,0339	0,0339	0,0339	0,0318	0,0443	0,0657	0,0764	0,0850	0,0896	0,0889	0,0875	0,0588	0,82705	14,055
Don derinliği	0,0441	0,0331	0,0254	0,0254	0,0254	0,0212	0,0221	0,0328	0,0509	0,0637	0,0716	0,0741	0,0750	0,0435	0,59774	13,7544
Toprak yükü	0,0378	0,0275	0,0203	0,0203	0,0203	0,0159	0,0148	0,0164	0,0255	0,0425	0,0537	0,0593	0,0625	0,0321	0,43255	13,489
Boru çapı	0,0378	0,0275	0,0170	0,0170	0,0170	0,0127	0,0111	0,0109	0,0127	0,0212	0,0358	0,0444	0,0500	0,0242	0,3216	13,2657
Trafik yükü	0,0378	0,0275	0,0145	0,0145	0,0145	0,0106	0,0089	0,0082	0,0085	0,0106	0,0179	0,0296	0,0375	0,0185	0,24364	13,1566
Boru hat uzunluğu	0,0331	0,0236	0,0127	0,0127	0,0127	0,0091	0,0074	0,0066	0,0064	0,0071	0,0090	0,0148	0,0250	0,0139	0,18325	13,2298
Suyun özellikleri	0,0294	0,0207	0,0113	0,0113	0,0113	0,0080	0,0063	0,0055	0,0051	0,0053	0,0060	0,0074	0,0125	0,0108	0,14397	13,3703
Toplam	3,7813	6,0512	9,8290	9,8290	9,8290	15,7179	22,5929	30,4500	39,2833	47,0833	55,8333	67,5000	80,0000	1		

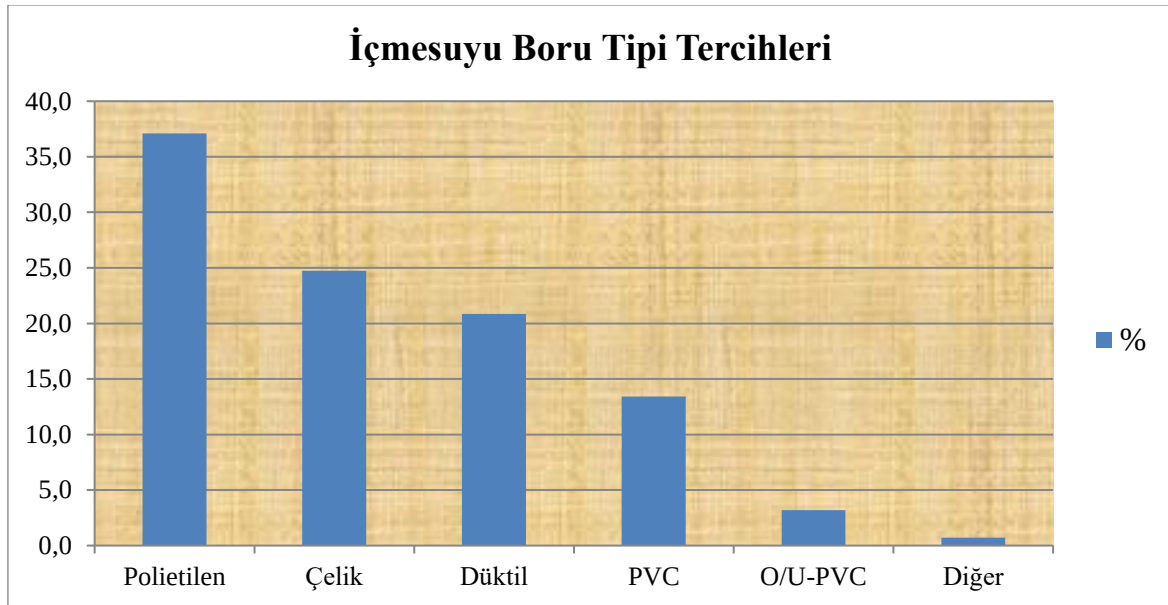
Bulunan λ_{max} değerlerinden en büyüğü 14,5558 şeklinde hesaplanmış olup Eşitlik 6.3'teki CI -tutarlılık indeksi 0,12965 olarak tespit edilmiştir. Bu değer de RI -rassal indeks değeri olan 1,56'ya bölünmesiyle Eşitlik 6.5'te verilen CR -tutarlılık oranı 0,08311 olarak ortaya çıkmıştır. Saaty tarafından önerilen tutarlılık kriterine göre CR değerinin 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. Bu nedenle burada hesaplanan $CR=0,08$ tutarlılık oranı değeri, Saaty'ye göre yapılan işlemin tutarlı olduğunu ve AHP prosesinin doğru çalıştırıldığını ortaya koymaktadır.

6.3. Bulgular

İçme suyu inşaatlarındaki sorunların ortaya konulmasında, boru tiplerine göre sorunların değişiklik göstereceği aşikardır. Çünkü, boruların üretildiği hammadde ve döşenmesi işçiliğine dair parametreler farklılık göstermekte bu da sorunların farklı noktalara doğru dallanmasına neden olmaktadır. Tez çalışması kapsamında, ülkemiz özelinde en çok kullanılan boru türünün polietilen olması nedeniyle ankette uygulanan ve AHP ile

derecelendirilen sorunların polietilen boru türünde görülen sorunlar olduğu unutulmamalıdır.

Polietilen boru türü birçok projede tercih edilmekle birlikte bu çalışma kapsamında ülkemiz özelinde kullanımı en çok tercih edilen boru tipi katılımcılara sorulmuştur. Kullanılan boru türü olarak; polietilen, çelik, düktil, pvc, o/u-pvc ve diğer tip seçenekleri yöneltilmiş elde edilen sonuçlar Şekil 6.6’da gösterilmiştir. Buna göre katılımcıların %37’si en çok polietilen borunun tercih edildiğini, ikinci sırada yaklaşık %25 oranında çelik ve üçüncü sırada ise yaklaşık %21 oranında düktil boruların tercih edildiğini belirtmiştir.



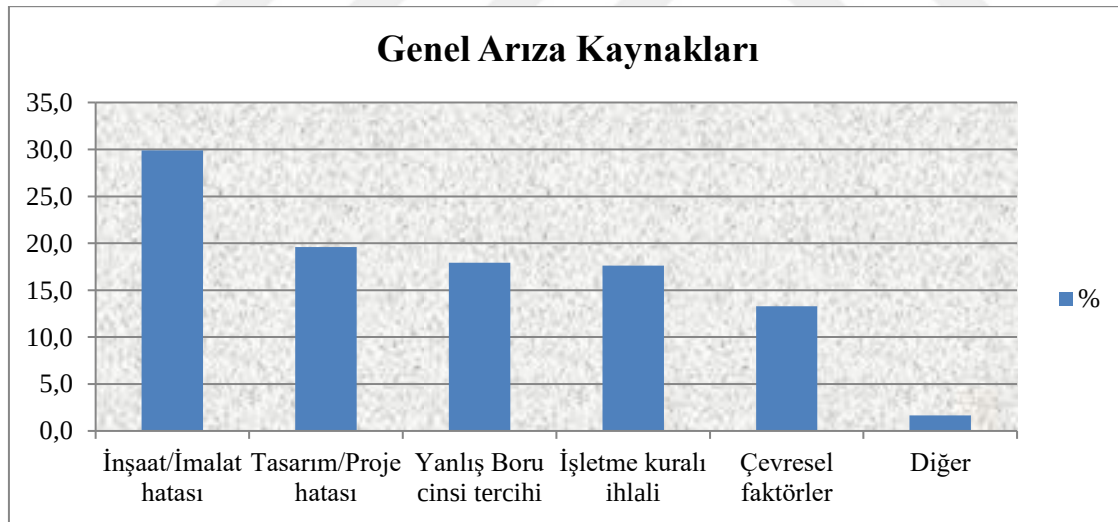
Şekil 6.6. İçme suyu boru tipi tercihleri

Literatür taraması ile tespit edilen sorunların ortaya konulması ve saha tecrübelerinden elde edilen kazanımların ülkemizdeki karşılıklarının bu sorunlarla harmanlanması ile birlikte elde edilen örneklem kümesi belirli başlıklar altında toplanarak da ayrıca katılımcılara sunulmuştur. Bu sayede sorunlara ait genel başlıkların da ortaya konulmasının çözümü için oluşturulacak disiplinler arası görev dağılımının belirlenmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

Uluslararası literatür taramalarında karşılaşılan borulara ait genel arıza sebeplerinin; boru cinsine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmüş ve önceki bölümlerde bu kısımlarla ilgili ayrıntılar verilmiştir. Bununla birlikte tez kapsamında, saha

çalışmalarından elde edilen tecrübeler dikkate alındığında, inşaat safhasındaki imalat hatası kaynaklı arızaların oluşabildiği, proje tasarım safhasındaki tasarım veya hesap kabullerinin sahada karşılık bulamamasından ötürü arızaların oluşabildiği (yüksek basınç, hava yaptırma vs) ve işletme kurallarına riayet edilememesi durumlarında literatürde sıkça karşılaşılmayan arıza türlerinin ülkemiz özelinde ortaya çıktığı düşünülmektedir.

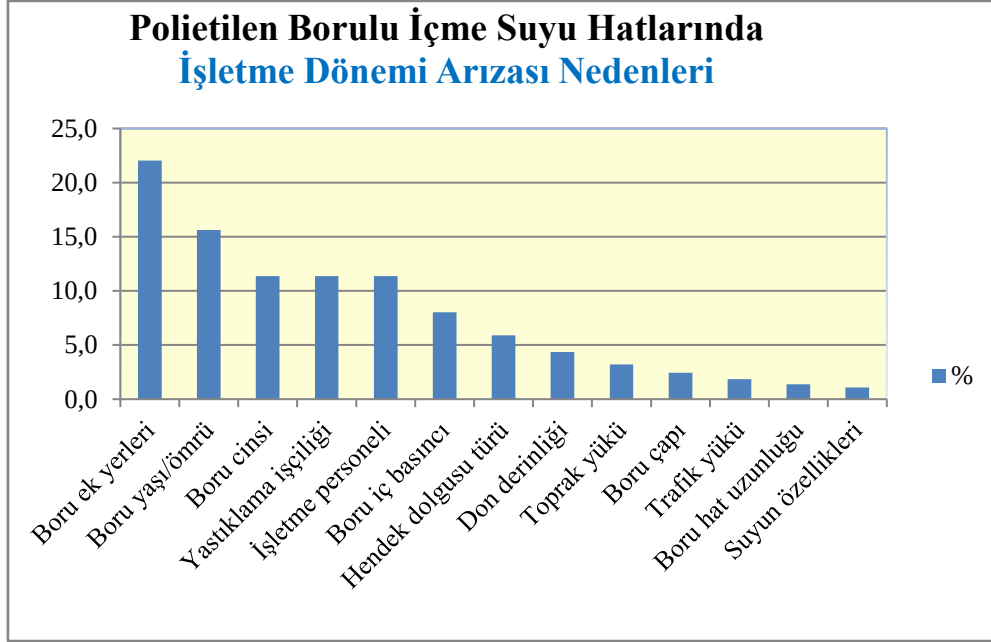
Bu nedenle belirtilen ülkemize özel durumların sektör içerisinde sahada aktif görev yapan teknik personellere doğrudan sorulması, bu arıza türlerinin dikkate alınması ve farkındalık oluşturularak ortadan kaldırılmasının sağlanması amacıyla değerlendirilmesine yönelik verilen cevaplar Şekil 6.2’de verilmiştir. Bu kapsamda sunulan genel arıza kaynaklarının kategorize edilmesi sonucunda, arıza kaynaklarının en çok karşılaşıldığı durumun inşaat safhasındaki imalat hataları olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedenleri; boru birleşim yerlerindeki kaynak ve mekanik ekip-ekipman birleşimlerinin düzgün yapılamaması veya sanat yapılarındaki betonarme imalat kalitelerinin yeterli düzeyde olmaması düşünülmektedir.



Şekil 6.7. İçme suyu hatlarında görülen genel arızaların kaynakları

İşletme dönemindeki arızaların hangi sebeple ortaya çıktığına dair katılımcılara sunulan 13 farklı seçenekten tercih yapılması sağlanmıştır. Bu tercihlerin daha önceki yapılan araştırmalara ilaveten saha çalışmalarının eklenmesiyle öznel sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir. AHP prosesi sayesinde subjektif olarak temin edilen veriler Çizelge 6.5’te objektif zemine oturtulmuş olup boru arızalarının kaynakları nicel verilere dayandırılarak elde edilmiş grafiksel gösterimi Şekil 6.7’de sunulmuştur.

Şekil 6.8’den görüleceği üzere, boru kaynaklı arızaların en sık boru ek yerlerinde yaşandığı görülmektedir. Bunu işletme ömrünün üzerinde kullanılan boruların varlığı takip etmektedir. Akabindeki aynı eşit öneme sahip üç sorun ise; boru cinsi, yataklama-gömlekleme işçiliği ve işletme personeli kaynaklıdır.



Şekil 6.8. Boru kaynaklı arıza nedenlerinin dağılımı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde su dağıtım şebekelerinde yaşanan arızaların tespiti ve önlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte bu çalışmaların daha çok şebeke performans değerlendirmesine odaklandığı görülmektedir. Daha önce yapılan su dağıtım şebekelerindeki boru arızalarına ilişkin ulusal araştırmaların, öncelikli olarak nihai tüketici nezdinde yaşanan sorunlara ışık tutarak, özellikle su dağıtım firması veya yerel yönetimlere ilişkin performans değerlendirmesini amaçladıkları sonucuna varılmıştır.

Uluslararası literatürdeki sorunlara ilave olarak ülkemizdeki su dağıtım şebekelerinde yaşanan sorunlar dikkate alınarak arz veya talep arasında herhangi bir performans değerlendirmesi yapılmaksızın, AHP gibi objektif bir yaklaşıma sahip metot ile işletme dönemi boru arızalarının derecelendirilmesini sağlayan bir çalışma yapılmıştır. Böylece çalışmanın mevcutlardan farklılığı da bu yönüyle öne çıkarak, arızaların konuya hakim teknik personeller gözüyle ve tecrübelerle bağlı olarak değerlendirilmesinin temini ve niceliksel olarak ortaya konulmasını sağlamıştır.

Çalışmadaki katılımcıların mesleki unvanları, bilgi düzeyi ve konulara yaklaşımları dikkate alındığında verilen cevapların uluslararası literatür ile paralellik gösterdiği görülmekle beraber, ülkemiz özelindeki sorunlara karşılık yapacağı tercihler sonucunda ortaya çıkabilecek önceliklendirmelerinin kabul edilebilir bir şekilde sunulması büyük önem taşımaktadır. Bunun tespiti için objektif bir karar sürecine ihtiyaç vardır ve bu nedenle bu çalışmada AHP yöntemi kullanılmıştır.

AHP yöntemi ile derecelendirilecek boru arıza türlerinin daha objektif ele alınabilmesi amacıyla anket çalışması hazırlanmıştır. Anket çalışması sadece AHP sürecine katkı sağlamamış olup ankete verilen yanıtlara göre ülkemizde en çok tercih edilen içme suyu borusunun polietilen cinsi olduğu da tespit edilmiştir.

Şebeke sistemi içerisinde içme suyu iletimini sağlayan bir polietilen içme suyu borusunda, yaşanabilecek potansiyel arıza modları literatürden süzülerek katılımcılara sorulmuştur. Ortaya çıkan çoktan seçmeli tüm arıza modları içerisinde niteliksel önem düzeyi araştırması yapılmıştır. Analitik hiyerarşi prosesi ile çoklu seçilen tercihler Saaty teorisi

vasıtasıyla analiz edilmiş ve puanlama sistemi neticesinde formüller üzerinden yapılan hesaplamalar ile nicel özellik kazandırılmıştır.

Sonuç olarak ülkemizde en sık karşılaşılan boru arıza sebeplerinin sırasıyla; boru ek yerlerinden, boru yaşından ve boru cinsinden ötürü olduğu tespit edilmiştir. Halbuki uluslararası çalışmalardan elde edilen sonuçlar boru yaşının arızaya neden olabilecek en önemli faktör olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu duruma karşılık ülkemizde, boru ek yerlerinde ortaya çıkan arızalara daha sıklıkla rastlanıldığı görülmektedir [9] [7] [8] [12].

Bunun nedeninin, arıza kaynaklarına yönelik sorulan ana başlıkların tayini ile birlikte değerlendirilmesi neticesinde inşaat safhasına dayanan; boru kaynak işçiliği, vana bağlantıları, basınç kırıcı-şebeke adaptasyonu gibi mekanik ekipman ilave bağlantıları ile abone bağlantıları gibi boru bütünlüğünün bozulduğu noktalarda işçilik hatalarından kaynaklı daha çok arıza oluşturabileceği gerçeği olduğu düşünülmektedir.

Polietilen borularda işletme safhasında ortaya çıkan diğer arızalarla ilgili elde edilen sonuçlar uluslararası literatürle paralellik göstermekle birlikte; işletme personeli veya kurallarına uyulmaması ve boruların yataklama-gömlekleme ile hendek geri dolgusunda kullanılan harici dolgu malzemelerinin inşaat safhası işçilik hatalarına karşılık sorunların orta önem düzeyinde yer alması sadece ülkemizde karşılaşılan sorunlardır.

Bu kapsamda, polietilen içme suyu boru arızalarının önlenmesine çözüm olarak, öncelikle inşaat safhasında işçilik kalitesinin artırılması ve imalat hatalarının azaltılması gerekmektedir. İkinci öncelik olarak global düzeyde sorun olan boru ömrünün işletme ömrü olarak proje tasarımlarında yer alan 40-50 yılı aşmaması için mevcut içme suyu şebekelerinin takip ve raporlama işlemlerinin yapılması, bunların analiz edilmesinde şebeke ağının problem çözümüne yönelik önceliklendirilmesiyle izlenmesinin sağlanması ve gerek arıza tespiti konusunda gerekse yenilemeye bağlı yatırımlarının sağlanması gerekmektedir.

Son olarak işletme personellerinin gerek sistemin takibi, gerekse arızaların kusursuz onarımı için donanımlı hale getirilmesi, sisteme olan hakimiyetinin sağlanması ve optimum proje parametreleri doğrultusunda sistemi yönetmesinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Dehghan, A. (2009). *Failure prediction for water pipes*. Malezya, Swinburne University, 10-145.
2. Folkman, S., Rice, J., Sorenson, A. ve Braithwaite, N. (2012). *Survey of water main failures in the United States and Canada*. American Water Works Association, Amerika Birleşik Devletleri, 72-75.
3. Muhammetoğlu, H., ve Muhammetoğlu, A. (2017). *İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının kontrolü el kitabı*. Ankara, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 18-43.
4. Wols, B., Moerman, A. Horst, P. ve Laarhoven, K. (2018). *Prediction of Pipe Failure in Drinking Water Distribution Networks by Comsima*. 3rd EWaS International Conference, Yunanistan, 1-7.
5. Robles-Velasco, A., Cortés, P., Muñuzuri, J., Onieva, L. (2020). Prediction of pipe failures in water supply networks using logistic regression and support vector classification. *Reliability Engineering & System Safety*, 196, 106754.
6. Barton, N. A., Farewell, T. S., Hallett, S. H., Acland, T. F. (2019). Improving pipe failure predictions: Factors affecting pipe failure in drinking water networks. *Water research*, 164, 114926.
7. Hekmati, N., Rahman, M., Gorjian, N., Rameezdeen, R. ve Chow, C. W. K. (2020). Relationship between environmental factors and water pipe failure: an open access data study. *Springer Nature Applied Sciences*, 2(1806), 1-12.
8. Fırat, M., Güleç, A. (2021). *İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıp ve kaçaklarının kontrolü*. Türkiye Su Enstitüsü (SUEN), İstanbul, 38-48.
9. Taiwo, R., Shaban, I. A. ve Zayed, T. (2023). Development of sustainable water infrastructure: A proper understanding of water pipe failure. *Journal Of Cleaner Production*, 398, 1-22.
10. Braun, C. F. (1969). *A Review of piping failure experience technical report*. Amerika Birleşik Devletleri, 1-55.
11. Aydoğdu, M. (2014). *İçme Suyu Şebekelerinde Meydana Gelen Arızaların Kümeleme Yöntemi İle Analizi*. İnönü Üniversitesi, Doctoral dissertation, MSc Thesis. Inonu University. Malatya, 150-156.
12. Nedjar, H. N., Djebbar, Y., ve Djemili L. (2023). Application of the analytical hierarchy process for planning the rehabilitation of water distribution networks. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 41(4), 519-532.

13. Beker, B. A. ve Kansal M. L. (2023). Pipe and isolation valve failure-impact analysis and prioritization model for an urban water distribution network. *Journal of Hydroinformatics*, 25(2), 492-508.
14. Kılınç, Y., Özdemir, Ö., Orhan, C. ve Firat, M. (2018). Evaluation of technical performance of pipes in water distribution systems by analytic hierarchy process. *Sustainable Cities and Society*, 42, 13-21.
15. Kakoudakis, K. (2019). *Pipe failure prediction and impacts assessment in a water distribution network*. University of Exeter Doctor of Philosophy in Engineering at University of Exeter, 24-91.
16. Thavamony, A. T. ve Rajagopal, V. (2024). Selection of Suitable Pipe Material for New Water Distribution Network Using Analytic Hierarchy Process – A Case Study of Athivilai Village of India. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(2), 532-545.
17. Mesalie, R. A., Aklog, D. ve Kiflelew, M. S. (2021). Failure assessment for drinking water distribution system in the case of Bahir Dar institute of technology, *Ethiopia. Applied Water Science*, 11(138), 1-24.
18. Farh, H. M. H., Seghier, M. El A. B., Taiwo, R. ve Zayed, T. (2023). Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: a critical review. *NPJ Clean Water*, 6(65), 1-17.
19. Saaty, R. W. (1987). *The Analytic Hierarchy Process-What It Is And How It Is Used*. *Mathl Modelling*, 9(3-5), 161-176.
20. Zangenehmadar, Z., Golnaraghi, S. ve Fanaei, S. S. (2019). *Water Distribution Systems - Effect Of Geographical Location On Expert Judgment*. CSCE Annual Conference, Kanada, 1-11.
21. Kılınç, Y. (2017). *Su Dağıtım Sistemlerinde Pvc ve Açb Borularının Performansının Çevresel Faktörlere Göre Değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
22. Kim, E. S., Choi, H. I. ve Kim, S. (2011). The Weighting Factor Assessment for Water Supply Facility Management Using Analytic Hierarchy Process, *Kore Afet Önleme Monografileri*, 11(4), 41-47.
23. T.C Resmi Gazete (2004)., *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, 25687.
24. Şen, Z. (2004). Ortadoğu Su Sorunları ve Türkiye, 22 Mart Dünya Su Günü Ortadoğu'da Su Meselesi ve Türkiye Paneli Bildirgesi, İstanbul, 1-25.
25. TÜSİAD (2008). *Türkiye'de Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler*, Yayın No: T2008-09/469. 69-70.
26. Orhon, D., Sözen, S., Üstün, B., Görgün, E. ve Karahan-Gül, Ö. (2002). *Su Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma Ön Raporu*, İstanbul, 1-15.

27. Çiftçi, N. (2003). Türkiye’de ve Dünya’da İçme Suyu Kullanımı ve Arıtma Teknolojisi, *Devlet Su İşleri Su Dünyası Dergisi*, 38, 1-20.
28. Erdemgil, M. (1995). *Su Getirme*, Ankara, Bilim Yayınları, 90-115.
29. Sağlamer, A. ve Balkaya, M.(2002) *Gömülü Boru Hatların Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geoteknik Anabilim Dalı, 5-6.
30. İller Bankası A.Ş. Yönetim Kurulu 25.04.2013 Tarih ve 13/341 Sayılı Kararı, Ankara *İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname*, , 2-42.
31. Sevik, S. ve Altınbilek, D., (1977). *Su Dağıtım Şebekeleri Projelendirme ve Bilgisayarla Çözüm Esasları*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Matbaası, 61-82.
32. Türk Standartları Enstitüsü (2009). *Plastik Boru Sistemleri - Basınsız, Yer Altı Drenaj ve Pis Su İçin - Plastikleştirici Katılmamış Polivinilklorür (PVC-U), Polipropilen (PP) ve Polietilenden (PE) Cidarları Profilli Boru Sistemleri – Bölüm 1: Genel Özellikler ve Performans Karakteristikleri*, , Ankara.
33. Paradkar, A. B. (2012). An evaluation of failure modes for cast iron and ductile iron water pipes. *University of Texas*, 2-66.
34. Fırat, M., Güleç, A. (2021). Türkiye Su Enstitüsü (SUEN), İstanbul *İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıp ve kaçaklarının kontrolü.*, 38-48.
35. Yılmaz, Ö. (2022). Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Üniversite Tercihini Etkileyen Kriterlerin Belirlenmesi: *SdÜ Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 36-48.
36. Taiwo, R., Shaban, I. A. ve Zayed, T. (2023). Development of sustainable water infrastructure: A proper understanding of water pipe failure. *Journal Of Cleaner Production*, 398, 1-22.
37. İnternet: Özcan, E. *Türkiye’de Atıksu Yönetimi*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdb%2Ftay%2Fwebmenu%2Fwebmenu13378.pdf&date=2015-12-21>, Son Erişim Tarihi: 13.06.2024.





EK-1. Anket soruları

İçme suyu hattı işletmelerindeki arızalarının araştırılması (ANKET)

Sayın katılımcı, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT danışmanlığında yürüttüğümüz "İçme suyu inşaatlarında kullanılan polietilen boruların işletmede karşılaşılan arıza sebeplerinin araştırılması ve çözüm önerileri" başlıklı yüksek lisans tez çalışmamıza katkı sağlayacak olan siz sektör paydaşlarının görüşleri, çalışmamız için büyük önem arz etmektedir.

Yalnızca 6 sorudan oluşan anket çalışmasında yapacağınız değerlendirmeler, tez çalışmamız kapsamında gerçekleştirilecek *"analitik hiyerarşi prosesi"*nde veri olarak kullanılacak, üçüncü kişilerle paylaşılmayacaktır.

İlginiz ve zaman ayırdığınız için teşekkür ederim.

Saygılarımla,

İnşaat Mühendisi Ahmet KASAP

1) Mesleğiniz nedir ? *Zorunlu soruyu belirtir

Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.

Mühendis

Tekniker

Formen veya usta

Diğer:

2) Görev süreniz nedir ? *

Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.

0 - 5 yıl

5 - 10 yıl

10 - 15 yıl

15 - 20 yıl

20 yıl üzeri

EK-1. (devam) Anket soruları

3) İçme suyu altyapı işleri ile ilgili hangi ölçüde bilgi sahibisiniz ?*

Yalnızca bir şıkkı işaretleyin.

İleri düzeyde

Orta düzeyde

Başlangıç düzeyinde

Bilgim yok

4) İçme suyu hatlarında en sık kullanılan boru tipi sizcenedir ? (en çok 3 seçenek işaretleyiniz)*

Uygun olanların tümünü işaretleyin.

Polietilen

PVC

Çelik

Düktül

O-PVC / U-PVC

Diğer:

5) Polietilen borulu içme suyu hattının işletme arızaları ile ilgili sorunun görünürdeki sebebi nedir ? (en çok 3 seçenek işaretleyiniz)*

(İçme suyu şebeke, iletim, terfi vs hatlarında yaşanan patlamalar)

Uygun olanların tümünü işaretleyin.

Boru cinsinden kaynaklı

Çevresel faktörler kaynaklı (don derinliğine uyulmaması, zemin yükü, suyun kalitesi vs.)

Tasarım/proje hatası kaynaklı

İnşaat/imalat hatası kaynaklı

İşletme kurallarına uyulmaması kaynaklı

Diğer:

EK-1. (devam) Anket soruları

6) Polietilen borulu içme suyu hatlarının işletme arızalarındaki temel sebep nedir ? (en çok 5 seçenek işaretleyiniz)

Uygun olanların tümünü işaretleyin.

Boru yaşı/ömrü

Boru cinsi

Boru iç basıncı

Boru ek yerleri (bağlantı, vana, ekipmanlar vb)

Boru çapı

Boru hattı uzunluğu

Boru içerisinde taşınan suyun özellikleri

Zemin dolgusu özellikleri (sülfatlı veya taşlı vb)

Boru üstü toprak yükü

Yataklama/gömlekleme imalatı kalitesi

Don derinliğine uygunluk

İşletme personelinin teknik bilgisi

Trafik yükü

Diğer:



Gazili olmak ayrıcalıktır