



**BİNA İÇİ SU TESİSATLARINDA BİYOFİLM TABAKASI OLUŞUMU
TESPİTİ VE SU KALİTESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Nurullah Said YEKEN

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2022

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.

Nurullah Said YEKEN

30/11/2022

BİNA İÇİ SU TESİSATLARINDA BİYOFİLM TABAKASI OLUŞUMU TESPİTİ VE SU KALİTESİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

(Doktora Tezi)

Nurullah Said YEKEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2022

ÖZET

Su kalitesi arıtma tesisinden son tüketiciye kadar korunmalı, suyun kalite parametreleri ilgili içme suyu standartlarını karşılamalıdır. Su kalitesindeki bozulmaların başlıca nedenlerinden biri bina içi sıhhi tesisatlar üzerinde oluşan biyofilm tabakalarıdır. Biyofilmler, sıhhi tesisatlarda oluşturdıkları korozyon ve içerdikleri patojen mikroorganizmalar nedeniyle, içme suyu kalitesi ve insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Bu çalışmada bir şebekede seçilen 22 binanın sıhhi tesisatlarında biyofilm oluşumu ve biyofilm içinde patojenlerin varlıkları membran filtrasyon yöntemiyle incelenmiş, su kalitesine etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca binaların tesisat yaşı ve kullanılan boru türüne göre biyofilm oluşumu ve su kalitesindeki değişim ilişkilendirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre galvaniz metal tesisatlarda su kalitesindeki III. derece bozulma (yoğun), ortalama koloni sayısı >200 CFU/250 mL, ortalama patojen sayısı 107 CFU/250 mL olarak tespit edilmiştir. PE tesisatlarda fiziksel ve kimyasal açıdan su kalitesinde değişim görülmemiş, ortalama koloni sayısı >200 CFU/250 mL, ortalama patojen sayısı 145 CFU/250 mL olarak ölçülmüştür. PPRC tesisatlarda da su kalitesinde değişim görülmemiş, ortalama koloni sayısı 34 CFU/250 mL olup patojen gelişimi gözlemlenmemiştir. Ham su hariç şebekelerde en çok tespit edilen patojen tür 21 noktanın 12'sinde *Pseudomonas aeruginosa* olmuştur. En fazla koloni oluşumu ise 21 noktanın 4'ünde tespit edilen ve toplamda 600 CFU/250 mL'nin üzerinde koloni sayımı yapılan *Escherichia coli* olmuştur. Tesisatların denetimi için "Sıhhi Tesisat Risk Analiz Matrisi" geliştirilmiştir. Risk analiz matrisine göre şebekede 6 tesisat düşük risk olan yeşil kategoride çıkmıştır. Bu noktaların 5'i PPRC biri ise PE boru türüne sahiptir. 2 nokta orta risk olan sarı kategoride yer almakta olup biri PPRC biri galvaniz metaldir. 13 nokta ise yüksek risk olan kırmızı kategoride çıkmıştır. Bu noktaların 2'si PE, 11'i ise galvaniz metaldir. Galvaniz metal tesisatlarda daha fazla birikim olduğu, bu birikim üzerinde mikrobiyolojik çoğalmanın PE ve PPRC'ye göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 90317

Anahtar Kelimeler : Sıhhi Tesisat, Su Kalitesi, Biyofilm, Risk Analizi

Sayfa Adedi : 154

Danışman : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

DETECTION OF BIOFILM LAYER FORMATION IN INDOOR WATER PLUMBINGS AND ITS EFFECT ON WATER QUALITY

(Ph. D. Thesis)

Nurullah Said YEKEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2022

ABSTRACT

Water quality should be protected from the treatment plants to the consumers, and the quality parameters of the water should meet the related drinking water standards. One of the main causes of water quality deterioration in the drinking water distribution system is the biofilm layers formed on the indoor plumbing systems. Biofilms cause significant risks for water quality and human health due to the corrosion in plumbings and the pathogens inside. In this study, biofilm formation on the plumbings and the presence of pathogenic microorganisms in biofilms were examined by membrane filtration method in 22 different plumbings in an independent water network, and their effects on water quality were determined. In addition, a relation with biofilm formation and the deterioration in water quality with the age of the plumbings and the type of pipe used was observed. According to the results, for the galvanized metal pipes, the III. degree of deterioration (dense) in the water quality, average total bacteria count was >200 CFU/250 mL and average pathogen count was 107 CFU/250 mL. For the PE pipes, no physical and chemical change in water quality were observed. The average total colony count was >200 CFU/250 mL and the average pathogen count was found as 145 CFU/250 mL. For the PPRC pipes, neither physical/chemical change in water quality nor pathogenic growth were observed. The average total colony count was found as 34 CFU/250 mL. Excluding raw water, *Pseudomonas aeruginosa* was the most common detected pathogens in plumbings as 12 points. The highest colony formation was *Escherichia coli*, which was detected in four plumbings and totally as 600 CFU/250 mL colonies. In addition, a “Plumbing Risk Analysis Matrix” has also been developed for the inspection and auditing of the plumbings. In this way, the plumbings audited and the risk level of the plumbings evaluated methodically. According to the matrix, six plumbings were detected as “green category” (low risk). Five of these points were PPRC and one was PE pipe. Two points were in “yellow category” (medium risk), one was PPRC and the other one was galvanized metal pipes. 13 points were determined in the “red category”, which is the highest risk group. Two of these points were PE pipes and 11 were galvanized metal pipes. It has been observed that more deposits and accumulations occurred in galvanized metal installations, and microbiological growth on this residue was higher than PE and PPRC.

Science Code : 90317

Key Words : Plumbing, Water Quality, Biofilm, Risk Analysis

Page Number : 154

Supervisor : Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

TEŞEKKÜR

Doktoraya başlamama vesile olan ve bu çalışmanın yürütülmesi sırasında bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. A. Çağlan GÜNAL'a, değerli teknik katkılarıyla çalışmama destek veren Prof. Dr. Hatim ELHATİP, Prof. Dr. Kadir HALKMAN ve Dr. Öğretim Üyesi Feriha YILDIRIM'a, analizlerde ve çalışmalarımda bana destek olan değerli meslektaşlarım Dr. Melike Huri YAVUZ, Gözde Tuğba KÖKSOY, Mustafa ŞİMŞİR ve Mehmet GÜZEL'e, yöneticilerim Dr. Sinan BİNBİR, Sercan OKTAY ve Yavuz YILMAZ'a, çalışmamda her zaman yanımda olan bölümümdeki değerli çalışma arkadaşlarıma, tez dönemimde birer yıl arayla vefat eden ve maddi manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen rahmetli annem ve babama, sabırla bu sürecimde bana eşlik eden sevgili eşime, çocuklarıma, kardeşlerime ve çalışmalarımda maddi manevi, büyük veya küçük emeği geçen, destek olan herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA SU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN BİYOFİLM TABAKASI VE ETKİLERİ.....	3
2.1. Biyofilmin Tanımı ve Etkileri.....	3
2.2. Biyofilmi Etkileyen Faktörler ve Oluşma Aşamaları.....	5
2.3. Sıhhi Tesisat Borularının Biyofilm Oluşumuna Etkisi.....	11
2.4. Bina İçi Su Depolarının Biyofilm Oluşumuna Etkisi.....	15
2.5. Mikroorganizmaların Su Şebekelerine Giriş Yolları.....	17
2.6. İç Tesisatlardaki Biyofilm Tabakalarında Bulunabilen Mikroorganizmalar...	19
2.7. Çalışmalarda İncelenen Türler.....	23
2.7.1. Toplam koloni (jerm sayısı).....	24
2.7.2. Toplam koliform.....	25
2.7.3. <i>Escherichia coli</i>	25
2.7.4. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	26
2.7.5. <i>Salmonella</i> spp.	26

Sayfa

2.7.6. <i>Staphylococcus aureus</i>	27
2.7.7. Enterokoklar (<i>Enterococcus</i>)	27
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	29
3.1. Çalışma Sahası Özellikleri ve Örnekleme.....	29
3.1.1. Ham su kaynakları.....	30
3.1.2. İçme suyu arıtma tesisi.....	31
3.1.3. Şebeke özellikleri.....	32
3.1.4. Numune alınan binalar ve tesisatların özellikleri.....	34
3.1.5. Numune alma şekli.....	37
3.2. Yöntem ve Analiz Metotları.....	39
3.2.1. Mikrobiyolojik analiz yöntemi.....	41
3.2.2. Fiziksel ve kimyasal analiz yöntemi.....	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
4.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
4.1.1. Numune noktası bazında sonuçların değerlendirilmesi.....	60
4.1.2. Genel değerlendirme.....	119
4.1.3. Sıhhi tesisat risk analiz matrisi.....	126
4.2. Mevzuat Açısından Sorumlulukların Değerlendirilmesi.....	132
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR.....	145
ÖZGEÇMİŞ.....	153

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hücre tutunması ve biyofilm oluşumunda önemli olan değişkenler.....	10
Çizelge 2.2. Farklı çalışmalarda su kaynaklarında tespit edilen bakteri sayıları.....	21
Çizelge 2.3. Bakır sıhhi tesisat borularında tespit edilen bakteri türleri.....	22
Çizelge 3.1. Numune alınan noktalar ve özellikleri.....	36
Çizelge 3.2. İncelenen türler ve inkübasyon şartları.....	50
Çizelge 4.1. İçme suları mikrobiyolojik sınır değerleri.....	60
Çizelge 4.2. Kurtboğazı Barajı ham su hattı analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.3. Çamlıdere Barajı ham su hattı analiz sonuçları.....	62
Çizelge 4.4. Ham su hattı alkalinite ve sertlik değerleri.....	63
Çizelge 4.5. Ham su (1. nokta) mikrobiyolojik analiz sonuçları.....	64
Çizelge 4.6. İçme suyu arıtma tesisi çıkışı (2. nokta) su kalite değerleri.....	66
Çizelge 4.7. Ham su, arıtma tesisi çıkışı ve şebeke suyu TOK değerleri.....	68
Çizelge 4.8. (2. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	68
Çizelge 4.9. (2. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	70
Çizelge 4.10. (3. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	71
Çizelge 4.11. (3. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	71
Çizelge 4.12. (4. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	72
Çizelge 4.13. (4. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	73
Çizelge 4.14. (5. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	74
Çizelge 4.15. (5. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	75
Çizelge 4.16. (6. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	76
Çizelge 4.17. (6. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	77
Çizelge 4.18. (7. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	80

Sayfa

Çizelge 4.19. (7. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	81
Çizelge 4.20. (8. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	82
Çizelge 4.21. (8. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	83
Çizelge 4.22. (9. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler.....	85
Çizelge 4.23. (9. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	85
Çizelge 4.24. (10. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	87
Çizelge 4.25. (10. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	88
Çizelge 4.26. (11. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	90
Çizelge 4.27. (11. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	90
Çizelge 4.28. (12. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	92
Çizelge 4.29. (12. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	92
Çizelge 4.30. (13. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler...	95
Çizelge 4.31. (13. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	95
Çizelge 4.32. (14. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	97
Çizelge 4.33. (14. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	98
Çizelge 4.34. (15. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	100
Çizelge 4.35. (15. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	101
Çizelge 4.36. (16. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	103
Çizelge 4.37. (16. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	103
Çizelge 4.38. (17. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	106
Çizelge 4.39. (17. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	107
Çizelge 4.40. (18. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	109
Çizelge 4.41. (18. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	109
Çizelge 4.42. (19. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	111

Sayfa

Çizelge 4.43. (19. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	112
Çizelge 4.44. (20. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	113
Çizelge 4.45. (20. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	114
Çizelge 4.46. (21. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	115
Çizelge 4.47. (21. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	116
Çizelge 4.48. (22. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler....	118
Çizelge 4.49. (22. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler.....	118
Çizelge 4.50. “Öncesi” analizlerinin mikrobiyolojik sonuçları.....	119
Çizelge 4.51. “Sonrası” analizlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik sonuçları...	120
Çizelge 4.52. Galvaniz metal tesisatların “Sonrası” analiz sonucu.....	121
Çizelge 4.53. PE tesisatların “Sonrası” analiz sonucu.....	122
Çizelge 4.54. PPRC tesisatların “Sonrası” analiz sonucu.....	122
Çizelge 4.55. Sıhhi tesisatların mikrobiyolojik risk analiz tablosu.....	129
Çizelge 4.56. Sıhhi tesisatların fiziksel ve kimyasal risk analiz tablosu.....	130
Çizelge 4.57. Risklerin kategorilendirilmesi ve risk azaltma planları.....	130
Çizelge 4.58. “Sonrası” analizlerinin genel risk değerlendirmesi.....	131

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. İçme suyu arıtma tesisi akış şeması.....	32
Şekil 3.2. İçme ve kullanma suyu şebekesi yerleşimi.....	33
Şekil 3.3. Numune alınan binaların temsili şematik gösterimi.....	35

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Büyütülmüş bir biyofilmin üzerinde tespit edilen mikroorganizmalar.....	6
Resim 2.2. Biyofilm oluşma aşamaları ve mikroorganizmaların bulaşma şekilleri.....	8
Resim 2.3. Duş hortumu biyofilmlerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	13
Resim 2.4. Kalsiyum karbonat çökeltisi oluşmuş termal borular.....	14
Resim 2.5. Temizliği yapılmamış bir bina içi su deposu.....	15
Resim 2.6. Deponun temizliğe başlamadan önceki farklı bir görüntüsü.....	15
Resim 2.7. Temizliği yapılan depodan tahliye edilen suyun görüntüsü.....	16
Resim 2.8. Bakımı yapılmamış sıhhi tesisattaki musluktan akan suyun görüntüsü.....	16
Resim 2.9. Yalıtımı yapılmamış su deposuna giren canlılar.....	17
Resim 2.10. Boru arızalarından çevreye sızan sular.....	18
Resim 2.11. Boru döşeme işleminde açık kalan boru ağzı.....	18
Resim 3.1. Bina içi su dağıtım yapısı.....	34
Resim 3.2. Ham su numune hattı.....	38
Resim 3.3. Tesisat su numunesi alınma şekli.....	38
Resim 3.4. Membran filtrasyon deney düzeneği.....	42
Resim 3.5. Saf su dozaj şırıngası ve filtre başlığı.....	42
Resim 3.6. Saf su ile besiyerinin hazırlanması ve filtrenin yerleştirilmesi.....	43
Resim 3.7. Süzdürülmüş filtrenin NKS besiyerine yerleştirilmesi.....	43
Resim 3.8. İnkübatöre yerleştirilen besiyerleri.....	44
Resim 3.9. Yeast besiyeri üzerinde koloni oluşturan bakteriler.....	45
Resim 3.10. Chromocult besiyeri üzerinde koloni oluşturan bakteriler.....	45
Resim 3.11. Endo besiyeri üzerinde koloni oluşturan <i>E. coli</i>	46
Resim 3.12. Cetrimide besiyeri üzerinde koloni oluşturan <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	47

Resim	Sayfa
Resim 3.13. Bismuth sulfite besiyeri üzerinde koloni oluşturan <i>Salmonella</i> spp.....	48
Resim 3.14. Chapman besiyeri üzerinde koloni oluşturan <i>Staphylococcus aureus</i>	49
Resim 3.15. Azide besiyeri üzerinde koloni oluşturan Enterokoklar.....	50
Resim 3.16. Spektrofotometre (Hach Lange DR 6000)	51
Resim 3.17. Turbidimetre (Hach Lange 2100 N)	52
Resim 3.18. pH metre (Hach Sension1) ve manyetik karıştırıcı (Thermomac TM12)	52
Resim 3.19. Titrasyon düzeneği	53
Resim 3.20. Spektrofotometrede LCK 521 kiti ile demir analizi	54
Resim 3.21. LCK 301 kiti ile alüminyum analizi	55
Resim 4.1. Ham suda UV lambası altında ışıma veren <i>Pseudomonas</i> kolonileri	65
Resim 4.2. <i>E. coli</i> ve koliform kolonileri (Ham su)	65
Resim 4.3. Ham suda tespit edilen türler	65
Resim 4.4. (2. Nokta) Öncesi mikrobiyolojik sonuçlar	69
Resim 4.5. (2. Nokta) Sonrası mikrobiyolojik sonuçlar	69
Resim 4.6. (5. nokta) Numune alınan musluk	74
Resim 4.7. Tespit edilen toplam koloni ve <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	75
Resim 4.8. (6. nokta) Numune alınan boru yüzeyi	76
Resim 4.9. (6 nolu bina) Şebekede tespit edilen türler	78
Resim 4.10. UV lambası altında ışıma veren <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	78
Resim 4.11. Endo NKS üzerindeki diğer koliform türleri	78
Resim 4.12. (7. Nokta) Numune alınan PE kollektör	80
Resim 4.13. Toplam koloni ve <i>Staphylococcus aureus</i> kolonileri	82
Resim 4.14. (8. Nokta) Numune alınan WC musluğu	82
Resim 4.15. (8. Nokta) Tespit edilen toplam koloniler	84

Resim	Sayfa
Resim 4.16. (9. Nokta) Numune alınan musluk	84
Resim 4.17. (9. nokta) Tespit edilen türler	86
Resim 4.18. Numune alınan 10. noktada boru içi birikinti	87
Resim 4.19. (10. Nokta) Tespit edilen türler - 1	89
Resim 4.20. (10. Nokta) Tespit edilen türler - 2	89
Resim 4.21. Numune alınan boru yüzeyi	91
Resim 4.22. (12. nokta) Tespit edilen türler - 1	93
Resim 4.23. (12. nokta) Tespit edilen türler – 2	93
Resim 4.24. Numune alınan boru yüzeyi	94
Resim 4.25. Tespit edilen türler	96
Resim 4.26. Numune alınan boru yüzeyi.....	97
Resim 4.27. Yeast NKS üzerinde oluşan koloniler.....	99
Resim 4.28. Tespit edilen diğer koloniler.....	99
Resim 4.29. Numune alınan nokta.....	100
Resim 4.30. Tespit edilen türler.....	101
Resim 4.31. Numune alınan nokta.....	102
Resim 4.32. Yeast NKS üzerinde tespit edilen türler.....	104
Resim 4.33. Tespit edilen toplam koliform ve <i>Pseudomonas aeruginosa</i> kolonileri....	104
Resim 4.34. Numune alınan nokta.....	105
Resim 4.35. Membran filtre kâğıtlarında oluşan pas birikimi.....	106
Resim 4.36. Yeast NKS üzerinde tespit edilen türler.....	107
Resim 4.37. Tespit edilen diğer türler.....	108
Resim 4.38. Yeast NKS üzerinde oluşan koloniler.....	110
Resim 4.39. Çapraz bağlantı yapılan sulama ve şebeke suyu hattı.....	110

Resim	Sayfa
Resim 4.40. Numune alınan boru yüzeyi.....	111
Resim 4.41. Numune alınan nokta.....	113
Resim 4.42. Tespit edilen türler ve filtre kâğıdında biriken paslar.....	114
Resim 4.43. Yeast NKS üzerinde tespit edilen koloniler.....	116
Resim 4.44. Tespit edilen <i>Staphylococcus aureus</i> ve <i>Pseudomonas</i> kolonileri.....	117
Resim 4.45. Endo NKS üzerindeki <i>E. coli</i> ve diğer koliform kolonileri.....	117

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
CFU	Colony Forming Unit
dk	Dakika
g/L	Gram/litre
hücre/cm²	Hücre/santimetrekare
Hz	Hertz
km	Kilometre
L	Litre
L/dk	Litre/dakika
M	Molar
m	Metre
m³/gün	Metreküp/gün
m³/saat	Metreküp/saat
mg/L	Miligram/litre
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mS/m	MiliSiemens/metre
nm	Nanometre
NTU	Nephelometric Turbidity Units
Pt/Co	Platinum-Cobalt Scale
sa	Saat
sn	Saniye
V	Volt
µm	Mikrometre
µg/L	Mikrogram/litre
°C	Santigrat derece

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AKM	Askıda katı madde
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
BAM	Bacteriological Analytical Manual (FDA)
<i>C. perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i>
DIN	German Institute for Standardisation
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EC	European Commission
EMS	En Muhtemel Sayı
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
GAC	Granül Aktif Karbon
Glv.	Galvaniz Metal
HPC	Heterotrofik plaka sayıları
ISO	International Organization for Standardization
NKS	Kurutulmuş Hazır Besiyeri
<i>P. aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
PE	Polietilen
PPRC	Polypropylene Random Copolymer
PP	Polipropilen
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
SM / SMWW	Standard Methods (for Water and Wastewater)
Sp. / Spp.	Tür/Türler
THM	Trihalometan
TOK	Toplam organik karbon
TS	Türk Standartları
uPVC	Unplasticised polyvinyl chloride
USEPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
USP	United States Pharmacopeia
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Yaşamı sürdürmek için en önemli gereksinimimiz olan suyun kaynağından alınıp uygun tekniklerle arıtıldıktan sonra en kaliteli şekilde son kullanıcıya ulaştırılması esastır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2017) tanımlamasına göre su, tüketicilerin çoğunluğu için şikâyet oluşturabilecek tat ve kokulardan arındırılmış olmalıdır. Mümkün olduğu kadar güvenli bir içme suyu kalitesi elde etmek için her türlü çaba gösterilmelidir. Güvenli içme suyuna erişim, sağlık için zorunluluk olup temel bir insan hakkıdır ve sağlığın korunmasına yönelik etkili politikanın bir bileşenidir. Fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik bazı su parametreleri suyun estetik özelliklerini, görünümünü, kokusunu veya tadını etkileyebilmekte ve tüketici açısından suyun kalitesini ve kabul edilebilirliğini belirlemektedir [1]. Bu nedenle baraj, gölet, akarsu, yeraltı kuyusu gibi yer üstü ve yeraltı kaynaklardan alınan sular içme suyu arıtma tesislerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinden geçirilmektedir.

Yüksek kalitede, uluslararası standart ve yönetmelik değerlerine uygun su temin etmek için entegre bir su üretim ve dağıtım sürecine sahip olunması gerekmektedir. Su kaynağından başlayıp, iletim hatları, içme suyu arıtma tesisleri ve su dağıtım yapıları ile devam eden bu süreç, son kullanıcı olan tüketicilerin iç tesisatları ile son bulmaktadır. Son kullanıcıya doğrudan etki etmesi açısından bu sürecin en önemli basamağı ise bina içi su tesisatları ve bu tesisatların bir elemanı olan su depolarıdır.

İçme suyu sektöründeki en önemli hususlardan biri, içme suyunun mikrobiyel güvenliğinin ve kalitesinin garanti edilmesidir [2]. Suyun üretim ve dağıtım aşamalarında ne kadar sıkı önlemler alınır, alınsın içme suyu sistemlerinde her zaman mikroorganizmalar bulunabilmektedir. Şebekeye verilen içme suyunda hem kimyasal hem de biyolojik kalite değişiklikleri meydana gelebilmektedir [3]. Yapılan araştırmalar, içme suyu dağıtım sisteminde meydana gelen mikrobiyolojik su kalite değişikliklerinin başlıca nedeninin su dağıtım sistemlerinin üzerinde meydana gelen biyofilm tabakaları olduğunu göstermiştir. Özellikle sıhhi tesisatlarda boruların ve depoların yüzeyinde oluşan biyofilm tabakaları, içerdiği mikroorganizmalar nedeniyle suyun kalitesini değiştirebilmekte, sağlık riski oluşturabilmekte ve kullanılan malzemeye bağlı olarak borularda korozyon meydana getirebilmektedir. Suların arıtımını, dağıtımını ve kalite izlemesini gerçekleştiren kuruluşlar, yasal yetkileri kapsamında bina girişindeki su sayaçlarına kadar sorumluyken bina içi sıhhi tesisatların sorumluluğu tüketicilere bırakılmıştır. Suyun kalitesi su dağıtım şebekelerinden

bina girişlerindeki sayaçlara kadar uzman ve yetkili kurumlarca sıkı bir şekilde kontrol edilir ve denetlenirken bina iç tesisatların su kalitesine etkisi incelenmemektedir. Bu yönde yasal bir düzenleme de bulunmamaktadır. Bu nedenle sıhhi tesisatlardaki biyofilm ve patojen mikroorganizmaların varlığının incelenmesi ve sıhhi tesisat bakımlarının yasal bir zemine oturtulması büyük önem arz etmektedir. Biyofilmlerin ve içeriğindeki mikroorganizmaların incelenmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmış olsa da bu araştırmalar genellikle kontrollü laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Aktif olarak işletilen şebekelerdeki mevcut biyofilmlerin ve içeriğindeki mikroorganizmaların incelenmesi, hâlihazırda yaşanan sorunların ve risklerin ortaya çıkarılması açısından önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca su kaynaklarının, ortam koşullarının ve işletme şartlarının biyofilm içindeki türlerin bileşimini değiştirmesi nedeniyle, yapılan çalışmaların farklı şartlarda işletilen şebekelerde de ayrıca çalışılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ankara ili sınırları içerisinde bulunan en önemli iki su kaynağı olan Çamlıdere ve Kurtboğazı Barajlarından beslenen şebekelerde biyofilm oluşumu, patojen varlığı tespiti ve su kalitesine ilişkin etkileriyle ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın hedefi, Ankara ilinde yüzeysel su kaynakları olan barajlardan beslenen şebekelerden örnek olarak seçilen izole bir şebekenin iç tesisatında biyofilm tabakası varlığını ve içeriğindeki patojen mikroorganizmaları incelemek, bu tabakanın su kalitesine etkisini tespit etmek, buna bağlı olarak su kalitesinin korunması amacıyla sıhhi tesisatlardaki biyofilm oluşumuna karşı tüketiciler ve sorumlu kuruluşlar açısından teknik ve idari yöntem ve iyileştirmeler belirlemektir.

Çalışma dönemi Covid-19 pandemisine denk geldiğinden zorunlu kapanma, izolasyon vb. nedenlerden dolayı her noktadan numune alınamamış, şebekede örnekleme yapılarak numune alınmıştır. Ayrıca güvenlik sınırlamaları nedeniyle çalışma yapılan tesisin ismine, bilgilerine, numune alınan binaların fotoğraflarına ve tesisin genel yerleşim planına yer verilememiştir. Sadece numune alınan binalar krokide gösterilmiştir. Çalışmada indikatör mikroorganizmalar ağırlıklı olarak incelenmiştir. Türlerin tespitinde hazır kurutulmuş besiyeri kullanıldığı için üretici firma tarafından besiyeri temini yapılabilen Toplam Koloni, Toplam Koliform, Enterokoklar, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* çalışmaya dahil edilmiştir.

2. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA SU DAĞITIM SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN BİYOFİLM TABAKASI VE ETKİLERİ

2.1. Biyofilmin Tanımı ve Etkileri

İçme suyu dağıtım şebekelerindeki biyofilmler, içerdikleri mikroorganizmalar nedeniyle, içme suyu kalitesi ve insan sağlığı açısından dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Kaynağından arıtma tesislerine gelerek arıtılan sular, daha sonra şebekeden musluklara ya da endüstriyel su sistemlerine kadar ulaşırken kilometrelerce uzunlukta borulardan geçmekte, depolarda ve iç tesisatlarda beklemektedir. Bu süreçte suya karışan mikroorganizmalar, su akışıyla beraber taşınmakta ve boruların yüzeylerine yapışarak çoğalmaktadır. Sudaki mikroorganizma sayısının artışı, suyun hijyenik ve estetik kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır [4].

Arıtılmış suda da mikroorganizmalar ve organik bileşikler bulunabilmekte ve dağıtım şebekelerinde çeşitli etkenlere bağlı olarak, toplam hücre sayıları 10^5 hücre/mL ile 10^6 hücre/mL arasında, bozulmamış (inact) hücre konsantrasyonu aralığı da 10^3 ila 10^5 hücre/mL arasında bulunabilmektedir [5]. Doğal olarak bulunan bu mikroorganizmaların çoğu, insan sağlığı için bir risk teşkil etmemektedir [6]. Ancak mikroorganizma sayısı arttığında suda tat ve koku problemleri veya suyun renginin bozulması gibi şikâyetlere neden olabilmektedir. Ancak biyofilmler içinde gelişebilen ve çoğalabilen bazı patojen mikroorganizma türleri insan sağlığı için önemli bir risk oluşturmaktadır. [3, 7-8].

Biyofilm, canlı veya cansız bir yüzeye yapışarak kendi ürettikleri polimerik yapıda jelsi bir tabaka içinde yayılan mikroorganizmaların oluşturduğu topluluktur [9]. İçme suyu sistemlerinde oluşan biyofilm, başlıca bakteri ve bakterilerden salgılanan ekzopolimerik maddelerden (EPS) oluşmaktadır. EPS, bakterilerin bir arada bulunmasını sağlamak ve çevresel streslere karşı mikroorganizmaları koruyan bir bariyer görevi görmektedir [10]. Bir başka tanımlamaya göre biyofilm, birbirine ya da bir yüzeye yapışık bakterinin organik bir polimer matriks içine gömülmesidir [11].

Biyofilm, mikrobiyel yaşam toplulukları için kullanılan bir ifadedir. Biyofilmler katı-sıvı, katı-hava ve sıvı-hava ara yüzlerinde oluşabilmektedir. Mikroorganizmaların çoğu biyofilm

oluşturma özelliğine sahiptir. Dünyadaki tüm mikroorganizmaların çoğu kümeler içinde yaşamaktadır [12]. Biyofilm oluşumu ve bakterilerin yüzeyle bağlanma düzeyi, ortamın pH'sı ve sıcaklığı, bakteri türü, bakteri hücre duvarının yapısı, bakteri sayısı, bağlandığı yüzeyin özellikleri, hücre hareketliliği, ortamdaki besin maddeleri içeriği ve miktarı, iyon konsantrasyonu gibi birçok faktör ile değişebilmektedir [13, 14].

Biyofilm tabakası, bakterileri dezenfektanlardan, olumsuz dış etki ve streslerden, pH değişimlerinden, toksinlerden ve bakteriyofajlardan korumakta ve hücreleri bir arada tutarak güvenli bir ortamda bulunmasını sağlamaktadır. Özellikle temizliği yapılmayan su şebekeleri ve depolar, bakterilerin yerleşmesi ve biyofilm oluşturması için ideal bir ortam haline gelmektedir [15].

1930'lu yıllardan bugüne kadar yoğun bir şekilde araştırılan biyofilm tabakası, endüstriyel ve evsel su sistemlerinde, eşanjörlerde, su iletim hatlarında, gemi karınalarında, su arıtma, depolama ve dağıtım tesislerinde "biyofouling" olarak da adlandırılan istenmeyen tortu ve tabakalaşmalara yol açmakta ve önemli derecede ekonomik kayıplara neden olabilmektedir [16]. Mikroorganizmalar, biyolojisine, ekolojisine ve çevresel koşullara bağlı olarak, ortamda mevcut olan biyofilmlere bağlanabilmekte ve uzun süre boyunca hayatta kalabilmektedir. İçme suyu sistemlerindeki biyofilmler, patojenik mikroorganizmalar için çevresel bir yaşam alanı görevi görebilmekte ve fark edilmediklerinde insanlar için potansiyel bir sağlık riskine ve su kontaminasyonuna neden olabilmektedir [17].

İçme suyu tesisatlarında su akışının az olduğu noktalarda ve ölü uçlarda biyofilm tabakası hızla oluşmaktadır. Uç noktalarda, mekanik olarak ulaşmak mümkün olmadığı için, biyofilm tabakası ile mücadele etmek zordur. Rutin dezenfeksiyon işlemi ile planktonik mikroorganizmalar ölmekte, ancak biyofilm içinde bulunanlar canlı kalmaktadır. Canlı kalanlar suyun akış hızı ya da popölasyondaki artış ile biyofilmden koparak suyun estetik ve hijyenik kalitesini hızla düşürmektedir [18].

Bir biyofilm tabakasında mikroorganizmalar sürekli olarak çoğalmakta, suyun akış gücü ile kopan mikroorganizma topluluklarının yeri hemen doldurulmaktadır. Suyun akış hızına bağlı olarak biyofilm tabakasından tek bir hücre kopabildiği gibi 500 µm çapında bir hücre kümesi de tabakadan ayrılabilir [19]. Biyofilmden kopma süreciyle birlikte

içeriğindeki mikroorganizmalar su ortamına, daha sonra da tüketici bünyesine geçebilmektedir. İçerikteki patojenler ise potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır.

2.2. Biyofilmi Etkileyen Faktörler ve Oluşma Aşamaları

İçme suyu şebekelerinde mikrobiyel büyümenin dinamikleri karmaşıktır ve birçok faktöre bağlıdır. Hidrolik koşullar, organik madde miktarı ve ortam sıcaklığı gibi parametreler mikroorganizmaların şebekelerde çoğalmasında ve gelişmesinde önem arz etmektedir. Çoğu patojen mikroorganizma için optimal sıcaklık insan vücut sıcaklığına yakın olduğundan, suyun sıcaklığını düşük tutmak patojenik mikroorganizmaların çoğalması riskini azaltmaktadır. Mikroorganizmalar açısından organik maddelerin bol bulunduğu ötrofik sularda biyofilm tabakası çok hızlı gelişirken, düşük düzeyde besin bulunan oligotrofik sularda bu süreç daha yavaş gelişmektedir. Besin maddesinin az bulunduğu ortamda bakteri çoğalmaktan ziyade hücre canlılığının devamı için mücadele etmektedir [3].

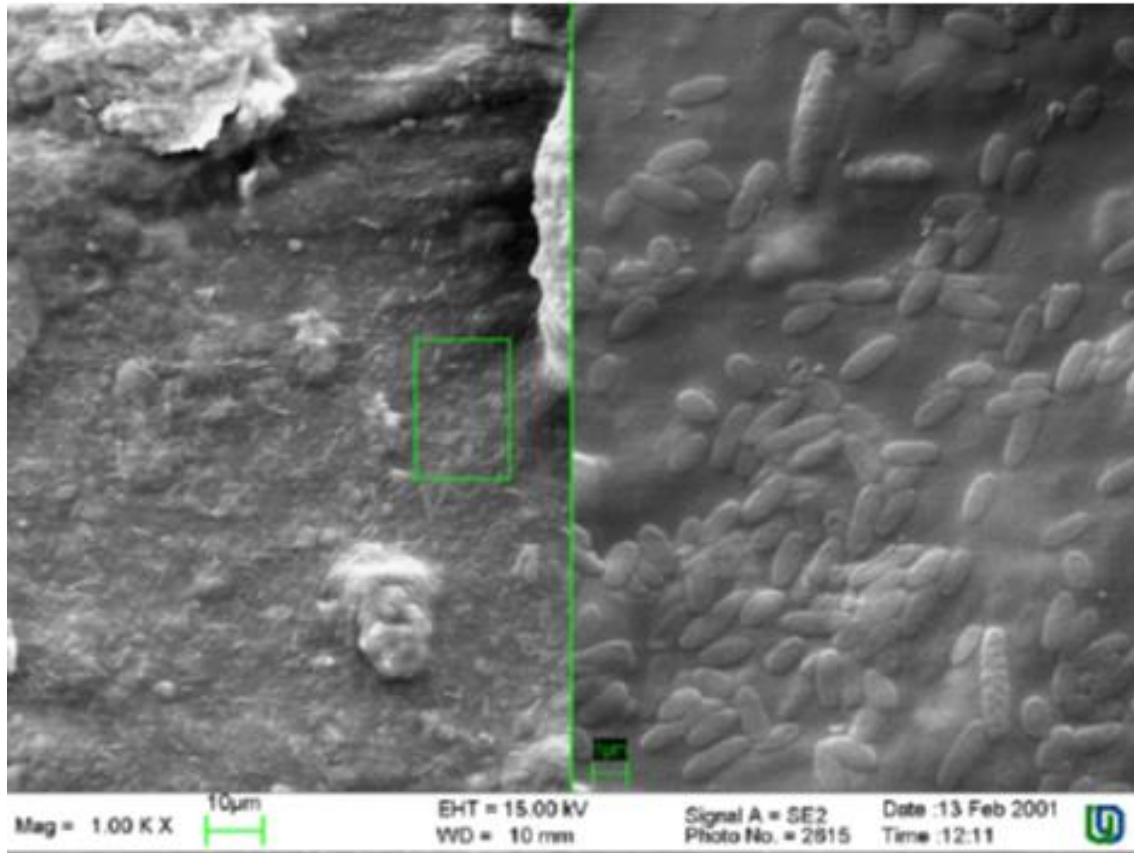
Suda mikroorganizmalar için besin maddesi olan organik karbonun bulunması, şebekede yetersiz dezenfeksiyon yapılması, bakiye klor miktarının uygun olmaması, su iletim borularının tam dolu olmaması, yeterli sıklıkla şebekenin temizlenmemesi durumunda şebeke suyunda patojenler ve diğer organizmalar ortaya çıkabilmektedir. Sudaki organik besin miktarı, bakteri derişimi, suyun şebekede bekleme süresi, hidrolik etkiler, boru ve bağlantı malzemeleri, şebeke malzemelerindeki korozyon miktarı, borulardaki sediment birikimi, sıcaklık ve yağmur gibi etkenler bakteriyel çoğalmaya uygun şartları sağlamaktadır [20].

Su şebekelerinde bakteri ve mantar gibi mikroskobik organizmalar bulunabilmektedir. Bu mikroorganizmalar suda serbestçe büyüebilmekte ve su borularının üzerinde biyofilm oluşturmaktadır. Biyofilm tabakası da onları şebekedeki bakiye klor gibi dezenfektanlara karşı çok daha dirençli hale getirmektedir. Ayrıca bazı bakteriler demir borulara saldırmakta ve borudaki korozyon oranını arttırmaktadır. Koku ve tat sorunları, içme suyunda artan partikül madde konsantrasyonları gibi problemler de su dağıtım sistemlerinde yüksek mikrobiyel aktivite ile ilişkilendirilmektedir [21].

Sudaki hijyenik problemler, dışsal kaynaklı mikroorganizmaların kontaminasyonundan veya şebekede mevcut olan mikroorganizmaların çoğalmasından kaynaklanabilmektedir.

Şebekedeki mikroorganizmaların aktivitesi, boruların korozyonundan insan sağlığıyla ilgili problemlere kadar çok sayıda soruna neden olabilmektedir. Dağıtım şebekelerindeki su kaynaklarının izleme sıklığı genellikle seyrek olduğundan ve kullanılan mikrobiyel teknikler içsel mikroorganizmaların karakterizasyonu için yetersiz olduğundan, bu sorunların ölçeği neredeyse bilinmemektedir. Dağıtım sistemlerindeki mikroorganizmaların çoğu insanlara doğrudan zararlı değildir, ancak estetik (koku, tat vb.) ve teknik sorunlara (korozyon, biyofauling vb.) neden olabilmektedir. Estetik sorunlar tüketici şikâyetlerinin en sık nedenleri arasındadır. Sudaki oksijenin tükenmesi, düşük konsantrasyonlarda bile kötü kokuya neden olan sülfid oluşumunu tetikleyebilmektedir [3].

Resim 2.1’de elektron mikroskobu altında bir içme suyu sisteminde sentetik kauçuk vana üzerinde büyütülmüş bir biyofilmin üzerinde tespit edilen mikroorganizmaların görüntüsü verilmiştir [22]. Bakterilerin boyutunun büyük olması, bakterilerin biyofilm oluşturmaları ve büyümesi için içme suyu sisteminde uygun besin koşullarının oluştuğunu göstermektedir.



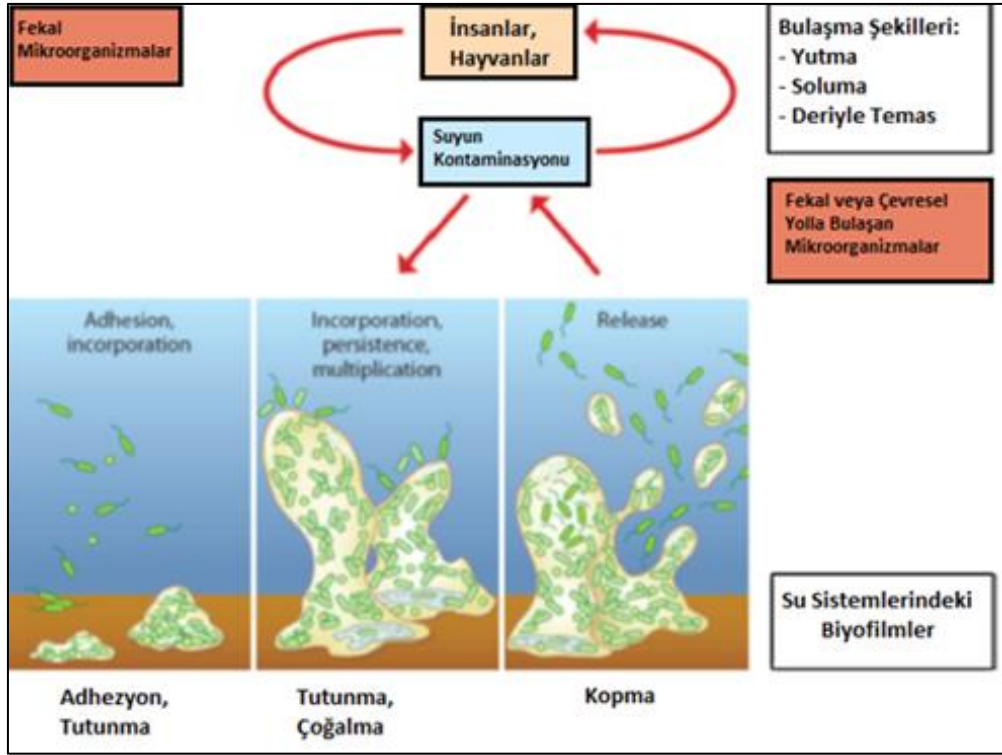
Resim 2.1. Sentetik kauçuk vana üzerinde büyütülmüş bir biyofilmin üzerinde tespit edilen mikroorganizmaların görüntüsü (sol) taramalı elektron mikrosrafı, (sağ) soldaki görüntünün büyütülmüş hali [22]

Su şebekelerinde mikrobiyel çoğalmalara karşı dezenfeksiyon uygulamaları yapılırsa da biyofilm tabakası, su sistemlerine uygulanan dezenfeksiyonun etkinliğini azaltmaktadır. Dezenfektanların etkinliği biyofilm tabakasının kalınlığına bağlı olarak derinlere girdikçe azalmaktadır [23]. Ayrıca dezenfektanlar, biyofilmin yapısal maddeleriyle de tepkimeye girebilmektedir. Serbest klorun çok hızlı bir şekilde EPS ile reaksiyona girerek sudaki etkinliğinin azaldığı belirtilmektedir [24].

Mikroorganizmaların bazıları yüzeylere tutunurken, bazıları da su içinde serbest halde dağılmış olarak bulunmaktadır [25]. Ancak bakteriler suda serbest hareket etmek yerine bir yüzeye tutunmayı tercih etmektedir [26]. İçme suyu sistemindeki bakteri sayılarının yaklaşık %95'i yüzeylerde biyofilm tabakasında bulunmaktayken, %5'i ise su ortamında bulunmaktadır [27].

Patojenlerin varlığı nedeniyle biyofilmler, suyla ilgili mikrobiyolojik analizlerde ve risk değerlendirmelerinde ayrıca incelenmesi gereken önemli bir faktördür. Su kalitesinin tespitinde su fazında olan bakteriler tespit edilmektedir. Ancak biyofilm tabakasında bulunan mikroorganizmalar su kalitesi ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmayı sürdürmektedir. Bu nedenle boru iç yüzeylerinde oluşan biyofilm tabakalarının ve içerdiği zararlı mikroorganizmaların da incelenmesi gerekmektedir. Buradaki amaç, su sistemlerinden kaynaklanabilecek ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilecek unsurları minimize etmektir.

Bakterilerin genellikle yüzeyde tutunmaları nedeniyle su fazındaki bakteri sayıları, biyofilmlerin miktarını veya yerlerini göstermemektedir. İnsan konakçının hassas olması ve kontamine suya maruz kalması, önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Resim 2.2'de biyofilm üzerindeki mikroorganizmaların bulaşma şekilleri ve biyofilm oluşturma aşamaları yer almaktadır [17]:



Resim 2.2. Biyofilm oluşturma aşamaları ve mikroorganizmaların bulaşma şekilleri

Şebekelerde biyofilmlerin oluşumunda aşağıdaki süreçler gerçekleşmektedir:

- Yüzeyin mikroorganizmaların yapışmasına hazır hale gelmesi (şartlandırma),
- Öncü veya ilk bakterinin yüzeye tutunması (tersinir ve tersinmez olarak),
- Biyofilm içerisinde bulunan bakteriler tarafından “glikokaliks” olarak da isimlendirilen EPS salınması,
- Farklı tür mikroorganizmaların biyofilm oluşumuna katılımı ve olgun mikrofilm tabakası oluşumu [28].

Yüzeyin hazırlanması ve şartlandırma aşamasında, mikroorganizmaların bağlanacağı yüzey, sonraki bakteriyel bağlanmayı etkileyen organik ve inorganik besinlerin adsorpsiyonu ile şartlandırılmakta ve yüzey tutunmaya hazır hale gelmektedir [29, 30].

Tutunacak yüzeye yaklaşan bakteri hücrelerinin tersinir tutunması, mikrobiyel hücrelerin çökmesi ve Brown hareketi, sıvı içindeki konveksiyon akımları, hareketli bakteriler tarafından yüzeye yaklaşma veya bakteri hücre yüzeyi ve alt yüzey arasındaki elektrostatik ve fiziksel etkileşimler ile meydana gelebilmektedir [31, 32]. Tersinir tutunma, yüzeye

yapışan ve sıvıda askıda kalan hücreler arasında bir denge kurulması ile sonuçlanabilmekte ve bakteri hücrelerinin şartlandırılmış bir yüzeye bağlanmasını güçleştirebilmektedir [32, 33].

Yüzeylere tersinir şekilde bağlanan bakteriler, hücre zarlarına bağlı sensör proteinlerinin uyarılması nedeniyle EPS üretmeye başlamaktadır [34]. Bu da hücreler arası köprülerin kurulmasına ve hücrelerin yüzeye tersinmez olarak yapışarak sabitlenmesine yol açmaktadır [35].

Bakterinin yüzeye tutunmasını kolaylaştıran hücre dışı yapıları, borunun pürüzlülüğü, borunun metalik alaşımları, ortam pH'ı, sudaki besin miktarı, su sıcaklığı vb. parametreler de bakterilerin yüzeye yapışmasında etkilidir. Sudaki inorganik parçacıkların, birikintilerin ve organik moleküllerin de yüzeyde bulunması biyofilm oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Oluşan biyofilm tabakası zamanla malzemenin yüzey özelliklerini de değiştirerek mikrobiyel tutunmayı kolaylaştırmaktadır [9].

Biyofilm oluşumundaki son aşama ise bakterilerin yüzeyde çoğalması ve koloni oluşturmalarıdır [30]. Yüzeye tutunmuş olan bakteriler burada bölünerek çoğalmakta ve bir biyofilmin temelini oluşturan mikro koloniler haline gelmektedir [36]. EPS'de diğer planktonik hücrelerin tutulması da gerçekleşmekte ve bu şekilde bir biyofilm tabakası oluşmaktadır [31]. Oluşan biyofilm, besinleri ve atık ürünleri taşıyan oldukça geçirgen kanallara sahip ve EPS ile çevrili bakterilerden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir [36, 38].

Sudaki besin konsantrasyonları, pH, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, ortamdaki demir konsantrasyonundaki değişiklikler vb. etmenler biyofilm oluşmasını etkilemektedir. Pürüzlü yüzeyler biyofilm oluşumuna daha duyarlıdır. Bunun nedeni kesme kuvvetlerinin (shear force) azalması ve yüzey alanının artmasıdır. Bazı bileşenler tüm biyofilmler için ortak olsa da çevresel etkiler ve yüzey özellikleri de bu yapı üzerinde belirleyici olmakta ve çok türlü biyofilm mikroorganizmalarının oluşumunu etkilemektedir [37]. Çizelge 2.1'de hücrenin yüzeye tutunması ve biyofilm tabakasının oluşması aşamasında belirleyici olan değişkenler ve özellikler yer almaktadır [29]:

Çizelge 2.1. Hücre tutunması ve biyofilm oluşumunda önemli olan değişkenler

Yüzeyin Özellikleri	Sıvının Özellikleri	Hücrenin Özellikleri
Yüzey Pürüzlülüğü	Akış Hızı	Hücre Yüzeyinin Hidrofobik Durumu
Hidrofobik Durumu	pH	Fimbria (Saçak) Yapısı
Yüzeyi Şartlandıran Film Oluşumu	Sıcaklık	Flagella (Kamçı) Yapısı
	Katyonlar	Extracellular polymeric substances (EPS)
	Antimikrobiyel Unsurların Varlığı	

Belirli bir olgunluğa ulaşan biyofilm tabakasında bir süre sonra mikroorganizmalar ayrılarak kopma süreci gerçekleşmektedir. Biyofilmden tek bir hücre ayrılabilirdiği gibi 500 µm çapında bir koloni de kopabilmektedir. Hücrelerin tabakadan tek tek kopması “erozyon”, kütleler halinde kopması ise “dökülme” olarak adlandırılmaktadır. Biyofilmden ayrılma çoğunlukla erozyon ile gerçekleşirken, dökülmede gözlenen hücre sayısının türe bağlı olarak 10 ila 300 hücre arasında değiştiği bildirilmiştir [4]. Bu kopan hücreler de şebekede mikrobiyolojik kirlenmeye yol açabilmektedir.

Mikroorganizmaların oluşturduğu koloniler, içinde bulundukları ortam ile karakterize edilmekte ve belirlenmektedir. Ham su kaynağının özelliklerine, içme suyunun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerine, arıtma tesisindeki uygulanan işlemlere, ortamdaki besin miktarına, şebekenin fiziksel özelliklerine vb. koşullara bağlı olarak biyofilmdaki bakterilerin türü de değişebilmektedir. Oligotrofik (düşük besin koşulları) ortamdaki mikroorganizma topluluklarının genellikle daha fazla türde birçok farklı bakteri türüne aynı anda ev sahipliği yaptığı düşünülmektedir. Besin açısından zengin (ötrofik) sularda ise az sayıda ancak daha fazla özelleşmiş türde bakterinin baskın olma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Oligotrofik ortamdaki bakteriler ötrofik sistemlere kıyasla daha yavaş büyümektedir [39].

Biyofilm oluşumu üzerinde etkili olan diğer bir parametre de sıcaklıktır. Sıcaklık ve biyofilm oluşumu arasında pozitif bir ilişki gözlemlenmiştir. Şebekede bakteri çoğalmasını en aza

indirmek için genellikle su kaynaklarının sıcaklığının da mümkün olduğunca düşük olması tercih edilmektedir [40].

2.3. Sıhhi Tesisat Borularının Biyofilm Oluşumuna Etkisi

Şehir şebekesinde su kalitesi yüksek olsa bile zaman zaman evlerin musluklarından kırmızı/kahverengi, bulanık veya kokan su gelmesi şikâyetleri oluşabilmektedir. Arıtma tesisinden bir şebekeye aynı kalitede su verilmesine rağmen binalardan lokal su kalitesi şikâyetleri gelebilmektedir. Yan yana olan iki binadan birinde su kalitesiyle ilgili şikâyet olabilmekteyken diğer binada su kalitesi ilgili standartlara uygun çıkabilmektedir. Bu ise binaların uygun olmayan ya da korozyona uğramış sıhhi tesisatlarının ve su depolarının su kalitesini olumsuz yönde etkilediğinin en temel göstergelerinden biridir.

İçme suyu tesisatlarındaki kötü tasarım, yanlış kurulum, yanlış malzeme seçimi ve bakımı yetersiz yapılan veya hiç yapılmayan sıhhi tesisat sistemleri sağlık açısından olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bina içi sıhhi tesisatlarda bulunan suyun kalitesini çok sayıda faktör etkileyebilmekte ve içme suyunun fiziksel, kimyasal veya mikrobiyolojik açıdan kirlenmesine neden olabilmektedir. Örnek olarak, gastrointestinal hastalık salgınları, çatı katında bulunan korunaksız su depolarındaki eksikliklerden kaynaklanabilmektedir. Atık su borularıyla yapılan hatalı çapraz bağlantılar (cross-connection) binalardaki içme suyunun fekal olarak kirlenmesine neden olabilmektedir. Suyla etkileşime giren ve zamanla korozyona uğrayan tesisat malzemeleri, borular, bağlantı parçaları ve galvaniz gibi kaplamalar içme suyunda ağır metal konsantrasyonlarının yükselmesine ve yüzeylerinde bakteri çoğalmasına neden olabilmektedir [1].

Tüketicilerde suyla ilgili yaşanan koku, tat, görüntü gibi estetik problemleri veya su kalitesine ilişkin diğer sorunları önleyebilmek için, biyofilm ortamı ve şebeke işletme arasındaki ilişkinin incelenmesi gerekmektedir [41]. Su dağıtım borularının imalatında kullanılan malzemeler, suyun kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Suyu şebekeden tüketicinin evine ileten servis boruları çelik, dökme demir, bakır, kurşun, polietilen, PPRC veya uPVC'den imal edilebilmektedir. Estetik problemler, genellikle boru tesisatının iç yüzeyinde büyüyen mikrobiyel biyofilm ile ilgili olan tortu, renk bozulması, koku ve tattan kaynaklanmaktadır. Bu biyofilm aynı zamanda musluk suyunda ara sıra görülen bir dizi daha büyük organizmayı da destekler, ancak biyofilm hem patojenlerin hem de fırsatçı

bakterilerin yeniden büyümesine izin vererek suyun mikrobiyel kalitesini etkileyebilmektedir [21].

Biyofilm tabakasındaki bakteriyel aktivite sonucunda şebeke sistemindeki depo ve borularda korozyon da oluşabilmektedir. Korozyon sonucu bozulan zemin daha çok biyofilm oluşmasına elverişli bir ortam meydana getirmektedir. Oluşan yeni biyofilm tabakaları da yeni korozyon oluşumunu tetikleyerek, olumsuz bir döngüye sebep olmaktadır [28]. Mikroorganizmalar kendilerini aşınan yüzeye bağlayabilmekte ve biyofilm oluşumunu tetiklemektedir. Mikroorganizmalar biriktikçe borularda suyun akışına karşı direnç oluşmaktadır. Bu mikroorganizmalardan bazıları, özellikle demir ve kükürt bakterileri de boru tesisatını, metal ve metal olmayan yüzeyleri de aşındırabilmektedir [21].

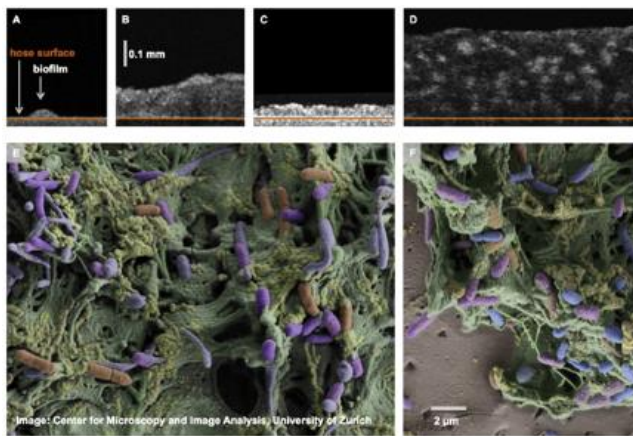
Mikroorganizmalar, yüzeyin türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir olsa bile, yüzeyde kısa sürede biyofilm oluşturabilme kapasitesine sahiptirler [42]. Su sistemlerinde çelik, polipropilen, polietilen, polibütan ve bakır gibi birbirinden çok farklı maddelerden üretilmiş borular kullanılabilir. Kullanılan boru tipleri sistemin biyofilm oluşturabilme özelliğini değiştirmektedir. Şebekede kullanılan farklı boru türlerinin biyofilm oluşumuna etkileriyle ilgili pilot ölçekli birçok araştırma yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, biyofilmin tüm su şebeke malzemelerinde oluştuğunu, ancak her bir maddenin mikroorganizmaların tutunması, biyofilm oluşturması ve çoğalması için farklı koşullar meydana getirdiğini göstermektedir [43].

Keskin ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada aynı şartlar altında polietilen boruların iç yüzeyinde ince bir biyofilm tabakası meydana gelmişken demir boru sistemlerinde oldukça kalın bir biyofilm ve oksit tabakası oluşmuştur [44]. Niquette ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan diğer bir çalışmada da demir boruların, plastik borulardan 10 ila 45 kat daha fazla mikrobiyolojik büyümeyi desteklediği tespit edilmiştir [45]. Türetgen (2005) tarafından yapılan çalışmada ise kontrol malzemesi olarak sisteme konan cama kıyasla, galvanizli çelik ve bakır yüzeyde yüksek oranda biyofilm oluştuğu gözlenirken plastik malzemelerde özellikle polivinil klorür (PVC) ve polietilen (PE) anlamalı derecede daha az bakteri ve EPS barındırdığı, PVC ve polipropilen (PP) yüzeylerin diğerlerine oranla daha az sayıda *Legionella pneumophila* bakterisi taşıdığı belirlenmiştir. Ayrıca yüzeylerdeki heterotrofik canlı bakteri sayısı (HPC) açısından en kirli malzemenin galvanizli çelik, en temiz malzemenin ise polietilen (PE) olduğu tespit edilmiştir [4]. Camper

ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan çalışmada da dezenfektanların ve takviye organik karbonun varlığında en yoğun bakteriyel çoğalma metal bazlı borularda tespit edilmiştir. Çimento, epoksi ve PVC malzemelerin aralarında kayda değer bir farklılık görünmese de en az çoğalma PVC borularda tespit edilmiştir. Yüksek organik madde varlığında dökme demir borularda, diğer boru malzemelerine nazaran çok daha fazla bakteri çoğalması olmaktadır. Söz konusu çalışmada kullanılan çok yüksek dezenfektan seviyelerine rağmen, metal borular üzerinde bakteriyel çoğalma azalmamıştır. Bu nedenle su dağıtım sisteminde koliformlar gibi biyofilme bağlı bakteri çoğalması problemiyle karşı karşıya kalındığında, dezenfektan miktarı ve çeşidi yerine sudaki organik madde miktarının ve şebekede kullanılan dökme demir gibi metal bazlı boruların etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir [46].

Norton ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan pilot ölçekli çalışmalar sonucunda da su şebekelerindeki metal borularda PVC borulara nazaran daha hızlı biyofilm tabakası oluştuğu ve metal boruların daha hızlı kirlendiği tespit edilmiştir. Mikroorganizmalar metal yüzeyleri iyon kaynağı olarak kullanmakta, hücresel faaliyetleri için metal yüzeylerden iyon koparabilmektedirler. Bu nedenle metal yüzeyler biyofilm gelişmesi için uygun ortam oluşturmakta ve daha hızlı korozyona uğramaktadır [47].

Bina iç tesisatlarında farklı noktalarda biyofilm oluşumuna rastlanmaktadır. İç tesisatlarda duş başlıkları ve hortumları da pek çok bakteri barındırabilmektedir. Resim 2.3'te çeşitli ülkelerde (sırasıyla ABD, İsviçre, Danimarka, Almanya, renkli görüntüler İsviçre) duş hortumları üzerinde oluşan biyofilmlerin optik koherens tomografisi ve renklendirilmiş taramalı elektron mikroskobu görüntüleri yer almaktadır [48].



Resim 2.3. Duş hortumu biyofilmlerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Plastik malzemeler de biyofilm oluşumunu destekleyebilmektedir. Ancak plastik boruların yüzeyindeki mikroorganizmaların büyümesi demir, çelik veya beton malzemelere göre daha düşüktür [49].

Şebeke borularında tortu ve birikinti meydana gelmesinin de biyofilm oluşumunu tetiklediği gözlemlenmiştir. Su kalitesine bağlı olarak özellikle sıcak su tesisatlarında, kaplıca ve termal tesislerin borularında, ısı eşanjörlerinde ve sıhhi tesisatların borularında tortu oluşabilmektedir. Bu birikinti ve tortuların ana nedeni suda bulunan kalsiyum karbonat iyonları ve diğer çökelebilen iyonlardır. Doygunluk pH'ından daha yüksek pH'a sahip sular (pozitif Langelier indeksi) kalsiyum karbonat ile fazlasıyla doymuştur [50]. Kalsiyum karbonat, sudan gelen kireç tortusunun baskın bileşenidir ve özellikle ısı transferini içeren işlemlerde belirgindir. Suyun pH'ı yükseldiğinde, kalsiyum karbonatı çözültiden çıkmaya zorlayarak kireç birikintileri oluşmasına neden olmaktadır. Resim 2.4'te kalsiyum karbonat çökeltisi oluşmuş termal sistemlere ait borular yer almaktadır [51]:



Resim 2.4. Kalsiyum karbonat çökeltisi oluşmuş termal borular

Boru çapına göre de biyofilm oluşumunda ve su kalitesinde farklılıklar gözlenebilmektedir. Büyük boru çapları askıdaki bakterilerin etkisini desteklerken küçük çaplar biyofilm oluşumunu desteklemektedir. En kritik su kalitesi bozulmaları, küçük boru çaplarına sahip ve suyun durgun kalabildiği evlerin sıhhi tesisatlarında meydana gelebilmektedir [3].

Ülkemizde su dağıtım şebekelerinde betonarme, çelik, duktıl, pik döküm, asbest ve poletilen borular, bina içi sıhhi tesisatlarda da galvaniz ve plastik bazlı PVC ve PPRC borular kullanılmaktadır [50].

2.4. Bina İçi Su Depolarının Biyofilm Oluşumuna Etkisi

Evlerde musluklardan akan suyun kalitesini etkileyen bir diğer etken de binalarda bulunan su depolarıdır. Dağıtım sistemlerinde ve borularda belirli bir basınç ve hızla hareket eden su, bina içi depolara ulaştığında durağan hale gelmektedir. Tesisatın durumuna ve depodaki suyun kullanım süresine bağlı olarak suyun içerisindeki çökebilir askıda maddeler depoların dibine çökebilmektedir. Depoda uzun süre beklediğinde sudaki bakiye dezenfektanlar kaybolmakta, depo biyofilm oluşumu için elverişli bir ortam haline gelebilmektedir. Ayrıca suyun ters hareketiyle depo dibinde biriken tortu tekrar suya karışmakta ve suyun kalitesini bozabilmektedir. İç tesisattaki su depoların bakım ve temizlikleri düzenli olarak yapılmadığında özellikle mikrobiyolojik açıdan su kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Uzun süre temizletilmeyen depolardan kaynaklı ciddi su kalite sorunları yaşanabilmektedir. Ankara genelinde depo temizliği yapan firmalar tarafından temizlik çalışmaları esnasında karşılaşılan depoları gösteren fotoğraflar aşağıda sunulmuştur (Resim 2.5-2.9 arası fotoğraflar Ankara Sıhhi Tesisat Doğalgaz İzolasyon Montajcılar Odası'ndan temin edilmiş olup izinleriyle kullanılmaktadır):



Resim 2.5. Temizliği yapılmamış bir bina içi su deposu



Resim 2.6. Deponun temizliğe başlamadan önceki farklı bir görüntüsü

Yukarıdaki görüntüler ilk defa temizliği yapılan bina içi bir su deposuna aittir. Temizliği gerçekleştiren firma tarafından bina sakinlerinin depo temizliği konusunda yeterli farkındalıklarının olmadığı ifade edilmiştir.



Resim 2.7. Temizliği yapılan depodan tahliye edilen suyun görüntüsü



Resim 2.8. Bakımı yapılmamış sıhhi tesisat nedeniyle musluktan akan suyun görüntüsü

Su depolama tankları daima kapalı ve yalıtımlı olmalıdır. Su depolarının üstü açık bırakıldığında veya yalıtım olmadığında kuşlar, sürüngenler, kemirgenler veya böcekler depolara girebilmekte ve bu nedenle mikroorganizmalar için çoğalma alanı haline gelebilmektedir. Su depolarında haşerelerin neden olduğu kirlenme oldukça yaygındır. 1984 yılında Dublin ilindeki bir yatılı okulda öğrenciler arasında yaygın mide-bağırsak hastalıklarına neden olan *Shigella sonnei* salgınının kaynağının, güvercinler tarafından kirlenilen okulun su deposu olduğu belirlenmiştir [21].



Resim 2.9. Yalıtımı yapılmamış su deposuna giren canlılar

Depo temizliği yapan firma tarafından temizlik sırasında yalıtımı iyi olmayan su depolarında kurbağa, güvercin, fare ve yılan türü canlılarla da karşılaşıldığı ifade edilmiştir.

Su depolarında fiziki hasarlar, kaçaklar, sızıntılar ve yanlış malzeme seçiminden dolayı mikrobiyolojik kirlenme meydana gelebilmektedir. Bu nedenle depoların fiziki temizliğinin yapılması mikrobiyolojik kirlenmelere karşı büyük önem arz etmektedir. Depoların mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyecek ve kolay temizlenebilecek şekilde inşa edilmesi ve yalıtım maddeleriyle kaplanmış olması gerekmektedir [52].

2.5. Mikroorganizmaların Su Şebekelerine Giriş Yolları

Suyun değişen basıncı ve akış hızları, içme suyu şebekesinde yapılan bakım onarım çalışmaları, boru patlamaları, su kesintileri, vanalarla şebekede yapılan operasyonlar, şebekedeki suyun ters yöndeki hareketi vb. işlemler nedeniyle, zaman zaman boru yüzeyinde biriken tortular ve biyofilm tabakası, boru yüzeyinden koparak su fazına geçebilmektedir. Bu durumda tüketicide suyun estetik parametreleriyle ilgili şikâyetler oluşabilmekte, biyofilm tabakasındaki bakteriler nedeniyle de çeşitli sağlık problemleri ortaya çıkabilmektedir [1].

İçme suyu şebekeleri pozitif basınç altındadır. Ancak borularda su basıncının düştüğü durumlarda, boruda hatalı bağlantılar olduğunda veya kaçaklar meydana geldiğinde şebekede ters basınç (backpressure) oluşabilmektedir. Oluşan ters basıncın etkisiyle toprakta veya çevrede bulunan kirleticiler dağıtım sistemine geri akış (backflow) olabilmektedir. Kanalizasyon hatları içme suyu borularının yakınındaysa negatif basınç etkisiyle su

şebekelerine atıksu girişi de gerçekleşebilmektedir. İç tesisatlarda tuvaletlerde bulunan musluklarda da ortamda bulunan mikroorganizmalar negatif basınç etkisiyle şebekeye karışabilmektedir [53]. Yoğun yağış olduğu dönemlerde de, özellikle su altyapısının eski olduğu yerlerde kanalizasyon taşabilmekte ve su şebekelerine bu şekilde karışıp kontaminasyona neden olabilmektedir [54].

Yukarıda anlatılan sebeplerle şebeke arızalarında boru hattında ters basınç oluşması ya da yeni boru döşeme çalışmalarında boru ağzının açık kalması ve temizlenmemesi durumlarında da çevresel bakteriler şebekeye girebilmekte ve uygun yüzeylerde hızlıca biyofilm tabakası oluşturabilmektedir. Resim 2.10 ve 2.11’de çalışmalar sırasında karşılaşılan benzer durumlar görüntülenmiştir.



Resim 2.10. Boru arızalarından çevreye sızan sular



Resim 2.11. Boru döşeme işleminde açık kalan boru ağzı

2.6. İç Tesisatlardaki Biyofilm Tabakalarında Bulunabilen Mikroorganizmalar

Farklı su kaynaklarına ve özelliklerine sahip evsel ve endüstriyel su sistemlerinde oluşan biyofilm tabakalarının içeriğinde yer alan mikroorganizmalar ile ilgili birçok inceleme ve araştırmalar yapılmıştır. Su kaynaklarının özelliklerine, arıtma tesisinde uygulanan işlemlere, şebekenin fiziki durumuna, dış ortam özelliklerine ve şebekenin işletme koşullarına göre su dağıtım sisteminde boru yüzeylerinde farklı türlerde mikroorganizmalar gelişebilmektedir.

Heterotrofik plaka sayıları (HPC), bakterinin belirli koşullar altında görünür koloniler oluşturma yeteneğini göstermektedir [55]. Arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra dağıtım şebekesine verilen suda meydana gelen mikrobiyel büyüme “yeniden büyüme (regrowth)” olarak adlandırılmaktadır. Yeniden büyüme su numunelerinde artan HPC ile ilişkilidir. Yüksek HPC, şebekenin durgun kısımlarında, uç noktalar olan ev tesisatlarında, ev tipi arıtma sistemlerinde, bazı şişe sularında ve yumuşatıcılar, karbon filtreler ve otomatlar gibi tesisata bağlı cihazlarda oluşabilmektedir [1].

Biyofilmin oluşumuna farklı türlerde mikroorganizmalar da katılmakta ve heterojen bir yapı meydana gelmektedir. Çoğunlukla bakterilerin yer aldığı biyofilm tabakalarında mantar ve diğer çok hücreli canlılara da rastlanmaktadır [56].

Protozoa, virüs ve bakteri olmak üzere içme suyu yoluyla bulaşabilen üç farklı mikroorganizma grubu bulunmaktadır. Bakteriler içme sularında kontaminasyon ve insan sağlığı açısından en önemli gruptur. En önemli bakteriyel hastalıklar genellikle suyun fekal kontaminasyonu ile ilişkilidir. Fekal kontaminasyonla ilişkili fırsatçı bakteriler genellikle sucul sistemlerin normal heterotrofik bakteri florasının ve ayrıca normal vücut mikro florasının bir parçası olarak da bulunabilmektedir [57]. Bu tür organizmalar normalde sağlıklı bireyler için bir tehdit oluşturmamakta, ancak belirli koşullar altında toplumun belirli hassas kesimlerinde enfeksiyona yol açabilmektedir. Hastane kaynaklı çok sayıda enfeksiyonun bu tür organizmalara bağlı olduğu düşünülmektedir [58].

Dağıtım sistemi içinde artan heterotrofik bakteriler, genellikle şebekenin dışından gelen kontaminasyon veya daha yaygın olarak bakteriyel yeniden büyüme ile birlikte şebekede bakiye dezenfektanın olmaması gibi bir dizi faktörden kaynaklanmaktadır. Suda ve boru

yüzeylerinde bakteri çoğalması, sudaki temel besin maddelerinin konsantrasyonu ile sınırlıdır [21]. Biyofilm tabakası içerisindeki mikroorganizmaların bileşeni, suyun kalitesi ve insan sağlığı açısından son derece önemlidir. Biyofilm tabakasında bulunan mikroorganizmalardan patojen olmayan bakteriler genelde suyun estetik (koku, tat, görünüm vb.) özelliklerinde değişimlere sebep olurken insan sağlığı açısından herhangi önemli bir risk teşkil etmemektedir. Ancak biyofilm tabakası içerisinde patojenik mikroorganizmaların varlığı hem suyun kalitesini olumsuz olarak etkilemekte, hem de tüketiciler olan insan sağlığını etkileyerek çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle su dağıtım sistemlerinde, özellikle de son tüketiciye ulaşan sayaç sonrasındaki bina iç tesisatlarında biyofilm tabakasındaki mikroorganizmaların analiz edilerek patojen türlerin varlığı incelenmelidir.

Şebekede patojenik olmayan koliformlar da gelişebilmektedir [59]. *Leptothrix* ve *Gallionella* cinslerinin demir bakterileri, korozyona uğrayan demir şebekelerinin yüzeyinde biyofilmler oluşturarak tüketicinin musluğunda tat ve renk bozulması sorunlarına neden olabilmektedir. Mantarlar ve aktinomisetler de suda düşük sayılarda bulunabilmekte ve suyun tadı ve kokusunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Suda amonyak bulunduğunda nitrifikasyon nedeniyle HPC de artabilmektedir [60].

Patojenik özelliklere sahip biyofilm bakterileri, su ve toprak ortamlarında doğal olarak meydana gelmekte ve içme suyu sistemlerinde biyofilmler üzerinde varlığını sürdürebilmekte ve büyüyelebilmektedir. Biyofilm tabakaları içerisinde *Escherichia coli* gibi fekal indikatör bakteriler, dışkı kaynaklı zorunlu bakteriyel patojenler, *Legionella* spp. veya *Pseudomonas aeruginosa* gibi çevresel kaynaklı fırsatçı bakteriler, enterik virüsler ve parazitik protozoa gibi çeşitli türde mikroorganizmalar bulunabilmektedir [17].

Bazı bakteriler biyofilm oluşturmak için yüksek eğilime sahiptir. Bunlardan en yaygınları *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Staphylococcus* ve *Bacillus*'dur. Bu mikroorganizmalar besin maddelerinin çok olduğu birçok ekosistemde tüm yüzey tipleri üzerinde biyofilm oluşturabilmektedir [61].

Legionella, *Pseudomonas* ve *Aeromonas* spp. gibi potansiyel patojenler olan türler de biyofilmlerde hayatta kalabilmektedir [62]. Ancak bu patojenlerin bulaşıcı dozları düşük olup genellikle bebekler, yaşlılar, kronik rahatsızlığı olanlar, bağışıklığı baskılanmış kişiler

ve hastanede tıbbi tedavi görenler gibi hassas insan popülasyonları için risk oluşturmaktadır. Kişiyeye bağlı olarak, suyla ilgili bir hastalığa yol açan bulaşma yolu, yutma, aerosollerin solunması, açık bir yaraya temas, kulaklara ve gözlere maruz kalma şeklinde gerçekleşmektedir. *Legionella pneumophila* ve diğer bazı *Legionella* türleri, *Pseudomonas aeruginosa* ve tüberküloz olmayan mikobakteriler, suyla ilgili hastalıklarla bağlantılı en uygun fırsatçı bakteriyel patojenler olarak kabul edilmektedir. Oligotrofik su koşullarına adapte olmuş *Legionella*, *Mycobacterium* veya *Pseudomonas aeruginosa* gibi mikroorganizmalar, biyofilmelerde uzun süreler boyunca kalabilmekte ve bu ortamlarda çoğalabilmektedir. Biyofilm üzerinde yaşayan bu tür organizmalar normal olarak su fazında dolaşımında olmadıkları zamanda su analizlerinde tespit edilememektedir [17].

Legionella pneumophila da şebekelerde en çok rastlanan patojen mikroorganizmalardan biri olup genellikle hastane su sistemlerinde bulunmakta ve hastane kaynaklı lejyoner hastalığına neden olabilmektedir. 20 ila 50 °C arasında sıcaklığa sahip sıcak su tesisatlarında ve tesisatlardaki demir gibi temel besinlerin varlığında kolaylıkla üreyebilmekte ve ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir [63]. *Legionella pneumophila* evsel ve endüstriyel su sistemlerinde en yaygın bulunan patojen türlerinden biri olmakla beraber bu türle ilgili birçok çalışma ve analiz yapılmıştır.

Farklı çalışmalarda içme sularında gözlemlenen maksimum bakteri sayıları Çizelge 2.2’de yer almaktadır [3]:

Çizelge 2.2. Farklı çalışmalarda su kaynaklarında tespit edilen bakteri sayıları

Su Kaynağı	Maksimum Oluşma Yaşı (gün)	Dezenfektan Varlığı	Reynolds Numarası	Biyofilm (hücre/cm ²)	Çalışmayı Yapan
Yüzey Suyu	35	Var	22 000	1,0 - 10,7 x 10 ⁶	Clark v.d. [64]
Yüzey Suyu	42	Var	776	7 - 15 x 10 ⁶	Fass v.d. [65]
Yeraltı Suyu	70	Yok	-	0,7 x 10 ⁶	Kalmbach [66]
Belirtilmemiş	90 - 150	Yok	6 800	2,45 x 10 ⁶	Ellis v.d. [67]
Yüzey Suyu	167	Var	117	4,9 x 10 ⁶	Pedersen [68]
Belirtilmemiş	365	Yok	11 080	1,9 – 3,7 x 10 ⁴	Percival v.d. [69]
Yeraltı Suyu	522	Yok	645	2,6 x 10 ⁶	Boe - Hansen v.d. [70]

Avusturalya Melbourne’de yapılan başka bir çalışmada bakır tesisat biyofilmlerinden yaygın olarak izole edilen heterotrofik bakteriler *Acidovorax delafieldii*, *Flavobacterium* sp., *Corynebacterium* sp., *Pseudomonas* sp. ve *Stenotrophomonas maltophilia* olarak tespit edilmiştir [71].

Amerika’da su dağıtım şebekelerinde yapılan çalışmada ise içme sularından toplanan bilinen dört omurgasız canlı ile ilişkili patojen bakteriler şunlardır: *Acinobacter* sp., *Achromobacter xylooxidans*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus* sp., *Chromobacter violaceum*, *Flavobacterium meningosepticum*, *Moraxella* sp., *Pasturella* sp., *Pseudomonas diminuta*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas maltophilia*, *Pseudomonas paucimobilis*, *Pseudomonas vesicularis*, *Serratia* sp., *Staphylococcus* sp.[21].

Çizelge 2.3’te Critchley ve arkadaşları tarafından [72, 73, 74] Avustralya, Adelaide'deki konutlardan gelen bakır soğuk su borularında bulunan bakteri türleri ile Leoni ve arkadaşlarının [75] İtalya, Bologna'daki evsel sıcak su sistemlerinde bulunan bakteri türleri özetlenmektedir. Bulunan mikroorganizmanın adının yanı sıra bu organizmaların bulunduğu ortamlar hakkında da genel bilgiler yer almaktadır [76].

Çizelge 2.3. Bakır sıhhi tesisat borularında tespit edilen bakteri türleri

Mikroorganizma Adı	Bulunduğu Ortam	Açıklama
<i>Xanthomonas</i> sp.	Bitki	Bitki patojeni
<i>Acidovorax delafieldii</i>	Bitki	Bitki patojeni
<i>Acidovorax</i> sp.	Bitki	Bitki patojeni
<i>Corynebacterium</i> sp.	İnsan derisi florası	Bazı türler insanlar, bitkiler ve hayvanlar için patojen olabilir
<i>Cytophaga johnsonae</i>	Toprak ve tatlı su	<i>Havobacterium johnsoniae</i> olarak da isimlendirilir.
<i>Micrococcus kristinae</i>	İnsan derisi	Kateterle ilişkili bakteriyemi ile etiyolojik olarak ilişkili
<i>Micrococcus luteus</i>	Toprak, toz, su ve hava ve memeli derisi florası	Patojen olmayan
<i>Rhodococcus fascians</i>	Toprak	<i>Corynebacterium fascians</i> olarak da isimlendirilir. Bitki patojeni
<i>Rhodococcus</i> sp.	Toprak	Bazı türleri bitki patojenidir

Çizelge 2.3. (devam) Bakır sıhhi tesisat borularında tespit edilen bakteri türleri

Mikroorganizma Adı	Bulunduğu Ortam	Açıklama
<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	Kara ve su habitatlarının yanı sıra bitki kök sistemleri, klinik örnekler	İnsan patojeni hastane enfeksiyonları
<i>Agrobacterium</i> sp.	Toprak	Bitki patojeni
<i>Pseudomonas</i> sp.	Toprak ve su	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> gibi bazı türler fırsatçı insan patojenleridir.
<i>Acanthamoeba keratitis</i>	Tatlı su ve diğer habitatlar	Korneanın potansiyel olarak kör edici enfeksiyonu
<i>Legionella pneumophila</i>	Göller ve göletler gibi deniz dışı su ortamları	İnsan patojeni; Lejyoner hastalığının sebebi
<i>Legionella micdadei</i>	Göller ve göletler gibi deniz dışı su ortamları	İnsan patojeni; pnömoni nedeni
<i>Legionella bozemanii</i>	Göller ve göletler gibi deniz dışı su ortamları	İnsan pnömonisinin bir nedeni
<i>Comamonas acidovorans</i>	Toprak	Bitki patojeni

Yukarıda yer alan çalışmalarda görüldüğü gibi şebeke boruları üzerinde çok farklı türlerde mikroorganizmalar çoğalabilmekte olup bu mikroorganizmaların tamamını ayrı ayrı teşhis etmek çok zordur. Bu nedenle su kalitesi ölçüm ve izlenmesinde gösterge mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Gösterge mikroorganizmalar sayesinde şebekede bakteri türleri ve patojen varlığı daha rahat tespit edilebilmektedir. Ülkemizde su kalitesinin izlenmesiyle ilgili mevzuat çerçevesinde kullanılan gösterge mikroorganizmalar: Toplam Koliform, Fekal Koliform, *E. coli*, Enterokok, Sülfid indirgeyen anaerob bakteri (*Clostridia*) sporları, *Pseudomonas aeruginosa* ve Toplam Koloni (jerm) sayısıdır [77]. Bu çalışmada da ağırlıklı olarak gösterge mikroorganizmalar kullanılmıştır.

2.7. Çalışmalarda İncelenen Türler

Yerli ve yabancı kaynaklar tarafından evsel ve endüstriyel içme suyu sistemlerinde bugüne kadar farklı birçok tür incelenmiştir. Yurtdışında eski şebeke borularında bakır malzemesi kullanımı yaygındır. Bu nedenle bakır borular zerinde meydana gelen biyofilm tabakası ve içerdiği mikroorganizmalarla ilgili yaygın çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde sıhhi

tesisatlarda kullanılan boru türleri ise farklılık göstermektedir. Biyofilm tabakasının endüstriyel sistemlerde biyofouling oluşturmaları ve ticari zararlar meydana getirmesi nedeniyle biyofilm üzerine yapılan araştırmalar endüstriyel sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistemlerde en çok rastlanan *Legionella pneumophila* türü üzerine detaylı araştırma ve incelemeler yapılmıştır. Tüketici sağlığını doğrudan ilgilendiren bina içi su tesisatlarının su kalitesine etkileri ve iç tesisatlarda biyofilm oluşumu ile ilgili çalışmalar da artmaktadır. Anlık olarak ve kesintisiz işletilen içme suyu şebekelerinde, şebeke ve tesisat malzemelerinin üzerindeki biyofilm oluşumunu ve burada gelişen tüm patojenleri tespit edebilmek oldukça zahmetli bir iştir. Yapılan çalışmalarda da ağırlıklı olarak laboratuvar koşullarında modellenen sistemler üzerinde gelişen mikroorganizmalar değerlendirilmiştir. Ancak her bölgenin farklı su karakterizasyonuna, farklı çevre koşullarına ve farklı arıtma, dağıtım ve tesisat sistemlerine sahip olmasından dolayı şebekelerde ve sıhhi tesisatlarda meydana gelen oluşumlar da farklılık gösterebilmektedir. Ankara ili sınırları içerisinde, merkez şehir şebekesinden bağımsız olarak işletilen bir alanda yapılan bu çalışmada Toplam Koloni, Toplam Koliform, Enterokoklar, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* türleri incelenmiştir:

2.7.1. Toplam koloni (jerm sayısı)

Toplam bakteri (jerm) sayımı genel olarak hijyen kontrolü amacıyla yapılmaktadır. Toplam bakteri olarak “toplam mezofil aerob bakteri” kastedilmektedir. Toplam koloni sayısı, genel bir besiyerinde aerobik ve mezofilik koşullarda koloni oluşturabilen tüm mikroorganizmaların varlığını ve sayısını göstermektedir. *E. coli* ve diğer fekal koliform bakterileri, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* spp. gibi türler genel besiyerlerinde kolaylıkla gelişip koloni oluşturmaktadır. Toplam bakteri, toplam koloni gibi isimlerle yapılan analizler, esas olarak bir kalite göstergesidir. Bu analiz ile elde edilen sayısal değer ne kadar küçük olursa, numunenin mikrobiyolojik açıdan o denli temiz olduğu kabul edilmektedir [80]. Koloni sayımları tek başına doğrudan sağlık riski ile ilişkili değildir. Koloni sayımlarının anlamı uzun dönem izlemde, beklenen değerlerin değişiminin saptanmasına dayanır [77]. İnsani tüketim amaçlı sularla ilgili yönetmelikte, ayrı ayrı olmak üzere, 22 ve 37°C'de yapılacak inkübasyon sonrasında elde edilecek koloni sayısının yönetmelikte verilen sınırlar içinde olması istenmektedir [79].

2.7.2. Toplam koliform

Toplam koliform bakteriler su kaynaklarında patojenlerin varlığını tespit etmek için kullanılan indikatör olup toprakta, yüzey sularından etkilenen suda ve insan veya hayvan atıklarında bulunan bakterileri içermektedir [78]. Farklı türlerde çeşitli aerobik ve fakültatif anaerobik, Gram negatif, spor oluşturmeyen basillerden oluşmaktadır. *Escherichia coli* ve koliformlar, toplam koliform grubunun bir alt kümesidir. Toplam koliform bakteriler hem kanalizasyon sistemlerinde hem de doğal sularda bulunabilmektedir. Toplam koliformlar, suda hayatta kalabilen ve büyüyebilen organizmaları içermektedir. Bu nedenle arıtma tesislerinin verimliliğinin, su dağıtım şebekesinin temizliğinin ve su dağıtım sistemlerinde ve sıhhi tesisatlardaki biyofilmlerin potansiyel varlığının değerlendirilmesinde gösterge olarak kullanılabilir. Toplam koliformlar su dağıtım sistemlerinde, özellikle biyofilmlerin varlığında kolaylıkla hayatta kalabilmekte ve büyüyebilmektedir. Dezenfeksiyon işleminden sonra sistemde toplam koliform bulunması beklenmemektedir. Şebekede toplam koliform varlığı arıtma ve dezenfeksiyon işlemlerindeki yetersizlikten kaynaklanabilmektedir. Dağıtım sistemlerinde, iç tesisatlarda ve depolarda toplam koliformların varlığı, yeniden büyümeyi (regrowth), biyofilm oluşumunu veya toprak veya bitkiler dâhil olmak üzere yabancı madde girişi yoluyla kontaminasyonu ortaya çıkarabilmektedir [1].

2.7.3. *Escherichia coli*

Şebekelerde en çok izlenen mikrobiyolojik parametrelerin başında *Escherichia coli* (*E. coli*) gelmektedir. Sularda fekal kontaminasyon olup olmadığının en önemli göstergesidir. *E. coli* dışındaki koliformlar da dışkı kirliliğinin varlığına işaret edebilmekte, ancak bunlar aynı zamanda dışkı harici farklı bir kaynaktan da bulaşabilmektedir. *E. coli* insan ve hayvan dışkısında çok yüksek sayılarda ancak fekal kontaminasyonun olmadığı durumlarda nadiren bulunmaktadır. *E. coli* analizi, mikrobiyolojik açıdan içme suyu kalitesinin arıtma tesisinden tüketiciye ulaşan son noktaya kadar izlenmesi ve şebekede dezenfeksiyonun takip edilmesi amacıyla yaygınlıkla tercih edilmektedir. Koliformların varlığı, arıtma sistemlerinde veya su dağıtım şebekelerinde istenmeyen bir kontaminasyon olduğunu göstermektedir [1]. Şebekede *E. coli*'ye rastlanıldığında yeterli arıtma sistemlerinin olmaması, etkin dezenfeksiyon yapılamaması, şebekenin dezenfeksiyon açısından gereğinden uzun olması (ara dezenfeksiyon yapılmaması), şebekeye fiziki kaçaklardan veya boru tamiri gibi

işlemlerden kaynaklı çevresel giriş olması, su depolarının korunaksız olması ve hayvansal kontaminasyona açık olması, iç tesisatta biyofilme yerleşmiş türlerin serbest kalması vb. potansiyel sebepler değerlendirilmelidir.

2.7.4. *Pseudomonas aeruginosa*

Şebekelerde bulunabilecek diğer bir patojen mikroorganizma türü de *Pseudomonas aeruginosa*'dır. *Pseudomonas aeruginosa* yaygın bir çevresel organizmadır. *Pseudomonadaceae* üyesidir ve polar kamçılı, aerobik ve Gram negatif bir türdür. *Pseudomonas aeruginosa* çeşitli enfeksiyonlara yol açabilmektedir. Ancak sağlıklı bireylerde nadiren ciddi hastalıklara neden olmaktadır. Ağırıklı olarak yanık ve cerrahi yaralar gibi açık yaralardan insan vücuduna girebilmekte ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Dışkı, toprak, su ve kanalizasyonda bulunabilmektedir. Su ortamlarında ve suyla temas eden organik maddelerin yüzeyinde çoğalabilmektedir. İçme suları, şişelenmiş sular, lavabolar, banyolar, sıcak su sistemleri, sıhhi tesisatlar, duşlar ve spa havuzları gibi çeşitli nemli ortamlarda bulunabilmektedir. Dezenfektanlara dirençli bir türdür [1]. *P. aeruginosa*'nın su içerisinde çoğalması suyun koku, tat, bulanıklık ve renk gibi kalite özelliklerini etkilemektedir. Bağışıklığı düşük kişilerde ise fırsatçı enfeksiyonlara sebep olmaktadır. Bu tür tek başına fekal kirliliğin göstergesi olarak kullanılmamaktadır [77].

2.7.5. *Salmonella* spp.

Salmonella spp. de çevrede yaygın bir şekilde bulunabilen ve biyofilmlerde yaşayabilen türlerdendir. *Salmonella* spp. Enterobacteriaceae üyesidir. Gram negatif basillerdir. *Salmonella* enfeksiyonları gastroenterit sorunlara (ishal, bulantı ve kusma), yüksek ateşe ve tifoya yol açabilmektedir. Tifo, sıhhi tesisatın iyi olduğu bölgelerde yaygın olmasa da, kötü olduğu koşullarda hâlâ yaygın olup her yıl milyonlarca vaka görülebilmektedir. Patojenler tipik olarak kanalizasyon deşarjları, çiftlik hayvanları ve vahşi hayvanlardan kaynaklanan fekal kontaminasyon yoluyla su sistemlerine girebilmektedir. Arıtma tesislerinde bu patojenden kaynaklanabilecek riskleri minimize etmek için ham su kaynaklarının hayvan ve insan atıklarından korunması, yeterli arıtma ve dezenfeksiyon sistemlerinin uygulanması ve dağıtım şebekesinde suyun kalitesinin korunması gerekmektedir [1].

2.7.6. *Staphylococcus aureus*

Biyofilmlerde yer alan ve su dağıtım sistemlerinde görülebilen diğer bir tür de *Staphylococcus aureus*'dur. *Staphylococcus aureus* çevrede nispeten yaygın olan bir türdür. Genellikle üzüm benzeri düzensiz kümeler halinde bulunan, aerobik veya anaerobik, hareketsiz, spor oluşturmeyen, Gram pozitif özelliktedir.

Staphylococcus cinsi en az 15 farklı tür içermektedir. *Staphylococcus aureus*, insan mikrobiyotasının ortak bir üyesidir. Organizmaların çoğalmasına dayalı neden olduğu enfeksiyonlar, hastanelerde ve diğer sağlık kuruluşlarında önemli bir sorun oluşturmaktadır. *S. aureus* içme suyu kaynaklarında da ortaya çıkabilmektedir.

Stafilokoklar, bakiye klor türü dezenfektanlara karşı *E. coli*'den biraz daha dirençli olsalar da sudaki varlıkları geleneksel arıtma ve dezenfeksiyon işlemleriyle kontrol edilebilmektedir [1].

2.7.7. Enterokoklar (*Enterococcus*)

Enterokoklar, *Streptococcus* cinsinin türlerini içeren fekal streptokoklar olarak tanımlanan daha büyük organizma grubunun bir alt grubudur. Gram pozitif olup alkali pH seviyelerine toleranslıdır. Fakültatif olarak anaerobiktirler ve tek tek, çiftler halinde veya kısa zincirler halinde bulunabilmektedir. Enterokoklar, dışkı kirliliğinin bir indeksi olarak kullanılabilen ancak dışkı kirliliğinin olmadığı durumlarda da toprak dâhil diğer habitatlardan da kaynaklanabilmektedir. Bu grubun önemli avantajları, su ortamlarında *E. coli*'den daha uzun süre hayatta kalabilmeleri, kurumaya ve klorlamaya daha dirençli olmalarıdır.

Bağırsak enterokokları, *E. coli*'den daha uzun süre hayatta kalan fekal patojenlerin bir göstergesi olarak ham suyun test edilmesinde kullanılabilir. Ayrıca, su dağıtım sistemlerindeki yeni hat yapımı veya mevcut hatların bakım onarımlardan sonra su kalitesinin mikrobiyolojik açıdan test edilmesi için de kullanılmaktadır.

Enterokokların varlığı, içme suyu fekal kontaminasyonun göstergesidir [1]. Enterokoklar, uzun zaman önce oluşmuş bir fekal kirlenmenin indikatör bakterisi olarak

kabul edilmektedir. Kimyasal etkenlere *E. coli* ile kıyasladığında daha dirençli oldukları için, atık su, klorlanmış su vb. ortamlarda daha uzun süre yaşayabilmektedir [81].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Sahası Özellikleri ve Örnekleme

Bina sıhhi tesisatlarında biyofilm tabakası oluşumunun ve içerdiği patojen mikroorganizmaların tespit edilmesi amacıyla örnek şebeke olarak Ankara ilinde bulunan ve merkezi şehir şebekesinden bağımsız bir arıtma tesisine ve şebekeye sahip bir yerleşke seçilmiştir. 13 000 kişiye su temin eden bu şebekede su içme ve kullanma suyu olarak tüketilmektedir.

Arıtma tesisi girişinde barajlardan gelen ham su hattından, arıtma tesisi çıkışında arıtılmış sudan ve şebekedeki bina içi tesisatlarda 20 noktadan olmak üzere toplamda 22 nokta seçilmiş ve bu noktalardan numuneler toplanmıştır. Seçilen noktalar şebekenin farklı noktalarında ve farklı tesisat yaşına ve boru türüne sahip tesisatlardır. Numuneler önce su kalitesinin tespiti amacıyla musluktan akan sudan alınmıştır. Daha sonra biyofilm tabakasının varlığı, su kalitesine etkisi ve içeriğindeki patojenlerin tespit edilebilmesi amacıyla borular sökülüş, yüzeyindeki oluşumlar ve birikintiler sterilize edilmiş bir çubuk vasıtasıyla dağıtılmış ve bu şekilde maddelerin su fazına geçişi sağlanarak sudan numune alınmıştır. Bu sayede “öncesi” ve “sonrası” mantığında numuneler alınarak boru yüzeyindeki birikinti ve oluşumların su fazına geçtiğinde suyun fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik kalitesine etkisi incelenmiştir.

Biyofilm ve içerdiği mikroorganizmalarla ilgili yapılan çalışmalarda yaygınlıkla laboratuvar ortamında boru üzerinde biyofilm oluşumu gözlenirken, bu çalışmada doğrudan canlı ve aktif bir şebeke üzerinde var olan biyofilmler ve içerikleri incelenmiştir.

Şebekeye bakiye sıvı klor verilmekte olup uç noktada 0 – 0,5 mg/L aralığında olması işletici tarafından sağlanmaktadır. Şebeke borularında ve iç tesisatlarda tortu ve biyofilm oluşumuna karşı bugüne kadar dezenfeksiyon haricinde herhangi bir fiziksel ve kimyasal temizlik yapılmamıştır. İşletmeci tarafından yapılan analizlerde şebeke suyunun fiziksel ve kimyasal parametrelerine bakılmakta, bakteriyolojik olarak da *E. coli* ve koliform bakteri izlemesi yapılmaktadır. Bugüne kadar şebekede biyofilm tespiti ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Çalışma dönemi küresel Covid-19 pandemisine denk geldiğinden zorunlu kapanma, izolasyon vb. nedenlerden dolayı her noktadan numune alınamamış, şebekede örnekleme yapılarak numune alınmıştır. Şebekede yer alan binalarda arıtma tesisine yakınlığına göre, bina yaşına göre ve iç tesisatta kullanılan malzeme türüne göre örnek binalar seçilmiş ve tesisatlarından numuneler alınmıştır. Çalışmada indikatör mikroorganizmalar ağırlıklı olarak incelenmiştir. Türlerin tespitinde hazır kurutulmuş besiyeri kullanıldığı için üretici firma tarafından besiyeri temini yapılabilen Toplam Koloni, Toplam Koliform, Enterokoklar, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* ve *E. coli* türleri çalışmaya dahil edilmiştir.

3.1.1. Ham su kaynakları

İçme suyu arıtma tesisinin su kaynakları Çamlıdere ve Kurtboğazı Barajlarıdır. Tesiste kuyu suyu kullanılmamaktadır. Tesise barajlardan dönüşümlü olarak su seviyelerine göre su alınmakta olup çalışma dönemi boyunca tesise Çamlıdere Barajından ham su alınmıştır.

Çamlıdere Barajı 1976-1985 Yılları arasında yapılmıştır. Ankara'ya su temin eden en büyük hacimli baraj olup, şehrin kuzey batısında İvedik Arıtma Tesislerine 59,6 km uzaklıktadır. Barajın toplam hacmi 1 220 380 000 metreküptür. Ölü hacmi 150 000 000 metreküp ve baraj kotu ise 995 m'dir. Çamlıdere Barajı'nı Acun, Çay, Eşik, Ilıca, Akpınar, Çayır, Değirmenözü ve Avluçayır dereleri beslemektedir [82].

Kurtboğazı Barajı ise 1963-1967 yıllarında yapılmıştır. Ankara'nın kuzeyinde İvedik arıtma tesislerine 47 km. uzaklıktadır. Azami su hacmi 92 053 000 metreküptür. Kurtboğazı Barajı'nı Bahtılı, Mera, Kınık, Pazar, Uzunöz, Bostan, Kayıcık, Batak, İğmir, Kirazlı, Eneğim ve Karaboya dereleri beslemektedir. Baraj aynı zamanda rekreasyon amaçlı kullanılmaktadır [82].

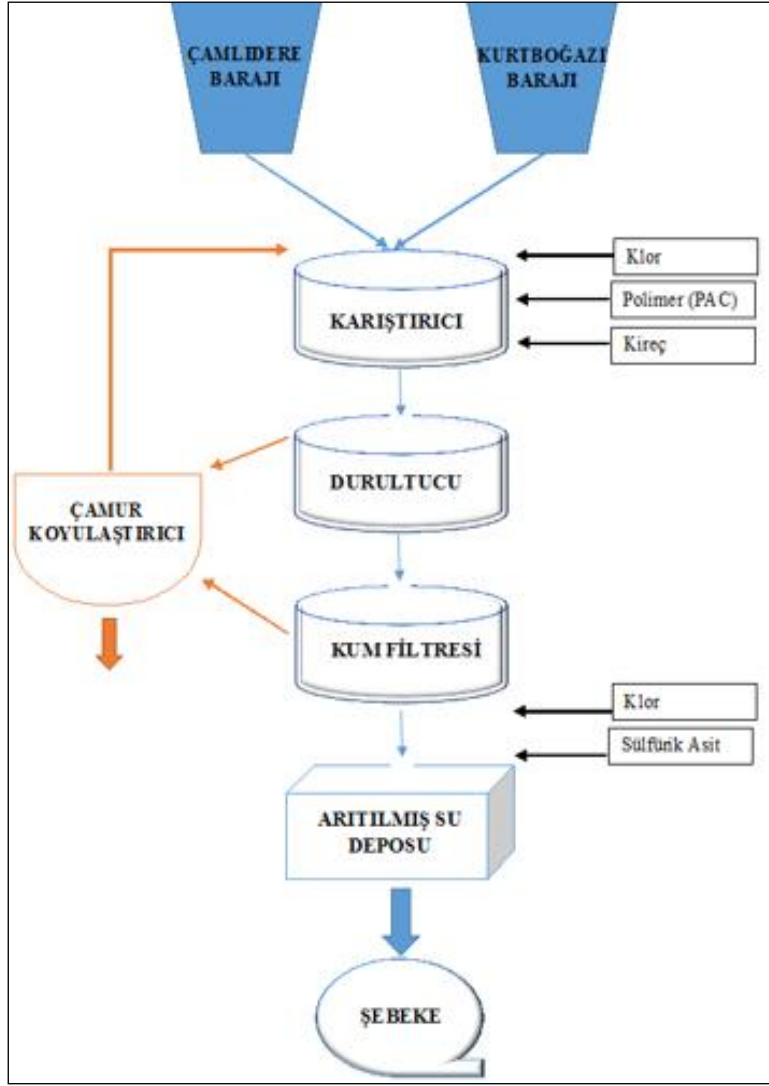
Ankara içme suyu isale hattı üzerinde bulunan branşman hattına konulan iki adet vana ile isale hattı ayrılmaktadır. Ham su, ana isale hattından (Çamlıdere ve Kurtboğazı Barajları) 400 mm çapında polipropilen boru hattıyla taşınarak yaklaşık 5 km ilerdeki İçme Suyu Arıtma Tesisinin tasfiye girişine kadar getirilmektedir.

Kurtboğazı Barajında fitoplankton yoğunluğu fazladır. Kurtboğazı Baraj Gölünün fitoplankton sayısı ve klorofil *a* derişimi Çamlıdere Baraj Gölünden daha fazladır. Her iki

baraj gölü de İçme Suyu Temin edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik değerlerine göre A2 kategorisinde (Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular) su kalitesine sahiptir. Baraj göllerinde fitoplankton artışları esnasında kum filtrelerinin yıkanma sıklığı düşmekte, barajlardan gelen sularda alg artışları yaşanmakta, arıtım tesislerinden alglerin geçmeleri ise insan sağlığı açısından olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir. Bu türler ayrıca filtrelerin tıkanmasına, suda tat ve koku problemlerine yol açabilmektedir [83].

3.1.2. İçme suyu arıtma tesisi

Şebekeye su sağlayan içme suyu arıtma tesisi 1986 yılında işletmeye alınmıştır. Tesisin kapasitesi 360 m³/saat olup şebekeye içme ve kullanma suyu temin etmektedir. Tesiste konvansiyonel arıtma sistemi olarak koagülasyon, flokülasyon, çöktürme, filtrasyon ve dezenfeksiyon üniteleri mevcuttur. Ham su kaynağı olan barajdan alınan suya önce ön klorlama yapılmakta, daha sonra su hızlı ve yavaş karıştırıcılara gelmektedir. Tesiste flokülant olarak katyonik polimer kullanılmakta, yardımcı çöktürücü olarak da kireç takviye edilmektedir. Daha sonra su durultuculara alınarak flokların çöktürülmesi sağlanmaktadır. Durultucudan çıkan su hızlı kum filtrelerine alınarak filtrelenmesi sağlanmaktadır. Filtreden çıkan suya pH düzenlemesi için sülfürik asit dozlanmakta ve pH değeri 7,5 seviyesine düşürülmektedir. Daha sonra son klorlama yapılarak arıtılan su 5 000 metreküp hacimli ana depoya alınmakta, buradan da terfi istasyonu vasıtasıyla yerleşkeye dağıtımı yapılmaktadır. Durultucu ve filtrelerden çıkan çamur, çamur koyulaştırma tanklarına alınarak çamurun katı madde miktarı arttırılmaktadır. Çamur koyulaştırma tankından çıkan su tekrar tesisin girişine gönderilirken koyulaşan çamur vakum filtreler vasıtasıyla susuzlaştırılmakta ve bertarafa gönderilmektedir. Tesisin akış şeması Şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. İçme suyu arıtma tesisi akış şeması

3.1.3. Şebeke özellikleri

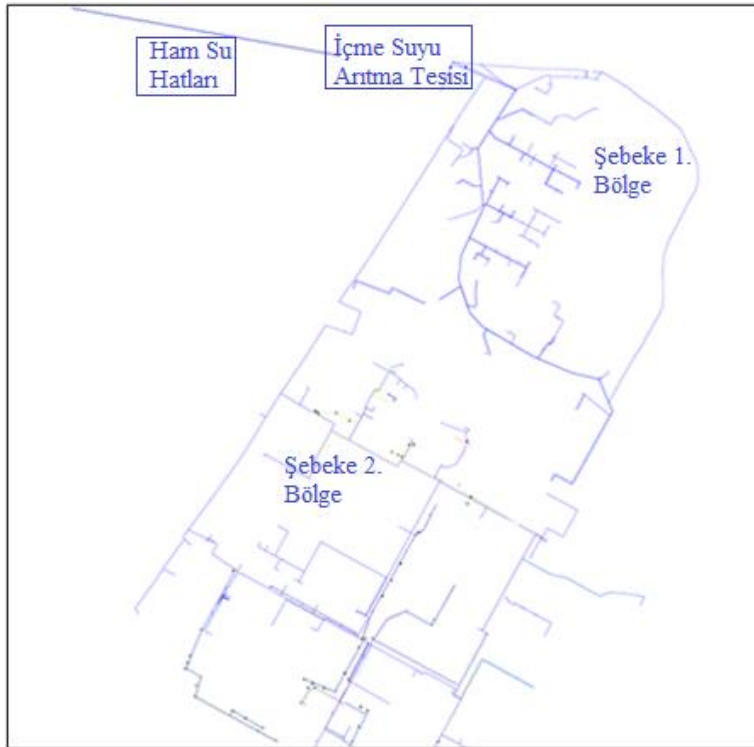
Arıtma tesisinde arıtılan su merkezi terfi istasyonu ile şebekeye basılmaktadır. Arıtma tesisinin arıtılmış su deposu ve terfi merkezi haricinde şebekede sadece yangın söndürme sistemlerine ait depolar bulunmakta olup, içme ve kullanma suyunun verildiği şebeke sisteminde depo ve pompa istasyonu bulunmamaktadır. Tesis düz bir yerleşim üzerinde kurulduğu için merkezi bir terfi istasyonundan tüm binalara su verilmektedir. Bina girişlerinde ayrı bir hidrofor sistemi de bulunmamaktadır.

Arıtma tesisinden 400 mm çapında PE borularla ana su dağıtımı gerçekleştirilmektedir. Tesis iki ana bölgeden oluştuğu için 400 mm'lik PE isale hattı da iki adet 250 mm çapında PE yan

kola ayrılmakta ve kendi bölgelerini beslemektedir. PE borular daha eski olan çelik hatlarla birleşmekte ve şebekeye dağılım çelik borular vasıtasıyla yapılmaktadır.

Şebekenin toplam uzunluğu iç tesisat boruları hariç yaklaşık 42 km'dir. Dağıtım şebekesinde çapları 40 mm ila 400 mm arasında değişen çelik, galvaniz metal, PE ve PPRC borular bulunmaktadır. Dağıtım şebekesinde ana boruların %62'si metal, %37'si PE ve son noktalarda küçük çaplı borular olarak %1'i de PPRC'dir. Galvaniz metal ve PPRC borular ağırlıklı olarak bina içi tesisatta kullanılmaktadır. Galvaniz metal borular genellikle eski olup bazı noktalarda boru ömrü 20 yılın üzerindedir. İşletme genelinde su sayacı değişimi ve boru yenileme çalışmaları yapıldığından, iç tesisat incelemesi ve numune alınması da eş zamanlı gerçekleştirilmiş, bu sayede tesisat borularının iç yüzeylerinin görüntülenmesi de mümkün olmuştur.

Dal (branch) tipi alanlar olsa da şebeke genel itibariyle kapalı döngü (loop) yapıya sahiptir. İçme ve kullanma suyu şebekesi 2 ana dağıtım bölgesinden oluşmaktadır. Her iki bölgeden de numuneler toplanmıştır. Genişleme bölgesi olan 2. bölgede daha fazla dal tipi şebeke yapılanması ve ölü noktalar bulunmaktadır. Şebekenin genel yapısı Şekil 3.2'de gösterilmektedir:



Şekil 3.2. İçme ve kullanma suyu şebekesi yerleşimi

3.1.4. Numune alınan binalar ve tesisatların özellikleri

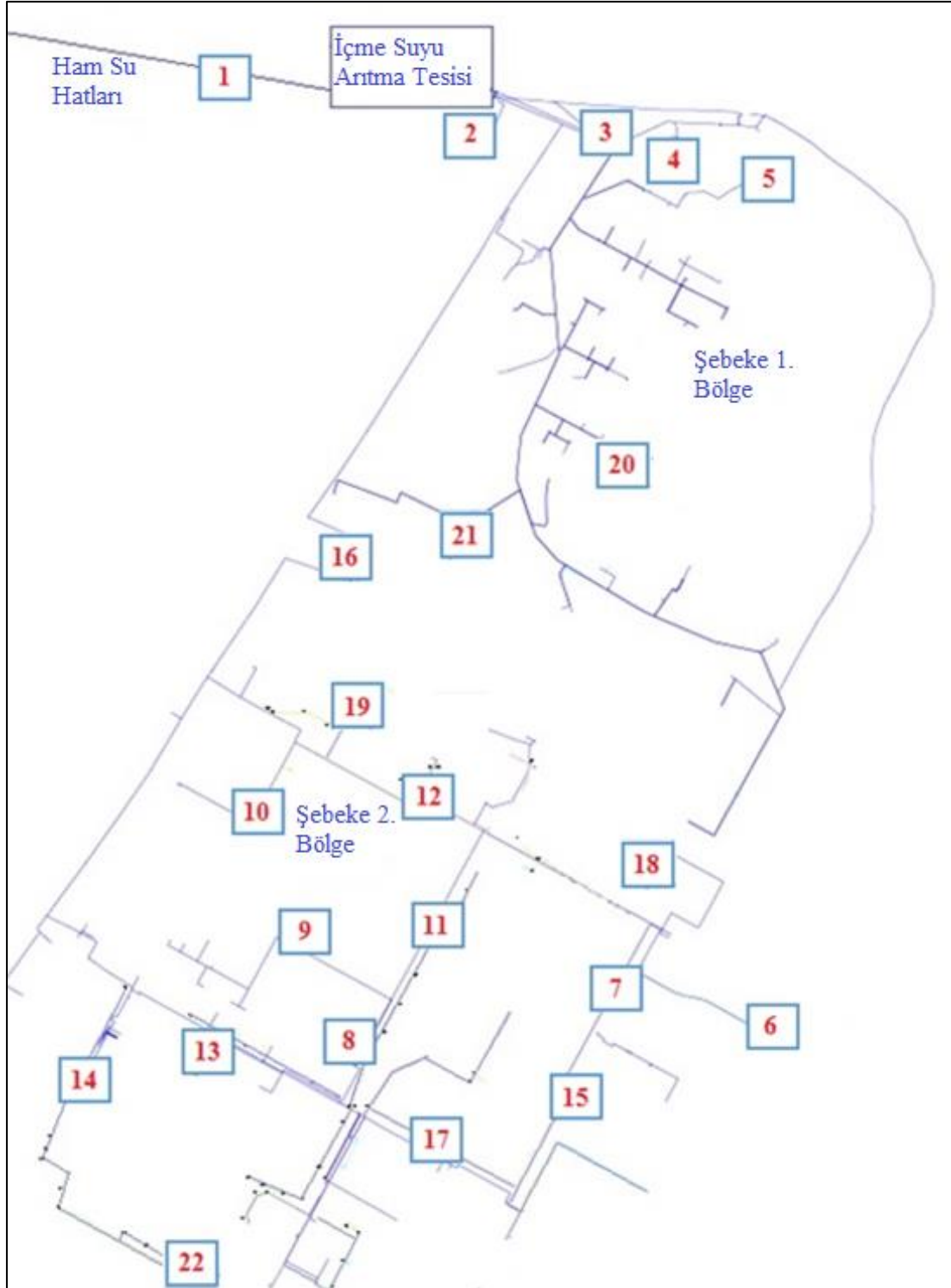
Şebekenin içme ve kullanma suyu verdiği bina sayısı 70 civarındadır. Şebekeden toplam 22 noktada bina içlerindeki tesisatlardan numuneler toplanmıştır. Numune alınan noktalar, arıtma tesisine mesafesi, bina ve tesisat yaşı ile kullanılan iç tesisat boru türüne göre seçilmiştir. Ağırlıklı çelik olan ana su hatlarından bina girişlerine kadar gelen su, önce bina içi ana kollektörlere daha sonra da sayaçlardan bina içi sıhhi tesisatlara dağılmaktadır. Eski binalarda su kalitesiyle ilgili şikâyetler yaşandığından direk musluktan su tüketilmemekte, uç noktalarda ilave olarak musluk tipi arıtma sistemleri (Kartuş Filtre + GAC + UV) de kullanılmaktadır. Binaların eskiyen tesisatları düzenli olarak yenilenmektedir. Bu çalışma esnasında da değişen tesisatlardan numuneler alınmıştır. Numuneler sırasında sayaçların da durumu ve filtreleri de kontrol edilmiştir.

Numuneler bazı noktalarda bina giriş kollektöründen, bazı noktalarda da iç tesisattan alınmıştır. Numune alınan bir binadaki kollektör–sayaç–sıhhi tesisat yapısı Resim 3.1’de gösterilmektedir:



Resim 3.1. Bina içi su dağıtım yapısı

Numune alınan binaların şematik gösterimi ve dağılımı Şekil 3.3'te yer almaktadır:



Şekil 3.3. Numune alınan binaların temsili şematik gösterimi

Sıhhi tesisat yaşları 3 kategori olarak değerlendirilmiştir. Numune alınan noktalar, boru türleri ve şebeke yaşları Çizelge 3.1'de yer almaktadır:

Çizelge 3.1. Numune alınan noktalar ve özellikleri

Numune Nokta No	Boru Türü	Su Kullanım Şekli	Numune Alınan Yer	Bina / Şebeke Yaşı Kategorisi ¹
1	PE	Ham Su	Numune Musluğu	III
2	PE	İçme / Kullanma	Numune Musluğu	II
3	PPRC	İçme / Kullanma	İç Tesisat	II
4	PPRC	İçme / Kullanma	İç Tesisat	II
5	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	III
6	PE	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	II
7	PE	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	II
8	PPRC	İçme / Kullanma	İç Tesisat	I
9	Galvaniz Metal	Kullanma	İç Tesisat	III
10	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	III
11	PPRC	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	I
12	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	III
13	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	II
14	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	II
15	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	I
16	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	II
17	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	II
18	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	I
19	PPRC	İçme / Kullanma	İç Tesisat	I
20	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	Giriş Kolektör	III
21	Galvaniz Metal	İçme / Kullanma	İç Tesisat	III
22	PPRC	İçme / Kullanma	İç Tesisat	I

I. kategori olan yeni yapılan binalarda tesisat yaşı 0 - 5 yıl arasındadır. II. kategori olan orta yaşlı binalarda ise tesisat yaşı 6 - 15 yıl arasında değişmektedir. III. kategori olan eski binalarda tesisat yaşı 15 yılın üzerindedir.

¹ I: 0 - 5 yıl arası tesisat yaşına sahip yeni binalar
 II: 6 - 15 yıl arası tesisat yaşına sahip orta yaşlı binalar
 III: 15 yıl üzeri tesisat yaşına sahip eski binalar

İlk olarak 1. noktada içme suyu arıtma tesisine ham su taşıyan noktadan numune alınmıştır. Arıtma tesisine su seviyelerine bağlı olarak Kurtboğazı ve Çamlıdere Barajlarından dönüşümlü su alınmaktadır. Çalışma dönemi boyunca ham su kaynağı olarak sadece Çamlıdere Barajından tesise su alınmıştır. Barajlardan gelen ham su hattından numune musluğu vasıtasıyla numuneler alınmıştır (1. nokta). Arıtma tesisinde arıtılan suyun özelliklerinin tespit edilebilmesi için arıtma tesisi çıkışında arıtılmış suyun depolandığı temiz su deposundan (2. nokta) numune alınmıştır. 3. ve 22. noktalar arasındaki yerler ise şebeke dağıtım ağı üzerinde bulunan farklı noktalardaki binalara ait tesisatlardan oluşmaktadır. Sadece bir noktada tesisattaki su kullanma suyu olarak değerlendirilmekteyken diğer noktalarda hem içme hem de kullanma suyu olarak tüketilmektedir.

Tesisatlarda bina girişlerindeki ıslak hacimlere kadar galvaniz metal borular kullanılmış olup ıslak hacimlerde tesisat malzemesi olarak PPRC borular kullanılmaktadır. PE borular ise ham su hatlarında, arıtma tesisi çıkışında ve bina girişlerindeki bazı ana hatlarda kullanılmaktadır.

3.1.5. Numune alma şekli

Mikrobiyolojik izlemenin yapılabilmesi amacıyla iç tesisatlardan ne zaman ve hangi sıklıkta numuneler alınacağıyla ilgili evrensel bir direktif veya rehber bulunmamaktadır. *P.aeruginosa* izlemesi için Aylık, 3 aylık, 6 aylık ve yıllık örnekler alınabilmektedir [84]. Bu çalışmada da her bir noktadan yıllık ölçekte birer adet numune alınmıştır. Ham su kaynaklarının ise su kalitesi ve toplam karbon yükü incelenmiştir.

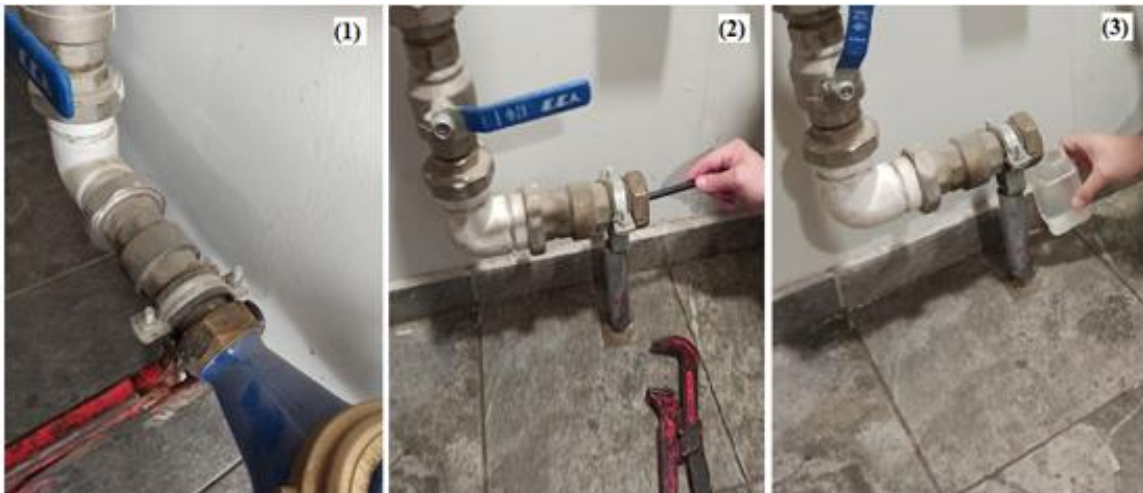
Ham su hattından çekilen numune muslukları vasıtasıyla ham su numuneleri alınmıştır (Resim 3.2). Alınan numuneler fiziksel ve kimyasal açıdan analiz edilmiştir. Ham su hattından ayrıca mikrobiyolojik analizi yapılmak üzere numune alınmıştır. Şebekeye verilen içme suyu kalitesinin tespiti açısından arıtma tesisi çıkışında arıtılmış su deposundan aynı dönemlerde numuneler alınmıştır. Arıtma tesisi çıkış suyu için de tesis içerisindeki numune musluğu kullanılmıştır.



Resim 3.2. Ham su numune hattı

Şebekeden de farklı noktalarda seçilen 20 noktadan numuneler alınmıştır. Borudaki biyofilm ve tortu tabakasının su kalitesine etkisini tespit etmek için tortu ve biyofilm parçalanmadan önce ve parçalandıktan sonra numuneler alınmıştır. Öncelikle mevcut şebekede hâlihazırda musluktan akan sudan “Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü İçme - Kullanma Sularının Denetimi ve Numune Alma Usulleri” genelgesine uygun olarak numuneler alınmıştır [85]. Bu sayede işletmede olan suyun kalitesi tespit edilebilmiştir.

Tesisatlardaki boruların iç yüzeyinden numune alabilmek için sayaçlar ve musluklar sökülerek tesisat borusunun yüzeyine ulaşılabilecek bir nokta oluşturulmuştur. Tesisat borusunun yüzeyi sterilize edilmiş numune çubuğuyla kazınarak mevcuttaki biyofilm tabakasının parçalanması sağlanmış ve vana açılarak akıtılan sudan da numune alınmıştır. Numunelerin borulardan alınış yöntemi Resim 3.3’te gösterilmektedir:



Resim 3.3. Tesisat su numunesi alınma şekli: (1) Musluk/sayaç sökülmesi, (2) Steril çubukla boruların iç yüzeyinin kazınması, (3) Akan sudan numune alınması

Parçalanmış biyofilm tabakasını içeren su numuneleri aynı gün analiz edilmek üzere tesisin mikrobiyoloji laboratuvarına götürülmüştür. Ayrıca bu noktalardaki suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinin tespit edilmesi amacıyla ek su numuneleri alınarak aynı laboratuvarda analiz edilmiştir. Alınan mikrobiyolojik numuneler inkübasyon süresine ve sıcaklığına göre gruplar halinde analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlar filtre kâğıdı üzerinde muhafaza edilmiştir.

3.2. Yöntem ve Analiz Metotları

İçme suyu kalitesinin biyolojik açıdan tespiti amacıyla yapılan testlerden biri de bakteri sayımıdır. Bakteri sayısı tayini ile depo ve şebeke sularındaki mikrobiyolojik değişimler tespit edilebilmektedir. Ayrıca su iletim ve dağıtım sistemindeki malzemelerin üzerinde bulunan mikrobiyel popülasyonun ölçümü için de bakteri sayımı yöntemi kullanılmaktadır [29]. İçme suyu kalitesinin mikrobiyolojik analizi amacıyla kullanılan test yöntemleri, küçük miktarlardaki kontaminasyonun bile tespitine izin verebilecek, uygulaması kolay, verimli ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilecek özellikte olmalıdır. Mikrobiyolojik analizlerde temel sayım yöntemi koloni sayımıdır. İçme sularında araştırılan mikroorganizmaların incelenen numunede var olup olmadıklarının belirlenmesinde ya da izin verilen sayılarda olup olmadığının kontrol edilmesinde farklı mikrobiyolojik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Koloni sayımı yayma plak, dökme plak, damlatma ve membran filtrasyon yöntemleri ile yapılabilmektedir. Toplam mikroorganizma sayısının tespit edilmesinde esas olarak katı besiyerine yayma yöntemi uygulanmaktadır. Analiz edilen numunede beklenen ya da izin verilen sayı bu yöntemle sağlıklı olarak elde edilemeyecek kadar az ise dökme yöntemi kullanılmakta, daha da az ise En Muhtemel Sayı (EMS) yöntemi uygulanmaktadır. 100 mL – 250 mL gibi hacimlerdeki numunelerde, özellikle içme ve kullanma sularında çok az sayıda mikroorganizma içeren numunelerin analizinde ise membran filtrasyon kullanılabilecek en etkili yöntemlerden biridir. Numunenin tamamı filtreden geçirildiğinden içerdiği tüm mikroorganizmalar tespit edilebilmektedir. Bu yöntemle herhangi bir tahmin veya eskalasyon uygulamaya gerek kalmadan numunedeki tüm mikroorganizmalar sayılabilmektedir. Katı besiyeri kullanılan yöntemlerde mikroorganizma çıplak gözle görülemediği için, koloni oluşturması sağlanmaktadır. Katı bir ortama ekilen mikroorganizma hücresi uygun sıcaklıkta inkübe edildiğinde çoğalmakta ve koloni oluşturmaktadır [79, 80, 81]. EC İçme Suyu Direktifi, *E. coli*, *Enterococci* (dışkı streptokok), *Pseudomonas aeruginosa* ve *C. perfringens* gibi indikatör bakterileri tümünün membran filtrasyon yöntemi kullanılarak izole edilmesi gerektiğini belirtmektedir [86].

Membran filtrasyon yönteminin prensibi mikroorganizmaların geçemeyeceği kadar küçük gözenek çapına sahip membran filtreden numunenin geçirilerek mikroorganizmaların filtre üzerinde kalmasının sağlanmasıdır. Mikroorganizmaları tutmuş membran filtre, uygun bir katı besiyeri üzerine yerleştirilmekte, uygun inkübasyon sıcaklığında ve uygun süre sonunda filtre üzerinde oluşan koloniler sayılmaktadır. Membran filtrasyon yöntemi, genel olarak 100 mL hacimdeki numunelerde çok az sayıda bulunan ya da sonucun 0 CFU (colony forming unit, koloni oluşturan birim) olması hedeflenen numuneler için kullanılmaktadır. Ancak yöntemin pratik kullanımı nedeni ile bundan çok daha fazla sayıda mikroorganizma içeren gıdaların ve özellikle çeşitli suların (yüzey suları, atık sular vb.) analizinde de yaygın kullanım alanı bulmuştur [79, 80].

Katı besiyeri kullanılarak yapılan sayımın prensibi, her canlı hücrenin belirli bir inkübasyon sonunda 1 adet koloni oluşturmaktır. Bununla birlikte, canlı olduğu halde hasar görmüş ve gelişip koloni oluşturmamaya yetecek canlı hücreler de gıda maddesinde bulunabilir. Bu nedenle sayım sonuçları sadece koloni oluşturabilenlerin sayıldığını göstermek üzere koloni oluşturan birim CFU olarak verilmektedir. Membran filtreden fiilen geçirilen miktar esas alınarak sonuçlar CFU/100 mL ya da CFU/250 mL olarak verilmektedir [81].

Yapılan çalışmada besiyeri olarak Sartorius firması tarafından geliştirilen hazır kurutulmuş besiyeri setleri kullanılmıştır. “Nutrient Pad Set (NKS)” olarak da adlandırılan bu sistem, üretici tarafından her biri absorban pede emdirildikten sonra kurutulup, steril olarak Petri kutularına yerleştirilmiş besiyerleri ve membran filtre setlerinden oluşmaktadır. Membran filtrelerin gözenek büyüklüğü, tayini yapılacak mikroorganizmanın büyüklüğü göz önüne alınarak seçilmiş ve filtre kâğıtları da üretici tarafından oluşacak mikroorganizmanın renginin rahatlıkla tespit edilebilmesine olanak sağlayan özellikte üretilmiştir. Kurutulmuş besiyerlerinin bileşimi ile standart metotla hazırlanan agarların bileşimi arasında hiçbir fark bulunmamaktadır. Kurutulmuş besiyerleri 3,0-3,5 mL steril saf su ile ıslatıldığında aktive edilerek, doğrudan kullanılabilir. Membran filtre kâğıtlarının kareli olması sayesinde inkübasyon sonrası sayım işlemleri kolaylıkla yapılabilir. Filtre kağıdında optimum koloni sayısı 20-200 arasında olmalıdır. Yanlış seyreltmede ya da numunenin, seyreltmede kullanılan sıvı ile yetersiz karışımında daha fazla sayıda koloni oluşabildiği de gözlemlenmiştir. Sayım sonrasında besiyerinden kaldırılan membran filtrelerde mikrobiyolojik çoğalma durduğundan, filtre kâğıtları kurutulduktan sonra da saklanabilmekte ve daha sonra tekrar gözlem yapma imkânı sağlamaktadır. Kurutulmuş

Hazır Besiyeri (NKS), WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı) talimatlarının yanı sıra, FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi), İsveç, İngiltere, Güney Afrika, ABD ve Fransa gibi Ülkelerde kalite kontrolde ulusal standart olarak kabul edilmiştir. 1980'den bu yana membran filtrasyon sistemlerinde kullanılmaktadır [79]. Standart besiyeri hazırlamada kullanılan tartım, agarın eritilmesi, otoklavlama, otoklav çıkışı katkıların ilave edilip karıştırılması, pH ayarlanması, petri kutularına dökülmesi işlemleri için gereken süreye hazır kurutulmuş besiyerleri olan NKS'de ihtiyaç bulunmamaktadır. Bu nedenle NKS kullanımı analizlerde önemli bir zaman avantajı sağlamaktadır. Ayrıca NKS besiyerinde tüm bileşenler absorban kartona emdirildiğinden standart besiyeri hazırlarken yapılan yanlış tartım, otoklavda fazla bekleme nedeni ile selektivite ve/veya jelleşme kaybı katkıların yanlış ilavesi gibi deney sonucunu etkileyecek riskler de bulunmamaktadır [80].

Sahadan toplanılan numuneler mikrobiyolojik analizler ve fiziksel/kimyasal analizler olarak iki ana başlıkta incelenmiştir.

3.2.1. Mikrobiyolojik analiz yöntemi

Numunelerin mikrobiyolojik analizleri, içme suyu arıtma tesisinin içerisinde bulunan mikrobiyoloji laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin analizinde aşağıdaki cihazlar ve yöntemler kullanılmıştır:

Membran filtrasyon ve kullanılan malzemeler

İçme suyu iç tesisatlarında oluşan biyofilm tabakasındaki patojenlerin tespiti amacıyla yapılan bu çalışmada membran filtrasyon yöntemi kullanılmıştır. Membran filtrasyon işleminde steril numune kapları (Sodyum Tiyosülfatlı), vakum pompası, vakum hortumu, cam vakum erleni, paslanmaz çelik filtre tutucu, filtre gövdesi, dozaj şırıngası, paslanmaz çelik pens ve 0,2 µm gözenek büyüklüğünde membran filtreler kullanılmıştır. Membran filtre deney düzeneği Resim 3.4'te gösterilmiştir.



Resim 3.4. Membran filtrasyon deney düzeneği

Sodyum tiyosülfatlı steril numune kaplarına numune noktalarından alınan 100 mL hacmindeki numuneler aynı gün tesis içerisinde bulunan su analiz laboratuvarlarına getirilmiştir. Mikrobiyolojik analiz için hazır kurutulmuş besiyerinin filtrelemeden önce saf su ile ıslatılması ve aktive edilmesi gerekmektedir. Bunun için dozaj şırıngası yardımıyla petri kabına saf su enjekte edilmiştir. Dozaj şırıngası (SM 16685) 3 mL'ye ayarlanarak hortumu saf su içine daldırılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5. Saf su dozaj şırıngası ve filtre başlığı

Steril paketteki 0,2 µm membran filtre dozaj şırıngasının ucuna takılmış ve petri (NKS) besiyeri kabın içi daha önce ayarlanmış dozaj şırıngasıyla 3 mL saf su ilave edilerek ıslatılmıştır (Resim 3.6). Bu işlemlerin öncesinde deney düzeneği ve metal aksam bek alevinden geçirilerek sterilize edilmiştir.



Resim 3.6. Saf su ile besiyerinin hazırlanması ve filtrenin yerleştirilmesi

Vakum pompası silikon boru ile cam vakum erlenine, cam erlen de yine silikon boru vasıtasıyla paslanmaz çelik filtre tutuculara bağlıdır. Steril paketteki membran filtreler paslanmaz çelik pens ile alınarak filtrenin su haznesinin altına yerleştirilmiştir. Daha sonra paslanmaz çelik filtre haznesi yerine yerleştirilerek üzerine numune noktalarından alınan sular boşaltılmıştır. Üç hazneli filtrenin her bir haznesi 100 mL hacimlidir. Filtre 3 hazneli olduğu için aynı anda 3 numunenin analizi yapılabilmektedir. Her haznede aynı işlem yapılmıştır. Numuneler hazneye döküldükten sonra vakum pompası çalıştırılarak haznedeki su filtre kâğıdından geçirilmiştir. Vakum pompası 220 V, 50 Hz yağsız membranlı özellikte olup maksimum emiş gücü 26 L/dk'dır. Bu özellik üçlü filtrenin aynı anda vakumlanması için yeterlidir. Vakumlanan sular 1 L hacimli ve vakuma dayanıklı cam erlende toplanmaktadır. Vakumlama ve filtrasyon işlemi tamamlandıktan sonra vakum musluğu kapatılmış, filtre tutucu hazneler çıkarılarak altındaki filtre kâğıdı paslanmaz çelik pens ile alınmış ve daha önceden saf su ıslatılarak aktive edilmiş olan besiyerine yerleştirilmiştir (Resim 3.7).



Resim 3.7. Süzdürülmüş filtrenin NKS besiyerine yerleştirilmesi

Saf su ile aktifleştirilen besiyerlerine koyulan filtre kâğıtları daha sonra inkübe edilmek üzere soğutmalı inkübatöre yerleştirilmiştir (Resim 3.8). İnkübatörün çalışma sıcaklık aralığı -10°C ila $+60^{\circ}\text{C}$ arası olup inkübe edilecek türler için yeterli inkübasyon sıcaklıklarını sağlayabilmektedir. İnkübasyon sonrası filtre kâğıtları üzerinde koloni oluşturan bakteriler sayılmıştır. 1. noktadaki ham su %50 seyreltilerek analiz edildiğinden çıkan sayım sonuçları ikiyle çarpılarak koloni sayısı hesaplanmıştır.



Resim 3.8. İnkübatöre yerleştirilen besiyerleri

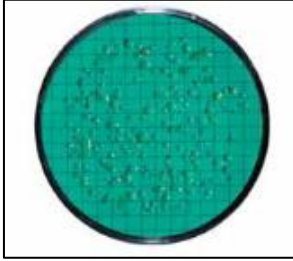
Numunelerde Toplam Koloni, Toplam Koliform, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* ve Enterokok türleri aranmıştır. İncelenen türler için farklı besiyerleri, inkübasyon süreleri ve sıcaklıkları kullanılmıştır. Toplam koloni (jerm sayısı) tespiti için Yeast NKS, Toplam koliform tespiti için Chromocult NKS, *E. coli* tespiti için Endo NKS, *Pseudomonas aeruginosa* tespiti için Cetrimide NKS, *Salmonella* spp. için Bismuth Sulfite NKS, *Staphylococcus aureus* için Chapman NKS ve Enterokoklar için Azide NKS kullanılmıştır. Kullanılan besiyerlerinin özellikleri ve inkübasyon şartları aşağıda belirtilmiştir:

Kullanılan hazır kurutulmuş besiyerleri

Yeast NKS Üzerinde Toplam Koloni Tespiti

Üretici firma tarafından hazırlanmış Yeast NKS besiyeri aerobik heterotrofilik toplam koloni sayısını belirlemek için kullanılmaktadır. Sularda genel kalitenin tespit edilmesi amacıyla ve diğer ürünlerdeki mikroorganizmaları geliştirmek amacıyla kullanılan kurutulmuş besiyeridir. $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 44 ± 4 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. Baskın olarak bulunan

bakteriler bu besiyerinde çoğalmakta olup kolonilerin birçoğu renksizdir. Ancak farklı türler de bu besiyerinde farklı renklerde üreyebilmektedir [79]. Resim 3.9'da Yeast besiyeri üzerinde koloni oluşturan bakteriler görülmektedir:

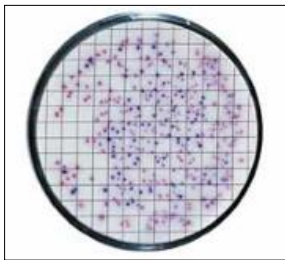


Resim 3.9. Yeast besiyeri üzerinde koloni oluşturan bakteriler

Bu besiyeri in vitro yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde süt ve ürünlerinde maya ve küf belirlenmesi ve sayımı için katı besiyeri olarak da kullanılabilir. Yeast ekstrakt 5,0 g/L; glikoz 10,0 g/L; agar-agar 20,0 g/L bileşimden oluşmaktadır. Besiyeri bileşiminde inhibitör yoktur ve pH nötr değere yakındır. Farklı türlerde bakteriler de bu besiyerinde gelişebilmektedir [87].

Chromocult NKS Üzerinde Toplam Koliform Tespiti

Chromocult NKS (Merck 1.10426) besiyeri sularda genel kalitenin tespit edilmesi, atık su, içecekler, gıdalar ve diğer ürünlerde Toplam Koliform bakterilerini belirlemek için kullanılmaktadır. *E. coli* tespitinde de bu besiyerinden faydalanılabilmektedir. 36 ± 2 °C'de 20-28 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. *E. coli*, koyu maviden menekşe rengine, diğer koliformlar kırmızıdan pembeye kadar değişen renklerde, diğer Gram negatif bakteriler ise renksiz koloniler oluşturmaktadır [79]. Resim 3.10'da Chromocult besiyeri üzerinde koloni oluşturan *E. coli* ve koliform grubu bakteriler görülmektedir.

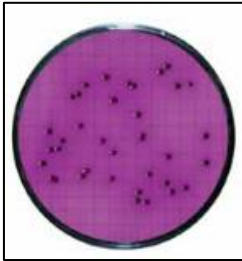


Resim 3.10. Chromocult besiyeri üzerinde koloni oluşturan bakteriler

Chromocult NKS pepton 3,0 g/L; NaCl 5,0 g/L; NaH₂PO₄ 2,2 g/L; Na₂HPO₄ 2,7 g/L; Sodyum pruvat 1,0 g/L; Tryptophane 1,0 g/L; Sorbitol 1,0 g/L; Tergitol-7 0,15 g/L; Chromogenic karışım 0,4 g/L; agar-agar 10,0 g/L bileşime sahiptir. EPA yönergelerine uygun olup in vitro yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde koliform grup bakteriler için selektif katı besiyeri olarak tercih edilmektedir [88].

Endo NKS Üzerinde E. coli Tespiti

Endo NKS içme ve kullanma suyu, atık su, doğal kaynak suları, içecekler, konsantreler, meyve suları, şekerli ürünler, gıdalar ve diğer ürünlerdeki koliform grup bakteriler ve özellikle *E. coli* için kullanılan kurutulmuş besiyeridir. Üretici firma tarafından özellikle *E. coli* tespitine yönelik hazırlanmış Endo NKS besiyeri üzerinde *E. coli* tespiti için koloni renklerine ve parlaklıklarına bakılmaktadır. 36±2 °C'de 18-24 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. İnkübasyon sonucunda *E. coli* metalik parlaklığı olan kırmızı koloniler oluştururken, diğer koliformlar metalik parlaklığı olmayan koyu ya da açık kırmızı renkli koloniler oluşturmaktadır [79]. Resim 3.11 üzerinde Endo besiyeri üzerinde koloni oluşturan *E. coli* görülmektedir:



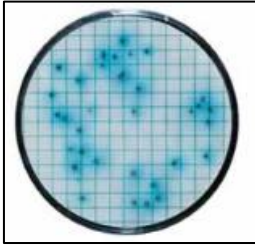
Resim 3.11. Endo besiyeri üzerinde koloni oluşturan *E. coli*

Endo NKS, in vitro (canlı hücre dışında) yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde koliform grup bakteriler ve *E. coli* için selektif katı besiyeri olarak kullanılmaktadır. Pepton 10,0 g/L; K₂HPO₄ 2,5 g/L; laktoz 10,0 g/L; Na₂SO₃ 3,3 g/L; Pararosanilin (fuksin) 0,3 g/L; agar-agar 12,5 g/L bileşiminden oluşmaktadır. Besiyeri bileşimindeki sodyum sülfid ve fuksin gram pozitif bakterilerin gelişimini baskılamaktadır. *E. coli* ve koliform bakteriler laktozu asit ve aldehit oluşturarak metabolize etmektedir. Oluşan aldehit, fuksin-sülfid bileşiğindeki fuksini serbest bırakmakta ve böylece koloni rengi kırmızı olmaktadır. *E. coli* ve diğer bazı koliform grup üyelerinde bu reaksiyon çok kuvvetli olarak gerçekleşmekte ve

kolonideki fuksin kristalleri koloni renginin metalik parlak yeşil (fuksin parlaklığı) olmasını sağlamaktadır [89].

Cetrimide NKS Üzerinde Pseudomonas aeruginosa Tespiti

Üretici firma tarafından Lowbury'e göre hazırlanmış Cetrimide NKS besiyeri *Pseudomonas aeruginosa* tespiti için kullanılmaktadır. Bu besiyerinde bakterilerin 365 nm dalga boyuna sahip UV lambası altındaki ışımaları gözlemlenmektedir. $42 \pm 0,5$ °C'de 24-48 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. *Pseudomonas aeruginosa*, 1-2 mm çapında mavi, mavi-yeşil ya da sarı-yeşil ve mavi zonlu koloniler şeklinde gelişmekte ve UV lamba altında floresan ışımaya veren pyocyanin ve fluorescein oluşturmaktadır. Diğer *Pseudomonas* türleri (*Pseudomonas fluorescens* vb.) $42 \pm 0,5$ °C'de yapılan inkübasyonda gelişmemekte ya da farklı renklerde koloniler oluşturmaktadır. Bu sıcaklıkta gelişen diğer türler UV ışığı altında ışımaya da yapamamaktadır. Floresan ışımaya veren koloniler *Pseudomonas aeruginosa* olarak tanımlanabilmektedir [79]. Resim 3.12 üzerinde Cetrimide besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Pseudomonas aeruginosa* görülmektedir:



Resim 3.12. Cetrimide besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Pseudomonas aeruginosa* (UV lambası altında ışımaya veren)

Cetrimide NKS, DIN Norm 38411 AOAC, BAM EP ve USP yönergelerine uygundur. In vitro yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde *Pseudomonas aeruginosa* izolasyonu ve ön tanımlanması için selektif katı besiyeri olarak kullanılmaktadır. Peptone (gelatin) 20,0 g/L; magnezyum klorit 1,4 g/L; potasyum sülfat 10,0 g/L; N-cetyl-N,N,N-trimethylammoniumbromide (cetrimide) 0,3 g/L; agar 13,0 g/L bileşime sahiptir. *Pseudomonas aeruginosa* bu besiyerinde 35°C'de aerobik koşullarda 48 saat inkübasyondan sonra mavi-yeşil pigmentli koloni oluşturmakta ve uzun dalga boylu UV lambası ile floresan ışımaya vermektedir [90].

Bismuth Sulfite NKS Üzerinde Salmonella spp. Tespiti

Bismuth Sulfite NKS Wilson-Blair (Merck 1.05418 CE) agara göre hazırlanmış, *Salmonella typhi* ve diğer *Salmonella* serotiplerinin izolasyonu için hazırlanmış olup ilaç, kozmetik, içme ve kullanma suyu, atık su, gıdalar ve diğer ürünlerdeki *Salmonella* türlerini tespit etmek için kullanılmaktadır. *Salmonella* serotiplerinin çoğu açık renkli, merkezleri kahverenginden siyaha kadar değişen ve metalik parlaltıya sahip siyah bir alan ile çevrili parlak renkli koloni oluşturmaktadır. Bazı *Salmonella* türleri bu tipik zona sahip olmayan, koyu kahverenginden siyaha kadar değişebilen koloniler şeklinde de gelişebilmektedir [79]. Resim 3.13 üzerinde Bismuth Sulfite besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Salmonella* spp. görülmektedir:

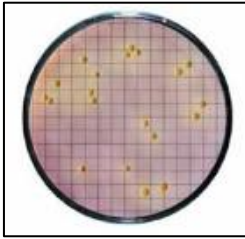


Resim 3.13. Bismuth sulfite besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Salmonella* spp.

36±2 °C'de 40-48 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. Bismuth Sulfite besiyeri, AOAC, BAM, SMWW ve USP yönergelerine uygun olup in vitro yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde *Salmonella* belirlenmesi için selektif katı besiyeri olarak kullanılmaktadır. Taze hazırlanmış besiyeri refakatçi flora üzerinde yoğun inhibisyon etki gösterirken *Salmonella* kolonileri etrafında metalik parlaklık ancak 48 saat inkübasyon sonunda oluşur. Bismuth Sulfite Agar besiyerinde siyah merkezli, etrafında metalik bir parlaklık olan siyah çöküntülü (presipitat) zon bulunan koloniler tipik *Salmonella* kolonileridir. Meat ekstrakt 5,0 g/L; peptone 10,0 g/L; D(+) glikoz 5,0 g/L; Na₂HPO₄ 4,0 g/L; demir (III) sülfat 0,3 g/L; brilliant green 0,025 g/L; Bismuth sulfite indikatör 8,0 g/L; agar-agar 15,0 g/L bileşime sahiptir. Küçük, yeşil-kahverengi, bazen mukoid olanlar ise koliform grup bakteriler ve *Serratia* ile *Proteus* kolonileridir. Bununla beraber *Proteus* kolonileri sıklıkla *Salmonella* ile karıştırılmaktadır. Bileşimde bulunan brilliant green ve bismuth refakatçi floranın gelişimini baskımlarken bismuth iyonlarının metalik bismutha indirgenmesi koloni etrafında metalik bir parlaklık oluşturur [91].

Chapman NKS Üzerinde Staphylococcus aureus Tespiti

Chapman NKS, Chapman tarafından geliştirilen mannitol tuz besiyeridir. In vitro yapılan standart mikrobiyolojik analizlerde *Staphylococcus aureus* için selektif katı besiyeri olarak kullanılmaktadır. Pepton (casein) 10,0 g/L; Yeast ekstrakt 2,5 g/L; K_2HPO_4 5,0 g/L; Gelatin 30,0 g/L; Laktoz 2,0 g/L; D(-) Mannitol 10,0 g/L; NaCl 75,0 g/L; agar-agar 12,0 g/L bileşiminden oluşmaktadır. Besiyeri bileşimindeki %7,5 NaCl konsantrasyonu pek çok refakatçi bakteri için inhibitör etki yapmaktadır. Bu nedenle farklı türler üreyememektedir. Gelişen koloniler içinde *Staphylococcus aureus*, mannitolden asit oluşturma, jelatini parçalama ve pigment oluşumu ile ayrılmakta ve altın sarısı koloni oluşturmaktadır [92]. Resim 3.14 üzerinde Chapman besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Staphylococcus aureus* görülmektedir:



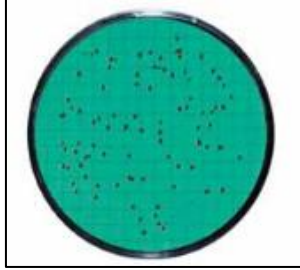
Resim 3.14. Chapman besiyeri üzerinde koloni oluşturan *Staphylococcus aureus*

Patojen stafilokokları izole etmek ve tanımlamak için modifiye edilmiştir. İlaç, kozmetik, ham maddeler, içme ve kullanma suyu, atık su, gıdalar ve diğer ürünlerdeki stafilokokları tespit edebilmek için kullanılan kurutulmuş bir besiyeridir. 30-35 °C'de 18-72 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. *Staphylococcus aureus* sarı renkli ve sarı zonlu koloniler şeklinde (mannitol pozitif) diğer stafilokoklar da değişik renklerde ve etraflarında zon olmadan gelişmektedir [79].

Azide NKS Üzerinde Enterokokların Tespiti

Slanetz ve Bartley agara göre hazırlanmış besiyeri, enterokokların (bağırsak kökenli streptokokların) tanısı ve sayılması için kullanılmaktadır. İçme ve kullanma suyu, atık su, doğal kaynak suları, içecekler, gıdalar ve diğer ürünlerdeki enterokokları analiz etmek için kullanılan kurutulmuş besiyeridir. 36±2 °C'de 40-48 saat inkübasyon koşullarına sahiptir. Enterokoklar, 0,5-2,0 mm çapında kırmızı, pembe veya kırmızımsı kahverengi koloniler

oluşturmaktadır [79]. Resim 3.15 üzerinde Azide besiyeri üzerinde koloni oluşturan Enterokoklar görülmektedir:



Resim 3.15. Azide besiyeri üzerinde koloni oluşturan Enterokoklar

Azide besiyeri Pepton (casein) 15,0 g/L; Meat ekstrakt 4,5 g/L; D(+) glikoz 7,5 g/L; NaCl 7,5 g/L; sodyum azid 0,2 g/L bileşiminden oluşmaktadır. Bileşimdeki sodyum azid, Gram negatif bakterilerin gelişimini engellemektedir [93].

Çizelge 3.2’de yapılan mikrobiyolojik analizlerde kullanılan besiyerleri, inkübasyon süreleri ve sıcaklıkları özet halde verilmiştir:

Çizelge 3.2. İncelenen türler ve inkübasyon şartları

No	Besiyeri Adı (NKS)	Bakılan Tür	İnkübasyon Derecesi (°C)	İnkübasyon Süresi (sa)
1	Yeast	Toplam Koloni	37	48
2	Chromocult	Toplam Koliform	36	24
3	ENDO	<i>E. coli</i>	36	24
4	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	42	48
5	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	36	48
6	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	30 - 35	72
7	Azide	Enterokok	36	48

3.2.2. Fiziksel ve kimyasal analiz yöntemi

Numune alınan noktalarda su kalitesinin değişimini ve biyofilm tabakasının su kalitesine etkisini belirlemek için de ham suyun, arıtılmış suyun ve iç tesisatlardaki kullanılan suyun fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Numuneler tesisin içme suyu arıtma tesisi içerisindeki su kalite laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Tüm analizler öncesinde ve sonrasında analiz cihazlarında sıfırlama ve kalibrasyon işlemi uygulanmıştır. Numunelerin analizinde aşağıdaki cihazlar ve yöntemler kullanılmıştır:

Renk Analizi

Numunelerin renk analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) yüklenmiş olan renk programı kodu seçilerek yapılmıştır (Resim 3.16). Cihazın kalibrasyonu için önce 1 inç çapındaki cam küvete saf su konulmuş ve sıfırlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra kalibrasyon küveti çıkarılmış ve yerine numune konulmuştur. Tüm analizler öncesinde spektrofotometre cihazında kalibrasyon işlemi uygulanmıştır.



Resim 3.16. Spektrofotometre (Hach Lange DR 6000)

Bulanıklık Analizi

Bulanıklık analizleri ISO 7027'ye göre turbidimetre cihazında (Hach Lange 2100N) yapılmıştır (Resim 3.17). 30 mL numune küvete alınmış, küvetin dış yüzeyi üzerinde iz olmayacak şekilde silindikten sonra cihaza yerleştirilmiştir. 20-30 saniye kadar bekledikten sonra değer okunmuştur.



Resim 3.17. Turbiditimetre (Hach Lange 2100 N)

pH Analizi

pH analizleri TS 3263 ve ISO 10523'e göre pH metre cihazı kullanılarak (Hach Sension1) yapılmış, ölçümü yapılacak numune ise manyetik karıştırıcı ile (Thermomac TM12) hazırlanmıştır (Resim 3.18). Cihazların kullanılmadan önce kalibrasyonları yapılmıştır.



Resim 3.18. pH metre (Hach Sension1) ve manyetik karıştırıcı (Thermomac TM12)

P-Alkalinite Analizi

P-Alkalinite ya da Fenolftalein Alkalinitesi sudaki hidroksit ve karbonat iyonu miktarının ölçümüdür. Analiz titrimetrik metotla ISO 9963'e göre yapılmıştır (Resim 3.19). 100 mL numune erlen içerisine alınmış, 3-4 damla fenolftalein eklenmiş, renk pembeleştiğinde renk kaybolana kadar 0.02 N Sülfürik asit çözeltisi ile titrasyon yapılmıştır.



Resim 3.19. Titrasyon düzeneği

Titrasyon sonucunda kullanılan çözeltinin hacmi A mL kabul edilirse P-Alkalinite (CaCO_3 cinsinden) aşağıdaki eşitliğe göre (Eş. 3.1) hesaplanmıştır:

$$P - \text{Alkalinite } (\text{CaCO}_3) = \frac{A \times 1000}{\text{numune (ml)}} \quad (3.1)$$

M-Alkalinite Analizi (Toplam Alkalinite)

M-Alkalinite ya da metil oranj alkalinitesi, sudaki hidroksit, bikarbonat ve karbonat iyonlarının toplam ölçümünün verdiği toplam alkaliniteyi belirlemek için kullanılan bir ifadedir. Analiz titrimetrik metotla ISO 9963'e göre yapılmıştır (Resim 3.19). 100 mL numune erlen içerisine alınmış, 3-4 damla metil oranj ilave edilip renk sarıdan kiremit rengine dönene kadar 0.02N sülfürik asit ile titre edilmiştir. Titrasyon sonucunda kullanılan çözeltinin hacmi A mL kabul edilirse M-Alkalinite (CaCO_3 cinsinden) aşağıdaki eşitliğe göre (Eş. 3.2) hesaplanmıştır:

$$M - \text{Alkalinite } (\text{CaCO}_3) = \frac{A \times 1000}{\text{numune (ml)}} \quad (3.2)$$

Toplam Sertlik Analizi

Toplam sertlik tayini titrimetrik metotla EPA130.2'ye göre yapılmıştır. 100 mL numune mezür yardımıyla erlen içerisine alınmış, 1-2 mL tampon çözeltisi (NH_4Cl) ilave edilmiştir. 1 spatül ucu kadar toz indikatör (Eriochrome Black) ilave edilip karıştırılmıştır. Büretten damla damla 0.01M EDTA çözeltisi çözelti rengi pembeden maviye dönene kadar ilave

edilmiştir. Titrasyon sonucunda kullanılan çözeltinin hacmi A mL kabul edilirse Toplam Sertlik (CaCO_3 cinsinden) aşağıdaki eşitliğe göre (Eş. 3.3) hesaplanmıştır:

$$\text{Toplam Sertlik } (\text{CaCO}_3) = \frac{A \times 1000}{\text{numune (ml)}} \quad (3.3)$$

Demir Analizi

Demir analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 521 Kiti kullanılarak ISO 6332-1998, DIN 38406 E1-1'e göre yapılmıştır (Resim 3.20). Pipetle 5 mL numune küvetin içine alınmış ve spektrofotometrede yüklenmiş programlardan 521 program kodu seçilmiştir. Küvet çıkarıldıktan sonra test kitindeki kimyasal içeren kapak küvete takılarak 5-6 saniye karıştırılmıştır. 10 dakika bekleme süresi tamamlandıktan sonra küvetin dış yüzeyi daha düzgün bir okuma sağlamak amacıyla silinmiş ve cihazda okuma yapılmıştır.



Resim 3.20. Spektrofotometrede LCK 521 kiti ile demir analizi

Alüminyum Analizi

Demir analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 301 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır (Şekil 3.21). Test kitindeki 2 mL A solüsyonu pipet yardımı ile hazır kitin içerisine alınmış, ardından 3 mL numune eklenmiş, son olarak 1 kaşık test kitindeki B reaktifi eklenerek karıştırılmıştır. 25 dakika bekleme süresi sonunda numune spektrofotometrede okunmuştur.



Resim 3.21. LCK 301 kiti ile alüminyum analizi

Amonyum Analizi

Amonyum analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 304 Kiti kullanılarak ISO 7150-1, DIN38406 E5-1'e göre yapılmıştır. Pipetle 5 mL numune hazır olan kitin içine alınmış, kimyasal içeren kapak tüpün iç kısmına gelecek şekilde kapatılıp karıştırılmıştır. 15 dakika bekledikten sonra spektrofotometrede tüpün dış yüzeyi silinerek okuma yapılmıştır.

Nitrat Analizi

Nitrat analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 339 Kiti kullanılarak ISO 7890-1-2-198, DIN38405 D9-2'ye göre yapılmıştır. Pipetle 1 mL numune hazır kitin içerisine alınmış, test kitinde bulunan A solüsyonundan 0,2 mL eklenmiştir. 2-3 kere karıştırdıktan sonra 15 dakika beklenmiş ve spektrofotometre cihazında okuma yapılmıştır.

Nitrit Analizi

Nitrit analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 341 Kiti kullanılarak ISO 26777 DIN38405-D10'a göre yapılmıştır. Pipetle 2 mL numune hazır kitin içerisine alınmış, test kitinin kapağındaki kimyasal numuneyle karışacak şekilde takılarak 5-6 saniye karıştırılmıştır. 10 dakika bekleme süresinin sonunda spektrofotometre cihazında okuma yapılmıştır.

Serbest Klor Analizi

Serbest klor analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 310 Kiti kullanılarak ISO 7393-1-2-1985 DIN38408 G4-2'ye göre yapılmıştır. 100 mL mezüre 3-4 damla ortho-toluidine çözeltisi damlatılmış ve üzerine numune eklenmiştir. Renk skalasından bakılarak değerler tespit edilmiştir.

Klorür Analizi

Klorür analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 311 Kiti kullanılarak TS EN 10304-1'e göre yapılmıştır. Pipetle 1 mL numune hazır kitin içine alınmış, tersyüz edilerek karıştırılmıştır. Daha sonra 3 dakika beklenip okuma yapılmıştır.

Sülfat Analizi

Sülfat analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 153 Kiti kullanılarak TS EN 10304-1'e göre yapılmıştır. 5 mL numune pipet yardımıyla hazır kite alınmış ve test kitinin içinde bulunan A reaktifinden 1 kaşık eklenmiştir. Daha sonra kapak kapatılıp 1 dakika boyunca karıştırılmış, 30 saniye beklendikten sonra spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır.

Toplam Krom Analizi

Toplam Krom analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 313 Kiti kullanılarak ISO 11885 DIN38405-D24'e göre yapılmıştır. Pipetle 2 mL numune hazır kitin içerisine alınmış ve kitin içerisindeki kimyasal içeren kapak kapatılıp çalkalanarak karıştırılmıştır. Termostat ısıtılarak solüsyonun 100°C sıcaklıkta 1 saat termoreaktör cihazında (Hach Lange LT 200) ısınması sağlanmıştır. Solüsyon oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra kitin içerisindeki kimyasal içeren kapak B takılmış, kapak içindeki içerik çözünene kadar birkaç kez tersyüz edilerek çalkalanmıştır. 2 dakika beklendikten sonra tüpün çevresi silinerek spektrofotometrede değer okunmuştur.

Kadmiyum Analizi

Kadmiyum analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 308 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır. Pipetle 10 mL numune hazır olan

küvetin içine alınmış, içerisine test kitindeki 1 mL A solüsyonu eklenmiştir. Küvetin ağzı kapatılarak birkaç kez tersyüz edilerek çalkalanmıştır. Daha sonra küvete hazır kitin içindeki 0,4 mL B solüsyonu eklenip, spektrofotometrede sıfırlama işlemi yapılmıştır. Büyük küvetin içinden 4 mL kitin içine alınmış, tersyüz edilerek bir süre karıştırılmış ve 30 saniye beklendikten sonra tüpün çevresi silinerek cihazda okuma yapılmıştır.

Mangan Analizi

Kadmiyum analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCW 032 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır. Pipetle 20 mL numune hazır olan küvetin içinden alınmış, bir beher içerisine test kitindeki 1 mL A solüsyonu ve 1 mL B solüsyonu da eklenerek karıştırılmış ve 2 dk beklenmiştir. Daha sonra test kitindeki 1 mL C solüsyonu küvete eklenerek karıştırılmış ve 5 dk bekleme yapılmıştır. Beherdeki çözelti tekrar küvetin içine alınarak spektrofotometrede sıfırlama işlemi yapıldıktan sonra değer okunmuştur.

Nikel Analizi

Nikel analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 537 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır. Pipet yardımıyla 4,2 mL numune hazır olan küvetin içine alınmış ve spektrofotometrede sıfırlama işlemi yapılmıştır. Test kitindeki 1 kaşık B reaktifi ardından da 0,6 mL A solüsyonu küvete eklenmiş ve C kapağı küvete takılarak karıştırılmıştır. Bu sayede A ve B reaktiflerinin çözünmesi sağlanmıştır. 5 dk beklendikten sonra küvet birkaç kez tersyüz edilerek çalkalanmış ve çevresi silinerek okuma yapılmıştır.

Bakır Analizi

Bakır analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 529 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır. 5 mL numune hazır olan küvetin içine alınmış, spektrofotometrede yüklenmiş programlardan 529 seçilerek sıfırlama işlemi yapılmıştır. Küvet çıkarıldıktan sonra test kitinin içerisindeki A solüsyonundan 0,5 mL alınmış ve kimyasal içeren B kapağı küvete takılarak 5-6 saniye karıştırılmıştır. 5 dakika beklendikten sonra küvet tekrar çalkalanarak ve çevresi silinerek okuma yapılmıştır.

Florür Analizi

Florür analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 323 Kiti kullanılarak TS EN 10304-1'e göre yapılmıştır. Hazır kit spektrofotometreye yerleştirilerek sıfırlama yapılmış, daha sonra kit üzerine 3 mL numune eklenip, 5-6 saniye karıştıktan sonra 1 dakika beklemeye alınmıştır. Hazır olan çözelti spektrofotometreye yerleştirilip okuma yapılmıştır.

Çinko Analizi

Çinko analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 360 Kiti kullanılarak TS EN ISO 17294 1-2'ye göre yapılmıştır. 0,2 mL numune pipet yardımıyla hazır kitin içine alınmış ve 0,2 mL A solüsyonu eklenmiştir. Kitin kapağındaki kimyasal numuneye gelecek şekilde çözelti 5-6 saniye karıştırılıp 3 dakika beklemeye alınmıştır. Daha sonra kutu içerisinde bulunan şahit kit ile spektrofotometrede sıfırlama yapılarak numune okunmuştur.

Siyanür Analizi

Siyanür analizi spektrofotometre cihazında (Hach Lange DR 6000) LCK 315 Kiti kullanılarak ISO 6703-1-2-1984 DIN38405-D13'e göre yapılmıştır. 1 mL numune hazır kitin içerisine alınmış, kitin içerisindeki kimyasal içeren kapak kapatılıp karıştırılmıştır. Daha sonra içerisine 1 mL A solüsyonu eklenip, 3 dakika boyunca karıştırılmış ve numune spektrofotometreye yerleştirilerek değer okunmuştur.

İletkenlik Analizi

İletkenlik analizi dijital iletkenlik ölçer cihaz kullanılarak (Hach HQ40D) SM 2510'a göre yapılmıştır.

Toplam Organik Karbon (TOK) Analizi

TOK analizleri Segal Çevre Ölçüm ve Analiz Laboratuvarında 680°C'de yakma katalitik oksidasyon metodu ile çalışan toplam organik karbon analizörüyle (Shimadzu TOC -L) TS 8195 EN 1484'e göre yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analizlerde ham suyun fiziksel ve kimyasal su kalite değerleri, organik karbon yükü, mikrobiyolojik incelemesi, içme suyu arıtma tesisi çıkışındaki arıtılmış suyun fiziksel ve kimyasal su kalite değerleri ve mikrobiyolojik kalitesi incelenmiş, şebekedeki belirlenen 20 noktada suyun normal akıştaki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile boru çeperlerindeki birikimin parçalanmasından sonra suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerindeki değişimler değerlendirilmiştir.

Ham su kaynakları olan her iki barajın da detaylı analizi yapılarak genel su kaliteleri belirlenmiştir. Detaylı parametrelere bakılan bu analizler barajların su kalite sınıflandırması ve organik yük tespiti için yapılmıştır. Ham su arıtılmış su kıyasında da arıtma tesisinin parametre bazında verimi değerlendirilmiştir. Ayrıca barajların farklı dönemlerdeki toplam organik karbon değerleri de analiz edilmiştir. Organik karbon şebekedeki mikrobiyolojik büyümeyi tetikleyen ön önemli parametrelerden biri olduğu için özellikle organik karbon değerleri farklı dönemlerde incelenmiştir.

Yapılan mikrobiyolojik değerlendirmelerde besiyerinde oluşan koloniler hesaplanırken her koloninin tek bir mikroorganizmadan oluştuğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla sonuç koloni üreten ünitelerin veya koloni oluşturan ünitelerin (CFU) sayısı olarak ifade edilebilmektedir. Belirli bir sıcaklıkta ve saatte üreyebilen aerobik mikroorganizmaların sayısı “n CFU/ 250 mL” olarak ifade edildiğinde, yapılan mikrobiyolojik analizlerin sonuçları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

- $n = 0$ ise sonuç = 0 CFU/ 250 mL
- $1 < n < 200$ ise sonuç = n CFU / 250 mL
- $n > 200$ ise sonuç = 200 CFU / 250 mL

Ham su kalitesi “İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmeliğin” 6. Maddesinde yer alan sınıflandırmalara göre belirlenmiştir. Şebeke suyu kalitesi ise “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” sınır değerlerine ve “TS

266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular” standardına göre değerlendirilmiştir. Mikrobiyolojik analiz sonuçları da aynı yönetmelik ve standartta ortak olan ve Çizelge 4.1’de verilen değerlere göre incelenmiştir.

Çizelge 4.1. İçme suları mikrobiyolojik sınır değerleri

Parametre	Parametrik değer
<i>E. coli</i>	0/250 mL
Enterokok	0/250 mL
Koliiform bakteri	0/250 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 mL
Patojen Stafilokoklar	0/100 mL
Kaynaktan alınan numunede maksimum: 22 °C’de koloni sayımı 37 °C’de koloni sayımı	20/mL 5/mL

Numune alınan ilk iki noktada tüm membran filtre kâğıtlarının analiz sonuçlarının yer aldığı taratılmış resimlerine yer verilmiştir. Ancak diğer noktalarda sadece çoğalmanın tespit edildiği membran filtre kâğıtlarının resimleri gösterilmiş, çoğalmanın olmadığı filtre kâğıtlarının resimleri kullanılmamıştır.

4.1.1. Numune noktası bazında sonuçların değerlendirilmesi

Çalışma süresince numune alınan ve incelenen 22 noktaya ilişkin değerlendirmeler ve su kalitesiyle ilgili analizler başlıklar halinde verilmiştir.

1. Nokta: Ham Su (Kurtboğazı ve Çamlıdere Barajları)

1. nokta tesis girişi ham su PE hattı olup tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1).

Çalışma dönemi içinde Kurtboğazı Barajından su alınmamış olup geçmiş yıllarda su kullanılmıştır. Baraj ham su hattından alınan numunelerin analiz sonuçları Çizelge 4.2’de yer almaktadır:

Çizelge 4.2. Kurtboğazı Barajı ham su hattı analiz sonuçları

Kurtboğazı Barajı Ham Su Hattı					Numune Dönemi	Mayıs 2020	Nisan 2021
Parametre	Birim	Sınır Değerler ¹			Analiz Metodu	Analiz Sonuçları	
		A1	A2	A3			
pH		≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤	SM 4500 H+ B	8,81	7,94
Bulanıklık	NTU	1	50	500	TS 5091 EN ISO 7027	5,61	10,99
İletkenlik	μS/cm	2 500	-	25 000	SM 2510 B	191,2	218
Renk	Pt/Co	15	30	150	TS EN ISO 7887	10,98	49,89
Alüminyum	μg/L	200	500	2 000	TS EN ISO 17294 1-2	222,04	116,5
Amonyum	mg/L	0,5	2,5	5	SM 4500 NH3 F	0,02	0,07
Arsenik	μg/L	10	40	100	TS EN ISO 17294 1-2	7,47	<1
Bakır	μg/L	2 000	5 000	20 000	TS EN ISO 17294 1-2	2,23	<1
Bor	μg/L	1 000	1 250	5 000	TS EN ISO 17294 1-2	<100	<100
Çinko	μg/L	3 000	6 000	12 000	TS EN ISO 17294 1-2	22,43	10,03
Demir	μg/L	200	1 000	2 000	TS EN ISO 17294 1-2	212,44	83,35
Florür	μg/L	1 500	5 000	7 500	TS EN 10304-1	<200	<200
Kadmiyum	μg/L	5	15	50	TS EN ISO 17294 1-2	<0,1	<0,1
Klorür	mg/L	250	-	1 250	TS EN 10304-1	7,77	22,6
Krom	μg/L	50	500	1	TS EN ISO 17294 1-2	2,84	<1
Mangan	μg/L	50	100	250	TS EN ISO 17294 1-2	8,93	14,71
Nikel	μg/L	20	30	200	TS EN ISO 17294 1-2	5,92	10,15
Nitrat	mg/L	50	-	330	TS EN 10304-1	0,24	1,02
Nitrit	mg/L	0,5	-	3,33	TS EN 10304-1	<0,1	<0,1
Siyanür	μg/L	50	-	125	SM 4500-CN C/E	<1	<1
Sülfat	mg/L	250	-	1 250	TS EN 10304-1	11,37	10,16
Toplam Organik Karbon	mg/L	4	4,7	10	TS 8195 EN 1484	5,47	5,55

¹A1: Basit fiziksel arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

A2: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

A3: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

“İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmeliğin” 6. Maddesinde yer alan kalite sınıflandırmalarına göre Kurtboğazı Baraj suyu A2 sınıfındadır. Barajda TOK değeri 5,47 mg/L ve 5,55 mg/L olarak ölçülmüştür. Barajdan tesise organik yük gelmektedir. Organik karbon değeri şebekedeki mikroorganizmalar için önemli bir besin kaynağı olup şebekede tutunmalarını ve çoğalmalarını tetiklemektedir. Çalışma dönemi içinde tesise sadece Çamlıdere Barajı’ndan su alınmıştır. Tesis girişindeki ham su hattından alınan analiz sonuçları Çizelge 4.3’te yer almaktadır:

Çizelge 4.3. Çamlıdere Barajı ham su hattı analiz sonuçları

Çamlıdere Barajı Ham Su Hattı					Numune Dönemi	Şubat 2020	Mayıs 2020	Nisan 2021
Parametre	Birim	Sınır Değerler			Analiz Metodu	Analiz Sonucu		
		A1	A2	A3				
pH		≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤	SM 4500 H+ B	7,98	7,93	7,74
Bulanıklık	NTU	1	50	500	TS 5091 EN ISO 7027	6,55	10,28	5,61
İletkenlik (20°C'de)	µS/cm	2 500	-	25 000	SM 2510 B	477	210,60	186,80
Renk	Pt/Co	15	30	150	TS EN ISO 7887	33	14,10	16,99
Alüminyum	µg/L	200	500	2 000	TS EN ISO 17294 1-2	<2	415,62	<2
Amonyum	mg/L	0,5	2,5	5	SM 4500 NH3 F	0,78	0,29	0,07
Arsenik	µg/L	10	40	100	TS EN ISO 17294 1-2	<1	11,47	<1
Bakır	µg/L	2 000	5 000	20 000	TS EN ISO 17294 1-2	97	2,46	<1
Bor	µg/L	1 000	1 250	5 000	TS EN ISO 17294 1-2	<100	<100	<100
Çinko	µg/L	3 000	6 000	12 000	TS EN ISO 17294 1-2	196	98,17	30,33
Demir	µg/L	200	1 000	2 000	TS EN ISO 17294 1-2	167	361,08	60,32
Florür	µg/L	1 500	5 000	7 500	TS EN 10304-1	396	<200	<200
Kadmiyum	µg/L	5	15	50	TS EN ISO 17294 1-2	<0,1	<0,1	<0,1
Klorür	mg/L	250	-	1 250	TS EN 10304-1	71,00	21,57	6,50
Krom	µg/L	50	500	1	TS EN ISO 17294 1-2	<1	2,69	<1
Mangan	µg/L	50	100	250	TS EN ISO 17294 1-2	102	27,09	5,37

Çizelge 4.3. (devam) Çamlıdere Barajı ham su hattı analiz sonuçları

Çamlıdere Barajı Ham Su Hattı					Numune Dönemi	Şubat 2020	Mayıs 2020	Nisan 2021
Parametre	Birim	Sınır Değerler ¹			Analiz Metodu	Analiz Sonucu		
		A1	A2	A3				
Nikel	µg/L	20	30	200	TS EN ISO 17294 1-2	9	6,35	8,57
Nitrat	mg/L	50	-	330	TS EN 10304-1	1,88	1,49	<0,2
Nitrit	mg/L	0,5	-	3,33	TS EN 10304-1	<0,1	<0,1	<0,1
Siyanür	µg/L	50	-	125	SM 4500-CN C/E	<1	<1	<1
Sülfat	mg/L	250	-	1 250	TS EN 10304-1	<40	11,44	10,84
Toplam Organik Karbon	mg/L	4	4,7	10	TS 8195 EN 1484	4,37	7,41	4,04

İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmeliğin 6. maddesinde yer alan kalite sınıflandırmalarına göre Çamlıdere Barajı suyu A2 sınıfındadır. Barajda TOK değerleri 4,37 mg/L, 7,41 mg/L ve 4,04 mg/L olarak ölçülmüştür. İşletme tarafından geçmiş dönemlerde yapılan ham su TOK analizlerinde de su seviyesine ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değerler 3 mg/L ile 11 mg/L arasında değişmekte olup yıllık TOK değeri ortalaması yaklaşık 5 mg/L'dir. Barajdan tesise organik yük gelmektedir. Organik karbon değeri şebekedeki mikroorganizmalar için önemli bir besin kaynağı olup şebekede tutunmalarını ve çoğalmalarını tetiklemektedir. Tesis girişindeki ham suların alkalinite ve sertlik değerleri de Çizelge 4.4'te verilmiştir:

Çizelge 4.4. Ham su hattı alkalinite ve sertlik değerleri

Tesis Girişi Ham Su Hattı	
P Alkalinite (CaCO ₃)	0 mg/L
M Alkalinite (CaCO ₃)	75 mg/L
Toplam Sertlik (CaCO ₃)	78 mg/L

Kalsiyum karbonat konsantrasyonu 60 mg/L'nin altında olan sular genellikle yumuşak, 60-120 mg/L arası sular orta derecede sert; 120-180 mg/L arası sular sert ve 180 mg/L'den fazla olan sular çok sert olarak kabul edilmektedir [94]. Buna göre ham su orta sert sınıftadır.

¹A1: Basit fiziksel arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

A2: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

A3: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular

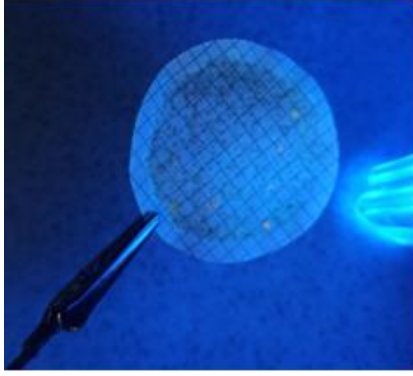
Sert sınıftaki suların içerdği mineraller de zamanla boru yüzeylerinde birikinti ve tortu oluşturabilmektedir. Yüksek alkalinite değerleri de borularda tortu oluşumunu tetiklemektedir.

Mikrobiyolojik analizlerde ise ham suya ait numuneler %50 seyreltildiğinden, besiyerinde sayılan kolonilerin sayısı ikiyle çarpılmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Ham su (1. nokta) mikrobiyolojik analiz sonuçları

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Seyreltme Katsayısı	Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
1. Nokta (Ham Su)	Yeast	Toplam Koloni	0,5	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0,5	120
	Azide	Enterokok	0,5	10
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,5	14
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5	200
	Endo	<i>E. coli</i>	0,5	112
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0,5	4

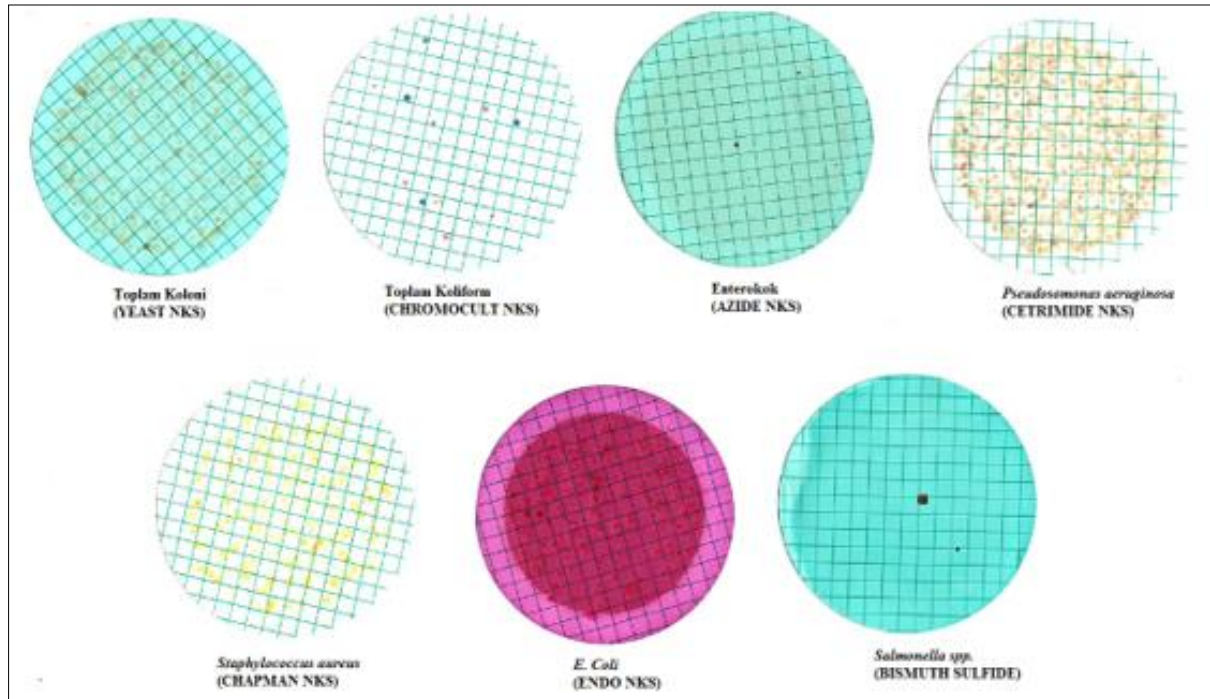
Buna göre ham suda Yeast NKS üzerinde 200'ün üzerinde toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Chromocult NKS üzerinde yapılan toplam koliform analizi sonucu 120 CFU/250 mL, Azide NKS üzerinde gelişen enterokok sayısı 10 CFU/250 mL, Cetrimide NKS üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* sayısı 14 CFU/250 mL olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Resim 4.1'de UV lambası altında ışıma yapmayan 200 CFU/250 mL koloni sayılmıştır. Chapman NKS'de 200'ün üzerinde *Staphylococcus aureus* kolonisi sayılmış olup sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Endo NKS üzerinde ise *E. coli* 112 CFU/250 mL (ayrıca Resim 4.2'de parlak kırmızı renkte olmayan 57 CFU/250 mL koliform kolonisi sayılmıştır) ve Bismuth Sulfide NKS üzerinde 4 CFU/250 mL *Salmonella* spp. kolonisi hesaplanmıştır (Resim 4.3).



Resim 4.1. Ham suda UV lambası altında ışıma veren *Pseudomonas aeruginosa* kolonileri



Resim 4.2. Parlak kırmızı renkteki *E. coli* ve parlak olmayan koliform kolonileri (Ham su)



Resim 4.3. Ham suda tespit edilen türler

Ham su hattı malzemesi polietilen olup eski bir hattır. Herhangi bir arıtma veya dezenfeksiyon olmadığı için tüm türlere rastlanmıştır.

2. Nokta: İçme Suyu Arıtma Tesisi Çıkışı

2. nokta içme suyu arıtma tesisi arıtılmış su deposu çıkış noktası olup PE hat üzerinden numune alınmıştır (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Tesisat yaşı II. kategoridir. İçme suyu arıtma tesisinin çıkışından şebekeye verilen sudan da farklı zamanlarda numuneler alınmış ve su kalitesi incelenmiştir (Çizelge 4.6). Ayrıca arıtma tesisi çıkışında bulunan arıtılmış su deposu hattından da mikrobiyolojik örnekler alınmıştır. Öncelikle şebekeye verilen sudan numune musluğu vasıtasıyla numune alınmış, daha sonra boru bağlantı noktasından sökülerek boru yüzeyinden numune alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.6. İçme suyu arıtma tesisi çıkışı (2. nokta) su kalite değerleri

Parametre	Tarih	Şubat 2020	Mayıs 2020	Mayıs 2021
	Birim	Sonuç	Sonuç	Sonuç
Görünüş		Berrak	Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal	Normal
Tat		Normal	Normal	Normal
Renk	Pt/Co	<1	<1	<1
Bulanıklık	NTU	0,09	0,11	0,1
pH		7,45	7,61	7,41
P Alkalinite (CaCO ₃)	mg/L	0	0	0
M Alkalinite (CaCO ₃)	mg/L	70	61	58
Toplam Sertlik (CaCO ₃)	mg/L	86	75	78
Demir (Fe)	µg/L	<10	<10	27
Aluminyum (Al)	µg/L	<0,02	<0,02	<0,02
Amonyum (NH ₄)	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02
Kadmiyum (Cd)	µg/L	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrat (NO ₃)	mg/L	1,63	1,36	1,61

Çizelge 4.6. (devam) İçme suyu arıtma tesisi çıkışı (2. nokta) su kalite değerleri

Parametre	Tarih	Şubat 2020	Mayıs 2020	Mayıs 2021
	Birim	Sonuç	Sonuç	Sonuç
Nitrit (NO ₂)	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05
Serbest Klor (Cl ₂)	mg/L	0,68	0,86	0,86
Klorür (Cl)	mg/L	17,6	21,5	26,2
Sülfat (SO ₄)	mg/L	<40	<40	<40
Krom (Cr)	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03
Mangan (Mn)	µg/L	<0,02	<0,02	<0,02
Nikel (Ni)	µg/L	<0,02	<0,02	<0,02
Bakır (Cu)	µg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Permanganat İnd. (O ₂)	mg/L	0,52	1,76	1,13
Florür (F)	µg/L	<200	<200	<200
Çinko (Zn)	µg/L	1,91	2,63	1,81
Siyanür (Cn)	µg/L	<0,01	<0,01	<0,01
İletkenlik	µS/cm	266	246	248
Arsenik (As)	µg/L	<0,01	<0,01	<0,01
Bor (B)	µg/L	<0,01	<0,05	<0,05
TOK	mg/L	3,23	5,18	3,35

Analiz sonuçlarına göre içme suyu arıtma tesisi çıkış suyu “Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” sınır değerlerine ve “TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular” standardına uygundur. WHO sertlik sınıflandırılmasına göre şebeke suyu orta sert sınıftadır. Sert sınıftaki suların içerdiği mineraller de zamanla boru yüzeylerinde birikinti ve tortu oluşturabilmektedir. Yüksek alkalinite değerleri de borularda tortu oluşumunu tetiklemektedir.

Şebeke suyunda TOK değerleri dönemsel olarak değişmekle birlikte 3 mg/L’nin altına düşmemektedir. Mayıs 2021 döneminde ham sudan, arıtma tesisi çıkışından, şebekenin orta noktasından (6. Nokta) ve son noktasından (22. Nokta) numune alınmış ve TOK değerlerinin şebekedeki durumu incelenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Ham su, arıtma tesisi çıkışı ve şebeke suyu TOK değerleri

Ham su ve şebeke TOK değerleri (mg/L)				
Numune Dönemi	Ham Su	Arıtma Tesisi Çıkışı	Şebeke No.6 (Orta Nokta)	Şebeke No.22 (Son Nokta)
Mayıs 2021	4,37	3,35	3,66	3,45

İçme suyu arıtma tesisinde organik karbon için bir giderim ünitesi (ozonlama, membran filtre vs.) bulunmamaktadır. Bu nedenle ham sudaki organik karbon kısmi bir giderimle şebekeye ulaşmakta ve şebeke suyuna organik yük getirmektedir. Yüksek organik karbon değeri şebekedeki mikroorganizmalar için önemli bir besin kaynağı olup şebekede tutunmalarını ve çoğalmalarını tetiklemektedir.

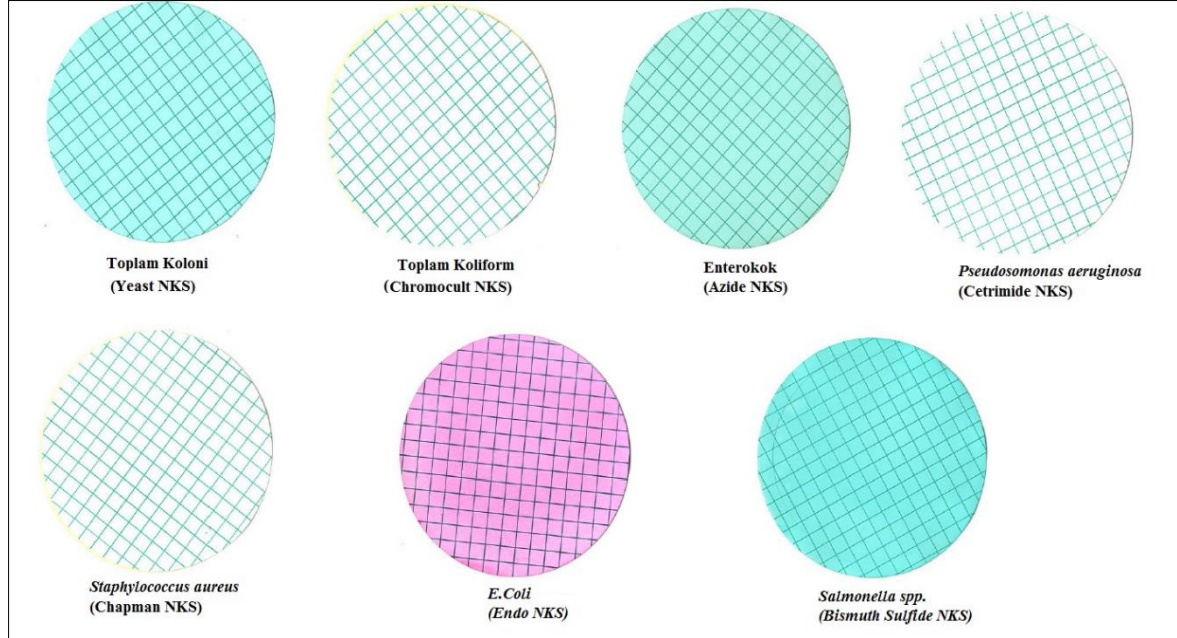
Arıtma tesisi çıkış borusu PE olup tesis çıkışında boru yüzeyinde birikime rastlanmamıştır. Öncelikle arıtılmış su numune musluğundan numune alınmıştır. Bu numuneler “Öncesi” olarak adlandırılmıştır. Daha sonra boru bağlantı noktası sökülmüş ve boru yüzeyi kazınarak yüzeyden numune alınmıştır. Bu numuneler de “Sonrası” olarak adlandırılmıştır. Bu şekilde yüzeydeki oluşumların su kalitesine fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkileri gözlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.8’de verilmiştir:

Çizelge 4.8. (2. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	79	78
M.Alkalinite	mg/L	55	58
Demir	µg/L	11	27
Bulanıklık	NTU	0,1	0,1
pH		7,4	7,41

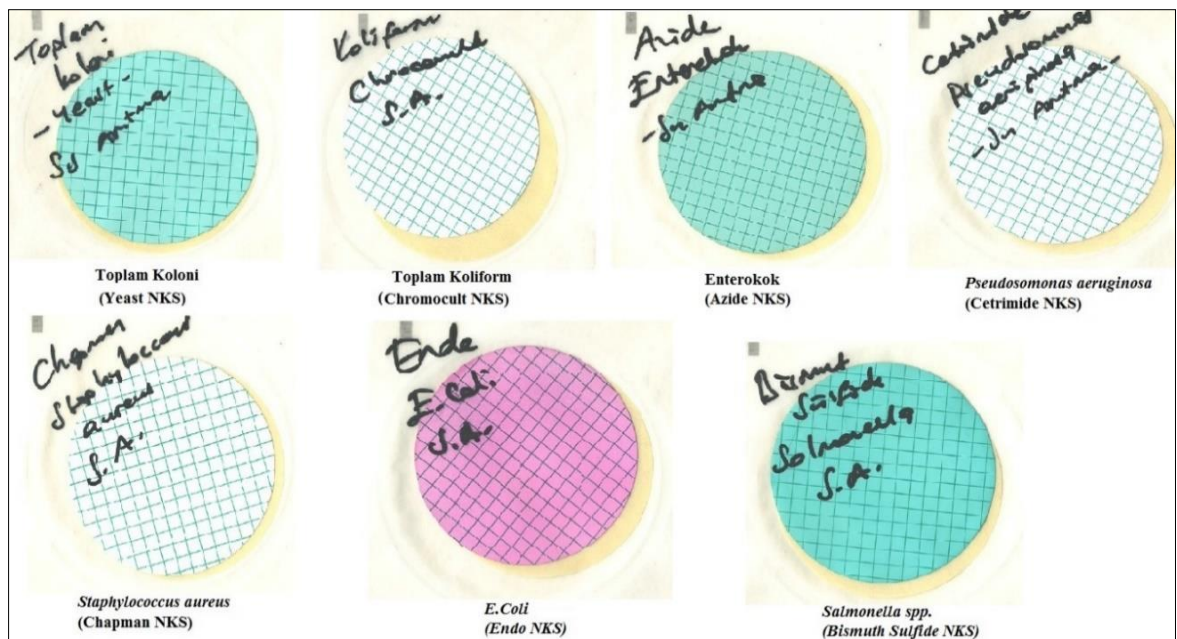
2. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde sadece boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir parametresinde kısmi bir yükselme görülmüş, genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Demir değerindeki artış ihmal edilebilir seviyededir.

Mikrobiyolojik açıdan yapılan incelemede ise 2. noktada boru sökölmeden önce normal akan sudan alınan numunelerde yapılan inkübasyon neticesinde Resim 4.4’de yer alan sonuçlar elde edilmiştir:



Resim 4.4. (2. Nokta) Öncesi mikrobiyolojik sonuçlar

2. noktada boru sökölüp boru yüzeyi kazındıktan sonra akan sudan alınan numunelerde yapılan inkübasyon neticesinde Şekil 4.5’te yer alan sonuçlar elde edilmiştir:



Resim 4.5. (2. Nokta) Sonrası mikrobiyolojik sonuçlar

2. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde suyun mikrobiyolojik kalitesinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Sonuçlar Çizelge 4.9’da yer almaktadır:

Çizelge 4.9. (2. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
2. Nokta (Arıtma Tesisi Çıkışı)	Yeast	Toplam Koloni	0	0
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella spp.</i>	0	0

Arıtma tesisi çıkışında öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde herhangi bir mikrobiyolojik çoğalma tespit edilmemiştir. Arıtma tesisi çıkışında yüksek dozda klorlama yapılması, suyun akış hızının yüksek olması, boruda tortu ve birikinti oluşumunun olmaması ve mikroorganizmaların yüzeyde tutunması için gerekli sürenin olmamasından dolayı herhangi bir çoğalmanın olmadığı değerlendirilmektedir. Arıtma tesisi çıkışında suyun fiziksel ve kimyasal kalitesi de korunmaktadır.

3. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 3 Nolu Bina

3. nokta arıtma tesisine yakın şebeke hattı üzerinde 1. şebeke bölgesinde olan bir bina olup boru türü PPRC, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler iç tesisattan alınmıştır. Boruda kayda değer bir tortu oluşumu ya da birikim gözlemlenmemiştir. Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.10’da verilmiştir:

Çizelge 4.10. (3. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	86	86
M.Alkalinite	mg/L	70	75
Demir	µg/L	10	20
Bulanıklık	NTU	0,09	0,12
pH		7,45	7,45

3. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir değerinin 20 µg/L'ye çıktığı tespit edilmiştir. Ancak su kalite sınır değerleri göz önüne alındığında demir değerindeki artış ihmal edilebilir seviyededir. Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. 3. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde suyun mikrobiyolojik kalitesinde de herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Sonuçlar Çizelge 4.11'de yer almaktadır:

Çizelge 4.11. (3. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
3. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	0
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

PPRC tesisat borusuna sahip 3. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde herhangi bir mikrobiyolojik çoğalma tespit edilmemiştir. Noktanın arıtma tesisine yakın olması, tesisat yaşının II. kategoride olması, boruda tortu ve birikinti oluşumunun olmaması ve kullanılan tesisat boru türünden dolayı herhangi bir çoğalmanın olmadığı değerlendirilmektedir.

4. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 4 Nolu Bina

4. nokta arıtma tesisine yakın şebeke hattı üzerinde 1. şebeke bölgesinde olan bir bina olup boru türü PPRC, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler iç tesisattan alınmıştır. Boruda kayda değer bir tortu oluşumu ya da birikim gözlemlenmemiştir. Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.12’de verilmiştir:

Çizelge 4.12. (4. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	89	89
M.Alkalinite	mg/L	58	57
Demir	µg/L	10	20
Bulanıklık	NTU	0,1	0,1
pH		7,55	7,54

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir değerinin 20 µg/L’ye çıktığı tespit edilmiştir. Ancak su kalite sınır değerleri göz önüne alındığında demir değerindeki artış ihmal edilebilir seviyededir. Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

4. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde suyun mikrobiyolojik kalitesinde de herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Sonuçlar Çizelge 4.13'te yer almaktadır:

Çizelge 4.13. (4. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
4. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	0
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

PPRC tesisat borusuna sahip 4. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde herhangi bir mikrobiyolojik çoğalma tespit edilmemiştir. Noktanın arıtma tesisine yakın olmasından, tesisat yaşının II. Kategoride olmasından, boruda tortu ve birikinti oluşumunun olmamasından ve kullanılan tesisat boru türünden dolayı herhangi bir çoğalmanın olmadığı değerlendirilmektedir.

5. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 5 Nolu Bina

5. nokta arıtma tesisine yakın şebeke hattı üzerinde 1. şebeke bölgesinde olan bir bina olup boru türü galvaniz metal, tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler iç tesisattan alınmıştır. Boru bağlantı noktası tesisatın eski olmasından dolayı boruya kaynamış vaziyettedir. Bu nedenle tesisata zarar vermemek için boru sökülmemiş, musluk ağzından içeri doğru çubukla yüzey kazınarak numune alınmıştır (Resim 4.6).



Resim 4.6. (5. nokta) Numune alınan musluk

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.14'te verilmiştir:

Çizelge 4.14. (5. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Hafif Bulanık
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	79	80
M.Alkalinite	mg/L	55	72
Demir	µg/L	10	57
Bulanıklık	NTU	0,1	0,59
pH		7,5	7,51

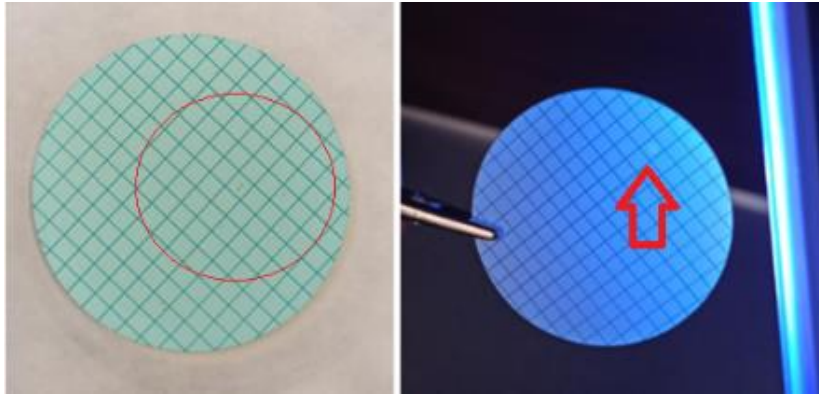
5. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde musluk ağzından boru yüzeyi kazınarak alınan numunede demir değerinin 57 µg/L'ye çıktığı tespit edilmiştir. Bulanıklık değeri ise 0,59 NTU'ya yükselmiştir. Suda hafif bulanık görüntü gözlemlenmiştir. Genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde kısmi bir bozulma meydana gelmiştir.

Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.15'te yer almaktadır:

Çizelge 4.15. (5. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
5. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	13
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	1
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

5. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde toplam koloni sayısı 13 CFU/250 mL ve Cetrimide NKS üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* sayısı 1 CFU/250 mL olarak tespit edilmiştir (Resim 4.7). Diğer besiyerlerinde çoğalma olmamıştır.

Resim 4.7. Tespit edilen toplam koloni (solda) ve *Pseudomonas aeruginosa* (sağda)

Tespit edilen toplam koloni sayısı boru yüzeyinde biyofilm oluştuğunun göstergesidir. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmde içinde yaşayabilmektedir. Şebeke yaşı III. kategori olup eski bir şebekedir. Borudaki korozyon

nedeniyle boru bağlantı yeri boruya kaynamıştır. Galvaniz boru korozyonu belirgin bir şekilde görünmektedir. Bu tür korozyona uğramış galvaniz borularda bağlantı yerinden boru sökülmeye çalışıldığı zaman boru tamamen kopabilmekte ve deforme olabilmektedir. Bu nedenle korozyona uğrayan boru sökülememiş ve boru yüzeyi gözlemlenememiştir. Numune ancak musluk ağzından alınabilmektedir. Ancak boru yüzeyinin içinde daha fazla birikim ve biyofilm varlığı tahmin edilmektedir.

6. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 6 Nolu Bina

6. nokta şebekenin orta noktasında 2. şebeke bölgesinde olan bir bina olup boru türü PE, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler giriş kollektöründen alınmıştır. Boru yüzeyinde tortu gözlemlenmemiş ancak ince jelimsi bir oluşum tespit edilmiştir (Resim 4.8). Numune alım çalışması esnasında kollektöre gelen boru hattında bir su sızıntısı tespit edilmiştir. Borudan sızan su toprakta birikmekte, daha sonra kollektöre yakın bir noktada ters basınçla toprakta süzülen çevre suları tekrar boru hattına girmektedir.



Resim 4.8. (6. nokta) Numune alınan boru yüzeyi

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.16’da verilmiştir:

Çizelge 4.16. (6. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Hafif Bulanık
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	77	77

Çizelge 4.16. (devam) 6. nokta Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
M.Alkalinite	mg/L	57	66
Demir	µg/L	36	40
Bulanıklık	NTU	0,44	0,78
pH		7,55	7,53

6 nolu noktada numune alınan bölgede, öncesi ve sonrası olarak alınan numuneler kıyaslandığında, sonrası olarak adlandırılan numunenin toplam alkalinite ve bulanıklık değerlerinde kısmi bir yükseliş tespit edilmiştir.

Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.17’de yer almaktadır:

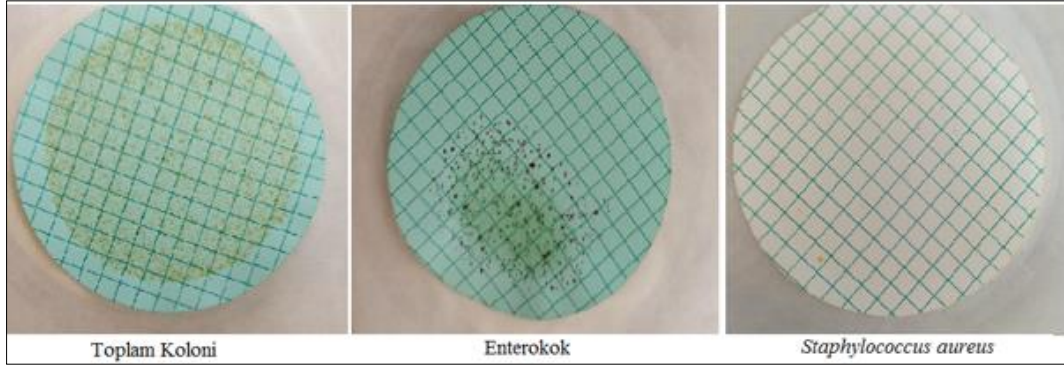
Çizelge 4.17. (6. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
6. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	200
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	1
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	32
	Endo ¹	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

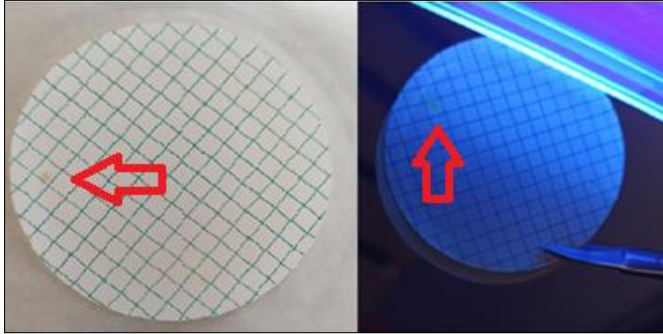
6. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200’den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır.

¹ Endo NKS üzerinde diğer koliform türlerine ait mat kırmızı renkli 200’den fazla çoğalma tespit edilmiştir.

Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Toplam koliform gelişmemiştir. Azide NKS üzerinde gelişen enterokok sayısı 200'den fazla olup sonuç 200 CFU/250 mL olarak hesaplanmıştır. Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 32 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.9). Ceftrimide NKS üzerinde *Pseudomonas aeruginosa* 1 CFU/250 mL olarak tespit edilmiştir (Resim 4.10).

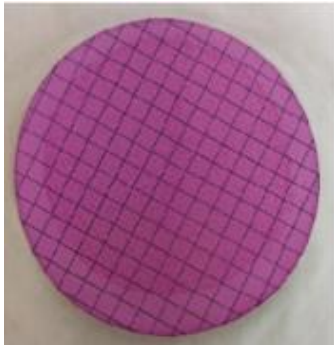


Resim 4.9. (6 nolu bina) Şebekede tespit edilen türler



Resim 4.10. UV lambası altında ışıma veren *Pseudomonas aeruginosa*

E. coli ve *Salmonella* spp. gelişmesi olmamıştır. Ancak Endo NKS üzerinde diğer koliform türlerine ait mat kırmızı renkli 200'den fazla çoğalma olmuştur (Resim 4.11).



Resim 4.11. Endo NKS üzerindeki diğer koliform türleri

6 nolu numune noktasında şebeke yaşı II. kategoride (orta yaş) ve boru türü PE'dir. Boru içinde demir bazlı tortu oluşumu tespit edilmese de boru yüzeyinde jelimsi biyofilm tabakası varlığı gözlemlenmiştir.

Şebekedeki patlak ve topraktaki suyun ters basınçla tekrar şebekeye girmesinden dolayı çevresel bakterilerin tekrar şebekeye giriş yaptığı ve boru yüzeyinde jelimsi biyofilm tabakası oluşturduğu düşünülmektedir. Yüksek toplam koloni sayısı da boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Çizelge 4.7'de yer aldığı üzere bu noktada TOK değeri 3,66 mg/L olarak ölçülmüştür. Şebekedeki organik madde miktarı mikroorganizmaların biyofilm oluşturmaları ve çoğalması için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu noktada şebeke dal modeli (branch) olduğu için (Şekil 3.3) borularda ölü noktalar da oluşmaktadır.

Pseudomonas aeruginosa klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Enterokoklar da klora ve kimyasallara nispeten daha dayanıklıdır. Bu nedenle arıtma ünitelerinden arta kalanları biyofilmler içinde çoğalabilmektedir. Ayrıca topraktan da şebekeye girebilmektedir. Strafilokoklar klora *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. Enterokok ve strafilokokların şebekeye ters basınçla topraktan girebileceği düşünülmektedir.

6. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini önemli ölçüde bozmuş, patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

7. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 7 Nolu Bina

7. noktada numune şebeke üzerinde giriş kolektöründe PE hat üzerinden alınmıştır. Şebekenin orta noktasında 2. şebeke bölgesinde bulunan binada tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Boruda kayda değer bir tortu oluşumu ya da birikim gözlemlenmemiştir (Resim 4.12).



Resim 4.12. (7. Nokta) Numune alınan PE kollektör

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.18’de gösterilmiştir:

Çizelge 4.18. (7. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	86	78
M.Alkalinite	mg/L	57	64
Demir	µg/L	20	28
Bulanıklık	NTU	0,4	0,62
pH		7,54	7,55

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir değerinin 28 µg/L’ye, bulanıklığın da 0,4 NTU’dan 0,6 NTU’ya çıktığı tespit edilmiştir. Ancak su kalite sınır değerleri göz önüne alındığında değerlerdeki artış ihmal edilebilir seviyededir. Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Suyun mikrobiyolojik kalitesine ilişkin sonuçlar da Çizelge 4.19’da yer almaktadır:

Çizelge 4.19. (7. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
7. Nokta Şebeke	Yeast ¹	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	2
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

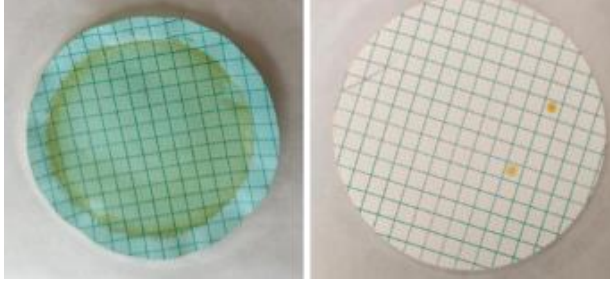
7. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır.

Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde sarı renkli 200'den fazla koloni sayılmıştır. Bu nedenle sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır (Resim 4.13).

Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 2 CFU/250 mL olmuştur. Diğer türlerde herhangi bir çoğalma olmamıştır.

Bina yaşının II. kategoride (orta yaşlı) olmasına rağmen hattın PE olması, ana kollektör üzerinden numune alınması, ana kollektörde su akışının ve hareketinin fazla olması nedeniyle biyofilm oluşumunun ve patojen mikroorganizma sayısının daha düşük olduğu, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmadığı değerlendirilmiştir.

¹ Yeast NKS üzerinde sarı renkli 200'ün üzerinde koloni sayılmıştır.



Resim 4.13. Toplam koloni (solda) ve *Staphylococcus aureus* kolonileri (sağda)

8. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 8 Nolu Bina

8. noktada numune şebeke üzerindeki PPRC iç tesisattan, WC musluğu sökülerek alınmıştır (Resim 4.14). 2. Şebeke bölgesinde olan binanın tesisat yaşı I. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Boruda kayda değer bir tortu oluşmamış, sadece boru yüzeyinde ince bir tabaka gözlemlenmiştir.



Resim 4.14. (8. Nokta) Numune alınan WC musluğu

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.20’de gösterilmiştir:

Çizelge 4.20. (8. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	79	80
M.Alkalinite	mg/L	58	70

Çizelge 4.20. (devam) 8. nokta Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Demir	µg/L	10	26
Bulanıklık	NTU	0,1	0,42
pH		7,5	7,51

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir değerinin 26 µg/L'ye, bulanıklığın da 0,1 NTU'dan 0,4 NTU'ya çıktığı tespit edilmiştir. Ancak su kalite sınır değerleri göz önüne alındığında değerlerdeki artış ihmal edilebilir seviyededir. Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

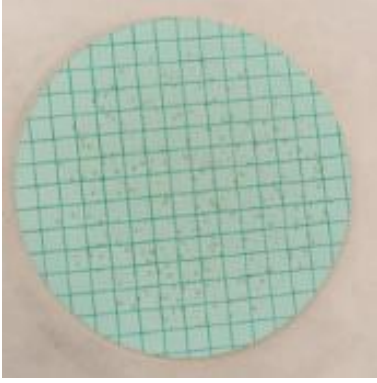
Suyun mikrobiyolojik kalitesine ilişkin sonuçlar da Çizelge 4.21'de yer almaktadır:

Çizelge 4.21. (8. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
8. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	197
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

8. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır.

Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 197 CFU/250 mL toplam koloni (jerm) sayılmıştır. (Resim 4.15). Diğer incelenen besiyerlerinde herhangi bir çoğalma olmamıştır.



Resim 4.15. (8. Nokta) Tespit edilen toplam koloniler

Numune alınan noktada tesisat yaşının I. kategori (yeni bina) olması ve hatta PPRC malzeme kullanılması nedeniyle boru yüzeyinde kayda değer bir birikim gözlenmemiştir. Ancak toplam koloni sayısı boru yüzeyinde biyofilm oluştuğunun göstergesidir. Numunenin WC'den alınması nedeniyle ortamda bulunan mikroorganizmaların negatif basınç etkisiyle boru yüzeyine ulaştığı düşünülmektedir [53].

9. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 9 Nolu Bina

9. noktada numune şebeke üzerindeki galvaniz metal iç tesisattan alınmıştır (Resim 4.16). 2. şebeke bölgesinde olan tesisatın yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Boru bağlantı noktası, tesisatın eski olmasından dolayı boruya kaynamış vaziyettedir. Bu nedenle tesisata zarar vermemek için boru sökülmemiş, musluk ağzından içeri doğru çubukla yüzey kazınarak numune alınmıştır. Bu hat içme suyu amaçlı kullanılmamakta olup sadece tesis yıkama işlemlerinde kullanma suyu olarak değerlendirilmektedir.



Resim 4.16. (9. Nokta) Numune alınan musluk

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.22’de verilmiştir:

Çizelge 4.22. (9. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

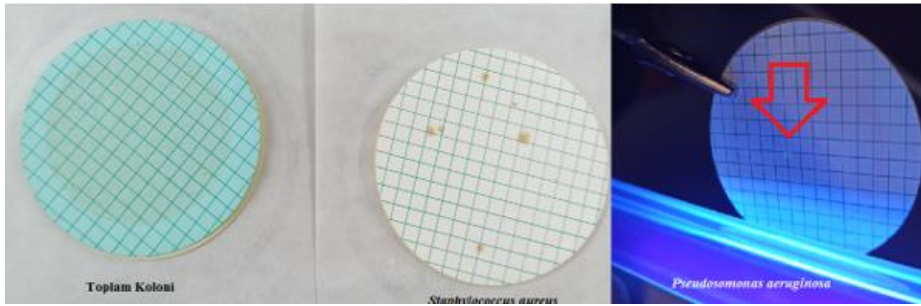
Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Hafif Bulanık
Koku		Normal	Paslı
Sertlik	mg/L CaCO ₃	79	78
M.Alkalinite	mg/L	58	70
Demir	µg/L	10	151
Bulanıklık	NTU	0,1	0,73
pH		7,5	7,51

9. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde musluk ağzından boru yüzeyi kazınarak alınan numunede demir değerinin 151 µg/L’ye çıktığı tespit edilmiştir. Bulanıklık değeri ise 0,73 NTU’ya yükselmiştir. Suda hafif bulanık görüntü gözlemlenmiştir. Genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde kısmi bir bozulma meydana gelmiştir. Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.23’te yer almaktadır:

Çizelge 4.23. (9. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
9. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	2
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	7
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

9. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200'den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Ceftrimide NKS üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* sayısı 2 CFU/250 mL olarak tespit edilmiştir. Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 7 CFU/250 mL olmuştur (Şekil 4.17). Diğer türlerde çoğalma olmamıştır.



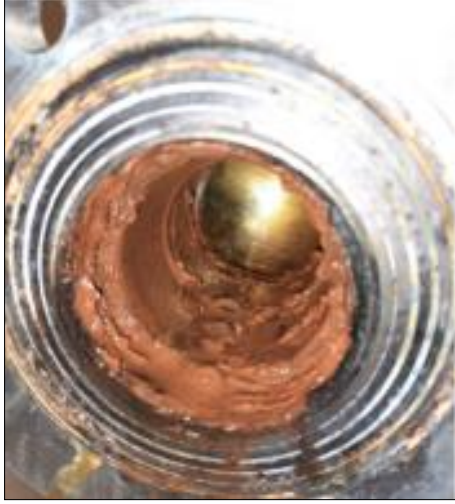
Resim 4.17. (9. nokta) Tespit edilen türler

Tespit edilen yoğun toplam koloni sayısı boru yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Strafilokoklar klora *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. Bu türün şebekeye çevresel etmenlerden (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) girdiği düşünülmektedir. Şebeke yaşı III. kategori olup eski bir şebekedir. Borudaki korozyon nedeniyle boru bağlantı yeri boruya kaynamıştır. Galvaniz boru korozyonu belirgin bir şekilde görünmektedir. Bu tür korozyona uğramış galvaniz borularda bağlantı yerinden boru sökülmeye çalışıldığı zaman boru tamamen kopabilmekte ve deforme olabilmektedir. Bu nedenle korozyona uğrayan boru sökülemediği ve boru yüzeyi gözlemlenememiştir. Numune ancak musluk ağzından alınabilmektedir. Ancak boru yüzeyinin içinde daha fazla birikim ve biyofilm varlığı tahmin edilmektedir.

10. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 10 Nolu Bina

10. nokta şebekenin 2. bölgesinde olan bir bina olup boru türü galvaniz metal, tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Şebeke üzerindeki en eski binalardan biridir.

Numuneler bina giriş kollektöründen alınmıştır (Resim 4.18). Boru yüzeyinde yoğun tortu ve birikinti gözlemlenmiştir.



Resim 4.18. Numune alınan 10. noktada boru içi birikinti

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.24’te verilmiştir:

Çizelge 4.24. (10. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Bulanık
Koku		Normal	Paslı
Sertlik	mg/L CaCO ₃	80	77
M.Alkalinite	mg/L	64	66
Demir	µg/L	24	539
Bulanıklık	NTU	0,21	1,78
pH		7,55	7,55

10 nolu noktadan, normalde musluktan akan ve “Öncesi” olarak adlandırılan suyun demir değeri 24 µg/L, bulanıklığı ise 0,21 NTU iken kollektör borusu bağlantı noktasından sökülerek galvaniz boru yüzeyindeki birikintinin karıştırılmasından sonra alınan ve “Sonrası” olarak adlandırılan numunenin demir değeri 539 µg/L’ye, bulanıklık değeri ise 1,78 NTU’ya yükselmektedir. Her iki değer de ilgili yönetmelik ve standart değer

üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur. Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.25'te yer almaktadır:

Çizelge 4.25. (10. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
10. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult ¹	Toplam Koliform	0	200
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	7
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	12
	Endo	<i>E. coli</i>	0	200
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

10. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200'den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır.

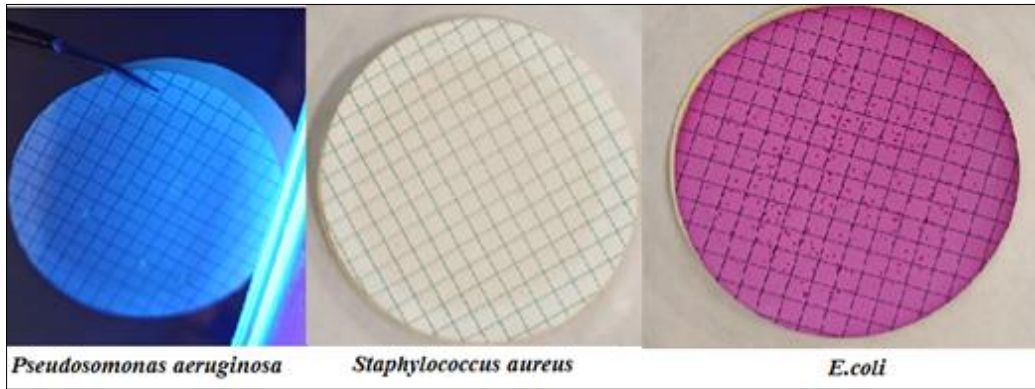
Chromocult NKS üzerinde ise numunenin aşırı paslı olmasından dolayı membran filtre kâğıdındaki sonuçlarda 200'ün üzerinde koloni sayılabilmektedir. Bu nedenle toplam koliform 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Endo NKS üzerinde gelişen *E. coli* sayısı 200'den fazla olup sonuç 200 CFU/250 mL olarak hesaplanmıştır.

Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı 12 CFU/250 mL, Cetrimide üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* koloni sayısı ise 7 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.19 ve 4.20). *Salmonella* türleri klora karşı dayanıksız olduğu için çoğalma tespit edilmemiştir.

¹Besiyerinde 200'ün üzerinde koloni sayılmıştır



Resim 4.19. (10. Nokta) Tespit edilen türler – 1



Resim 4.20. (10. Nokta) Tespit edilen türler – 2

10 nolu numune noktasında şebeke yaşı 15 yılın üzerindedir. Boru türü galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Yüksek toplam koloni sayısı da boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Galvaniz metal boru da yapısı gereği daha hızlı korozyona uğramakta ve mikroorganizmaların biyofilm oluşturabileceği bir yüzey meydana getirmektedir. Şebekedeki organik madde miktarı mikroorganizmaların biyofilm oluşturması ve çoğalması için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Strafilokoklar klora *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. Strafilokokların şebekeye çevresel etmenlerden de (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) girebileceği düşünülmektedir. *E. coli* klora dayanıksız olsa da zamanında eski boru hattına sahip şebekeye girmiş ve biyofilm içine yerleşmiş türlerin dezenfeksiyondan kaçabileceği, bu nedenle numunelerde ortaya çıktığı düşünülmektedir.

10. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini önemli ölçüde bozmuş, patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

11. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 11 Nolu Bina

11. nokta şebekenin 2. bölgesinde olan bir bina olup boru türü PPRC, tesisat yaşı I. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina iç tesisatından alınmıştır. Boru yüzeyinde herhangi bir tortu veya birikinti gözlemlenmemiştir. Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.26’da verilmiştir:

Çizelge 4.26. (11. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	79	79
M.Alkalinite	mg/L	60	65
Demir	µg/L	14	16
Bulanıklık	NTU	0,3	0,33
pH		7,5	7,51

11. noktada öncesi ve sonrası olarak yapılan analizlerde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.27’de yer almaktadır:

Çizelge 4.27. (11. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
11. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	0
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0

Çizelge 4.27. (devam) 11. Nokta Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
11. Nokta Şebeke	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

PPRC tesisat borusuna sahip 11. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde herhangi bir mikrobiyolojik çoğalma tespit edilmemiştir. Tesisat yaşının I. kategoride (yeni bina) olmasından, boruda tortu ve birikinti oluşumunun olmamasından ve kullanılan tesisat boru türünden dolayı herhangi bir çoğalmanın olmadığı değerlendirilmektedir.

12. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 12 Nolu Bina

12. nokta şebekenin 2. bölgesinde olan bir bina olup boru türü galvaniz metal, tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Şebeke üzerindeki en eski binalardan biridir. Numuneler bina iç tesisatında su sayacı sökülerek alınmıştır (Resim 4.21). Boru yüzeyinde yoğun tortu ve birikinti olduğu, su sayacı girişindeki pislik tutucu filtrenin de deforme olduğu ve tam çalışmadığı gözlemlenmiştir. Sayaç girişindeki pislik tutucu, şebekede olası katı parçacıkların iç tesisata girmesini ve sayaç mekanizmasına zarar vermesini engellemektedir.



Resim 4.21. Numune alınan boru yüzeyi

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.28’de verilmiştir:

Çizelge 4.28. (12. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Normal	Çok Bulanık
Koku		Normal	Paslı
Sertlik	mg/L CaCO ₃	77	76
M.Alkalinite	mg/L	59	58
Demir	µg/L	46	656
Bulanıklık	NTU	0,44	5,28
pH		7,55	7,55

12 nolu noktada, normalde musluktan akan ve “Öncesi” olarak adlandırılan suyun demir değeri 46 µg/L, bulanıklığı ise 0,44 NTU iken, galvaniz tesisat borusunun su sayaç bağlantı noktasından sökülerek boru yüzeyindeki birikintinin karıştırılmasından sonra alınan ve “Sonrası” olarak adlandırılan numunenin demir değeri 656 µg/L’ye, bulanıklık değeri ise 5,28 NTU’ya yükselmektedir. Her iki değer de ilgili yönetmelik ve standart değerlerin üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur. Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.29’da yer almaktadır:

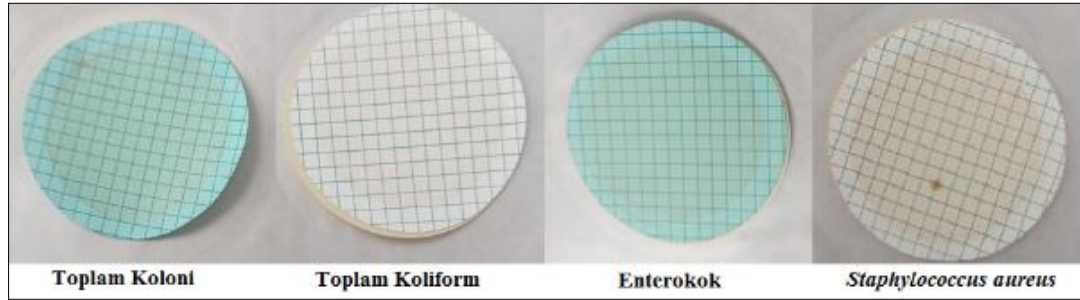
Çizelge 4.29. (12. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
12. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	1
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	2

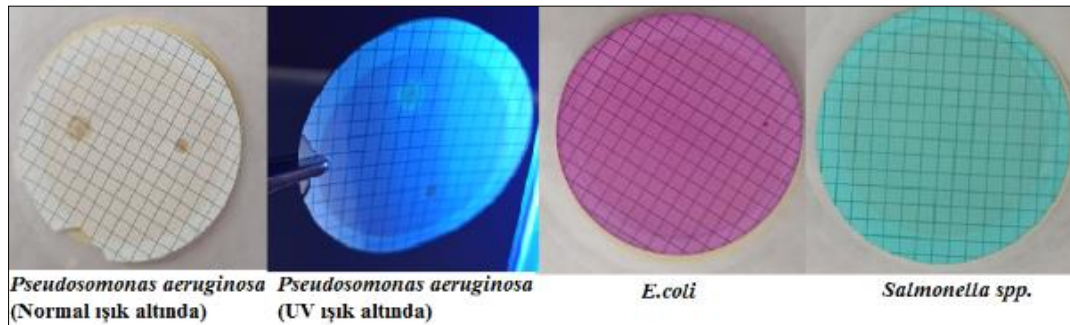
Çizelge 4.29. (devam) 12. nokta Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
12. Nokta Şebeke	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	1
	Endo	<i>E. coli</i>	0	1
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

12. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200’den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Toplam koliform sayısı 1 CFU/250 mL olarak belirlenmiştir. Cetrimide üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* koloni sayısı 2 CFU/250 mL, Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 1 CFU/250 mL olmuştur. Endo NKS üzerinde gelişen *E. coli* sayısı 1 CFU/250 mL olarak hesaplanmıştır (Resim 4.22). Diğer türlerde çoğalma olmamıştır. Tüm membran filtre kâğıtlarında pas kalıntıları tespit edilmiştir (Resim 4.23).



Resim 4.22. (12. nokta) Tespit edilen türler – 1



Resim 4.23. (12. nokta) Tespit edilen türler – 2

12 nolu numune noktasında şebeke yaşı 15 yılın üzerindedir. Boru türü galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Yüksek toplam koloni sayısı da boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Galvaniz metal boru yapısı gereği daha hızlı korozyona uğramakta ve mikroorganizmaların biyofilm oluşturabileceği bir yüzey meydana getirmektedir. Şebekedeki organik madde miktarı mikroorganizmaların biyofilm oluşturmaları ve çoğalmaları için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Strafilokoklar klora *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. Strafilokokların şebekeye çevresel etmenlerden de (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) girebileceği düşünülmektedir. *E. coli* klora dayanıksız olsa da zamanında eski boru hattına sahip şebekeye girmiş ve biyofilm içine yerleşmiş türlerin dezenfeksiyondan kaçabileceği, bu nedenle numunelerde ortaya çıktığı düşünülmektedir.

12. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini önemli ölçüde bozmuş, patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

13. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 13 Nolu Bina

13. nokta şebekenin 2. bölgesinde olan bir bina olup boru türü galvaniz metal, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina iç tesisatında su sayacı sökülerek alınmıştır. Boru yüzeyinde tortu ve birikinti olduğu gözlemlenmiştir (Resim 4.24).



Resim 4.24. Numune alınan boru yüzeyi

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.30’da verilmiştir:

Çizelge 4.30. (13. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Bulanık
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	76	78
M.Alkalinite	mg/L	50	51
Demir	µg/L	30	134
Bulanıklık	NTU	0,4	1,29
pH		7,5	7,51

13 nolu noktada, galvaniz tesisat borusundan öncesi olarak alınan numunenin demir değeri 30 µg/L, bulanıklığı ise 0,4 NTU iken, sonrası olarak alınan numunenin demir değeri 134 µg/L’ye, bulanıklık değeri ise 1,29 NTU’ya yükselmektedir. Demir değeri ilgili yönetmelik ve standart değere uygunken bulanıklık değeri sınır olan 1 NTU’nun üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur.

Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.31’de yer almaktadır:

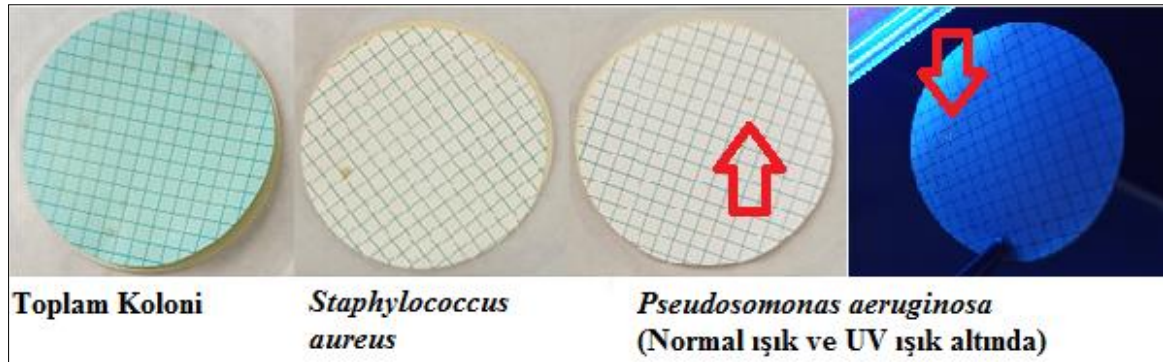
Çizelge 4.31. (13. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
13. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	1

Çizelge 4.31. (devam) 13. nokta Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
13. Nokta Şebeke	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	1
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

13. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200’den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Cetrimide üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* koloni sayısı 1 CFU/250 mL, Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 1 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.25). Diğer türlerde herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.25. Tespit edilen türler

13. noktada şebeke yaşı II. kategori (5-15 yıl arası) olup boru türü galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Yüksek toplam koloni sayısı da boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Galvaniz metal boru yapısı gereği daha hızlı korozyona uğramakta ve mikroorganizmaların biyofilm oluşturabileceği bir yüzey meydana getirmektedir. Şebekedeki organik madde miktarı mikroorganizmaların biyofilm oluşturması ve çoğalması için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon

aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Strafilokoklar klorla *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. Strafilokokların şebekeye çevresel etmenlerden de (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) girebileceği düşünülmektedir.

13. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini bozmuş, bazı patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

14. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 14 Nolu Bina

14. nokta şebekenin 2. bölgesinde olan bir bina olup boru türü galvaniz metal, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina iç tesisatında su sayacı sökülerek alınmıştır. Boru yüzeyinde tortu ve birikinti olduğu gözlemlenmiştir (Resim 4.26).



Resim 4.26. Numune alınan boru yüzeyi

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.32’de verilmiştir:

Çizelge 4.32. (14. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Bulanık
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	78	78
M.Alkalinite	mg/L	63	70
Demir	µg/L	26	151

Çizelge 4.32. (devam) 14. nokta Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Bulanıklık	NTU	0,21	1,23
pH		7,55	7,55

14. noktada, galvaniz tesisat borusundan öncesi olarak alınan numunenin demir değeri 26 µg/L, bulanıklığı ise 0,21 NTU iken, sonrası olarak alınan numunenin demir değeri 151 µg/L'ye, bulanıklık değeri ise 1,23 NTU'ya yükselmektedir. Demir değeri ilgili yönetmelik ve standart değere uygunken bulanıklık değeri sınır olan 1 NTU'nun üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur. Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.33'te yer almaktadır:

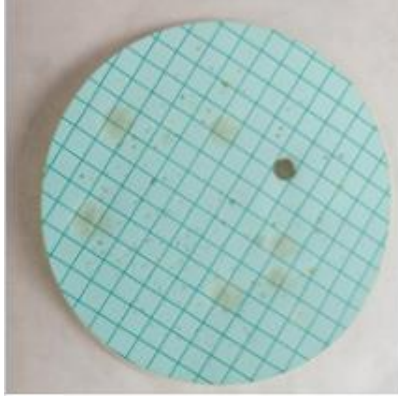
Çizelge 4.33. (14. nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
14. Nokta Şebeke	Yeast ¹	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	1
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	7
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

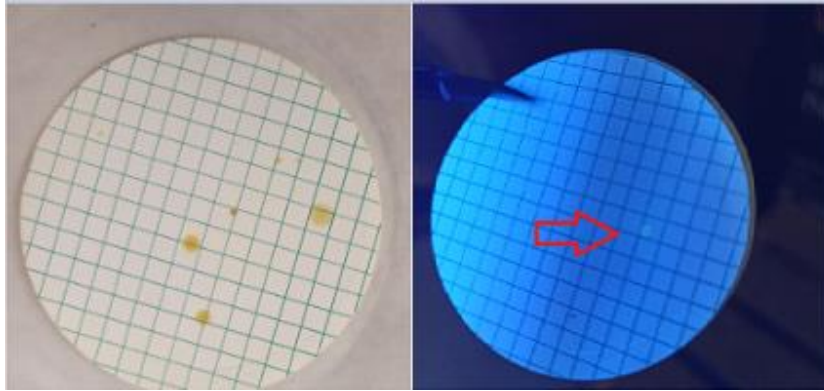
14. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200'den fazla toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır.

¹ Yeast NKS üzerinde farklı türlere ait 48 sarı küçük koloni, 1 koyu kahverengi koloni ve 6 açık kahverengi koloni tespit edilmiştir.

Aynı besiyeri üzerinde farklı türlere ait 48 sarı küçük koloni, 1 koyu kahverengi koloni ve 6 açık kahverengi koloni tespit edilmiştir (Resim 4.27). Ceftrimide üzerinde gelişen *Pseudomonas aeruginosa* koloni sayısı 1 CFU/250 mL, Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 7 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.28). Diğer türlerde herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.27. Yeast NKS üzerinde oluşan koloniler



Resim 4.28. Tespit edilen diğer koloniler

14. noktada şebeke yaşı II. kategori (5-15 yıl arası) olup boru türü galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Toplam koloni sayısı ve Yeast besiyeri üzerinde gelişen diğer türler de boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. *E. coli* ve *Strafilokokların* şebekeye çevresel etmenlerden (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) şebekeye girebileceği düşünülmektedir.

14. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini bozmuş, bazı patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

15. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 15 Nolu Bina

15. nokta şebekenin 2. bölgesinde yer alan bir bina olup boru türü PPRC, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina iç tesisatında su sayacı sökülerek alınmıştır. Tesisat PPRC olmasına rağmen bağlantı parçaları galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde tortu ve birikinti oluşumu arada boru bağlantı elemanları olduğu için net gözlemlenememiştir (Resim 4.29).



Resim 4.29. Numune alınan nokta

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.34'te verilmiştir:

Çizelge 4.34. (15. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

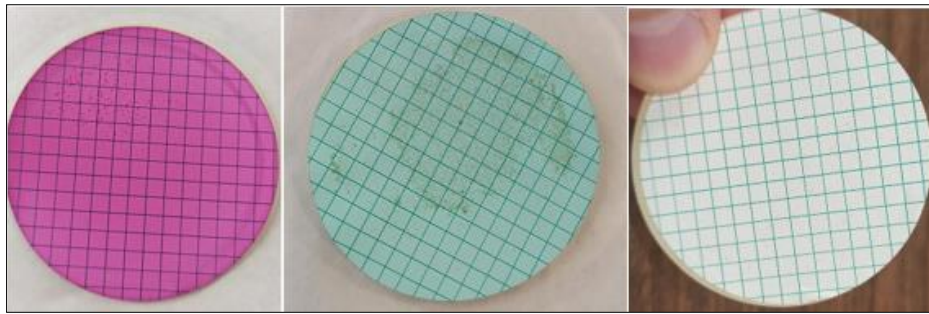
Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	78	80
M.Alkalinite	mg/L	63	63
Demir	µg/L	10	13
Bulanıklık	NTU	0,21	0,32
pH		7,5	7,51

Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.35'te yer almaktadır:

Çizelge 4.35. (15. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
15. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult ¹	Toplam Koliform	0	200
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	200
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

15. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200'den fazla toplam koloni (jerm), Endo NKS üzerinde de 200'den fazla *E. coli* sayılmıştır. Her iki sonuç da 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Chromocult NKS üzerinde 200'den fazla kolonisi sayılmış olup toplam koliform sayısı 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır (Resim 4.30). Diğer türlerde herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.30. Tespit edilen türler

¹ Chromocult NKS üzerinde 200'den fazla koloni sayılmıştır.

15. noktada şebeke yaşı I. kategori (yeni bina) olup boru türü PPRC, boru bağlantı malzemeleri ise galvaniz metaldir. Boru bağlantı malzemeleri nedeniyle boru yüzeyinin görsel tespiti yapılamasa da mikrobiyolojik analiz sonuçlarındaki toplam koloni sayısı boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Numunenin alındığı nokta atıksu giderine yakın bir noktadır. *E. coli* ve *Strafilokokların* şebekeye çevresel etmenlerden (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları, ters basınç oluşumu vb.) şebekeye girebileceği düşünülmektedir.

15. noktada suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişim yaşanmasa da biyofilm oluşumu suyun mikrobiyolojik kalitesini bozmuş, bazı patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

16. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 16 Nolu Bina

16. nokta şebekenin 2. bölgesi girişinde 400 mm'lik PE ana kollektör üzerinde bir bina olup, bina giriş kollektörü galvaniz metal, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina giriş kollektöründen su sayacı sökölerek alınmıştır (Resim 4.31). Boru yüzeyinde ince bir tortu ve birikim oluşumu gözlemlenmiştir.



Resim 4.31. Numune alınan nokta

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.36'da verilmiştir:

Çizelge 4.36. (16. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	76	78
M.Alkalinite	mg/L	58	64
Demir	µg/L	26	43
Bulanıklık	NTU	0,24	0,43
pH		7,5	7,51

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde boru yüzeyi kazındıktan sonra sudaki demir değerinin 26 µg/L'den 43 µg/L'ye, bulanıklığın da 0,24 NTU'dan 0,43 NTU'ya çıktığı tespit edilmiştir. Ancak su kalite sınır değerleri göz önüne alındığında değerlerdeki artış ihmal edilebilir seviyededir. Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Suyun mikrobiyolojik kalitesine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.37'de yer almaktadır:

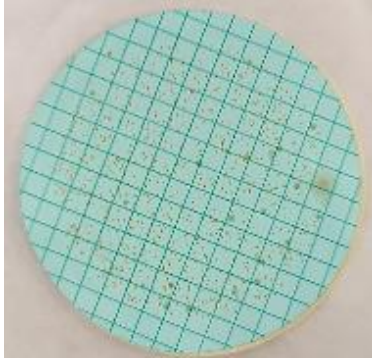
Çizelge 4.37. (16. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
16. Nokta Şebeke	Yeast ¹	Toplam Koloni	0	29
	Chromocult ²	Toplam Koliform	0	1
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	1
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

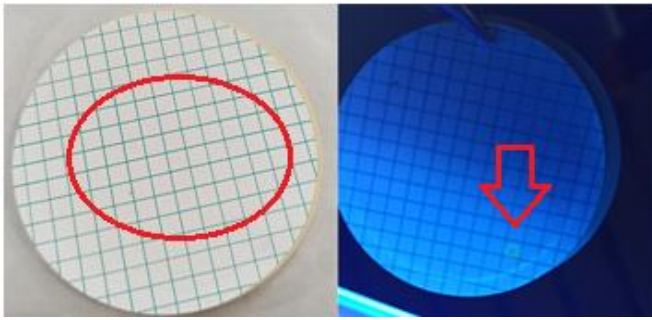
¹ Yeast NKS üzerinde 1 kahverengi ve 200'ün üzerinde kırmızı koloni de sayılmıştır.

² Chromocult üzerinde 5 adet renksiz koloni de sayılmıştır.

16. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde renksiz ve parlak olarak toplam 29 CFU/250 mL koloni (jerm) sayılmıştır. Ayrıca aynı besiyeri üzerinde 1 kahverengi büyük ve 200'ün üzerinde kırmızı ve küçük koloni de sayılmıştır (Resim 4.32). Yeast NKS üzerinde tespit edilen tüm türler biyofilm oluştuğunun göstergesidir. Chromocult NKS üzerinde kırmızı-pembe arası renge sahip 1 CFU/250 mL koliform kolonisi tespit edilmiş, ayrıca 5 adet küçük ve renksiz Gram negatif bakteri türüne ait koloni tespit edilmiştir. Cetrimide NKS üzerinde *Pseudomonas aeruginosa* kolonisi 1 CFU/250 mL olarak sayılmıştır (Resim 4.33). Diğer türlerde herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.32. Yeast NKS üzerinde tespit edilen türler



Resim 4.33. Tespit edilen toplam koliform ve *Pseudomonas aeruginosa* kolonileri

16 nolu numune noktasında şebeke yaşı II. kategoridedir. Bina PE ana dağıtım hattı üzerinde olup giriş kollektör türü galvaniz metaldir. Binanın ana dağıtım hattına yakın olması su akış hızının şebekenin daha içlerinde olan binalara göre daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle boru yüzeyinde daha az tortu oluştuğu düşünülmektedir. Ancak yine de boru

yüzeyinde biyofilm tabakası tespit edilmiştir. Analiz sonucundaki Yeast besiyerinde tespit edilen toplam koloni sayısı ve diğer türler de boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Diğer tespit edilen türlerin de geçmiş zamanlarda çevresel etmenlerden şebekeye giriş yapmış ve biyofilm tabakası içerisinde varlığını korumuş türler olduğu değerlendirilmektedir.

16. noktada suyun fiziksel ve kimyasal kalitesi değişmemiş ancak biyofilm oluşumu nedeniyle mikrobiyolojik kalitesinde bozulma meydana gelmiştir.

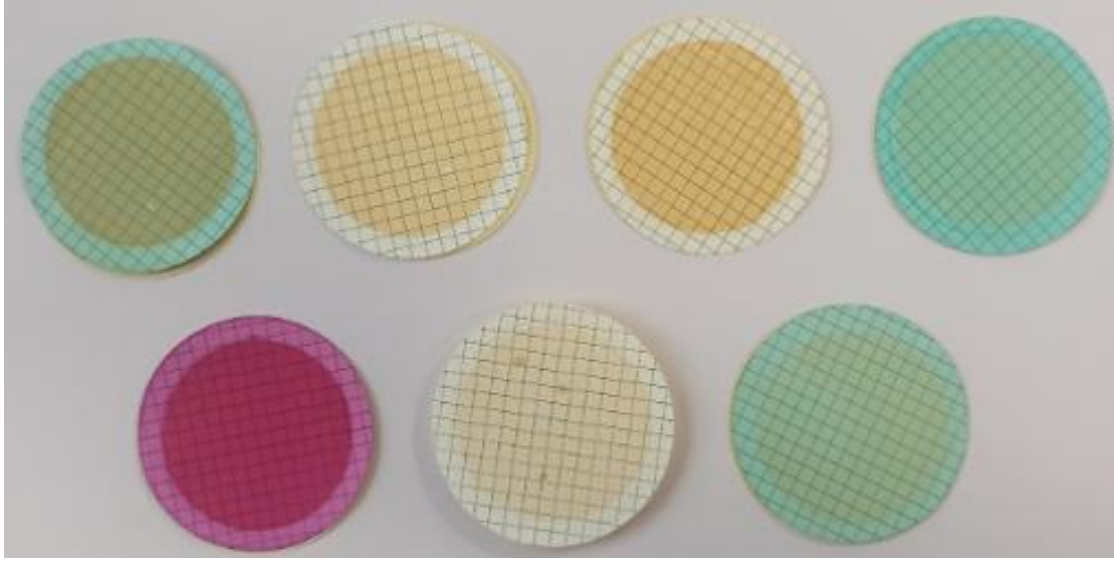
17. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 17 Nolu Bina

17. nokta şebekenin 2. bölgesinde ve tesisatın uzak noktasında yer alan bir bina olup, bina giriş kollektörü galvaniz metal, tesisat yaşı II. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina giriş kollektöründen su sayacı sökülerek alınmıştır (Resim 4.34). Giriş kollektörü üzerinde yoğun bir tortu ve birikinti olduğu gözlemlenmiştir.



Resim 4.34. Numune alınan nokta

İlk alınan numunede membran filtre üzerinde yoğun bir pas birikimi oluşmuş, bu nedenle numunelerin seyreltilmesine rağmen filtre kâğıdı üzerinde koloniler gözlemlenememiştir (Resim 4.35). Bu nedenle aynı noktadan tekrar numune alınmıştır. Tekrar alınan numunede yüzey daha hafif kazınarak filtre kâğıtlarında pas birikimi azaltılmaya çalışılmıştır.



Resim 4.35. Membran filtre kâğıtlarında oluşan pas birikimi

Yeniden alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.38’de verilmiştir:

Çizelge 4.38. (17. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

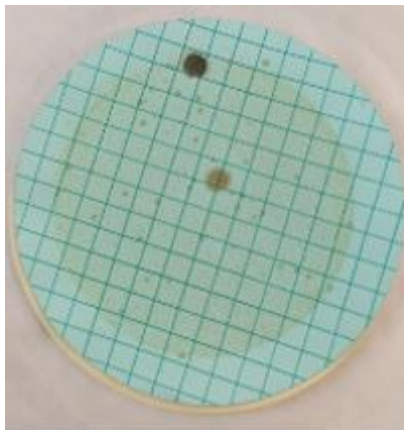
Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	78	78
M.Alkalinite	mg/L	57	57
Demir	µg/L	10	510
Bulanıklık	NTU	0,4	0,7
pH		7,55	7,51

17. noktada, galvaniz tesisat borusundan öncesi olarak alınan numunenin demir değeri 10 µg/L, bulanıklığı ise 0,4 NTU iken, sonrası olarak alınan numunenin demir değeri 510 µg/L’ye, bulanıklık değeri ise 0,7 NTU’ya yükselmektedir. Demir değeri ilgili yönetmelik ve standartların üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur. Öncesi ve sonrası numunelerinin mikrobiyolojik analiz sonuçları Çizelge 4.39’da yer almaktadır:

Çizelge 4.39. (17. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
17. Nokta Şebeke	Yeast ¹	Toplam Koloni	0	38
	Chromocult ²	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide ³	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	2
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	11
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

17. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan ve tekrar alınan numunede ise Yeast NKS üzerinde renksiz ve parlak olarak toplam 38 CFU/250 mL koloni (jerm) sayılmıştır. Ayrıca aynı besiyeri üzerinde 2 adet kahverengi büyük koloni de sayılmıştır (Şekil 4.36). Yeast NKS üzerinde tespit edilen tüm türler biyofilm oluştuğunun göstergesidir.



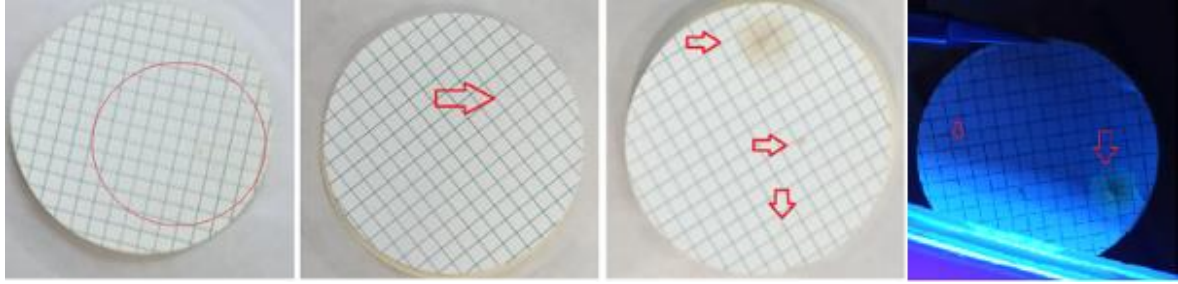
Resim 4.36. Yeast NKS üzerinde tespit edilen türler

¹ Yeast NKS üzerinde ayrıca iki büyük kahverengi koloni oluşmuştur.

² Chromocult NKS üzerinde bir adet renksiz Gram negatif koloni sayılmıştır.

³ Cetrimide NKS üzerinde bir adet UV ışıması yapmayan koloni sayılmıştır.

Chromocult NKS üzerinde renksiz ve Gram negatif bakteri türlerine ait 1 CFU/250 mL koloni tespit edilmiştir. Ceftrimide NKS üzerinde UV ışına yapan 2 CFU/250 mL *Pseudomonas aeruginosa* kolonisi ve bir adet ışına yapmayan koloni sayılmıştır. Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 11 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.37). Diğer türlerde herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.37. Tespit edilen diğer türler

17. noktada şebeke yaşı II. kategori (5-15 yıl arası) olup boru türü galvaniz metaldir. Arıtma tesisinden uzak noktada şebekenin sonuna yakın bir konumdadır. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Toplam koloni sayısı ve Yeast besiyeri üzerinde gelişen diğer türler de boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Diğer tespit edilen türlerin de geçmiş zamanlarda çevresel etmenlerden şebekeye giriş yapmış ve biyofilm tabakası içerisinde varlığını korumuş türler olduğu değerlendirilmektedir. 17. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini bozmuş, bazı patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

18. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 18 Nolu Bina

18. nokta şebekenin 2. bölgesinde ve tesisatın uzak noktasında yer alan bir bina olup, bina giriş kollektörü galvaniz metal, tesisat yaşı I. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Tesis içerisinde en yeni binalardan biridir. Numuneler bina giriş kollektöründen su sayacı sökülerek alınmıştır. Boru yüzeyinde herhangi bir tortu oluşumu gözlemlenmemiştir. Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.40'ta verilmiştir:

Çizelge 4.40. (18. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

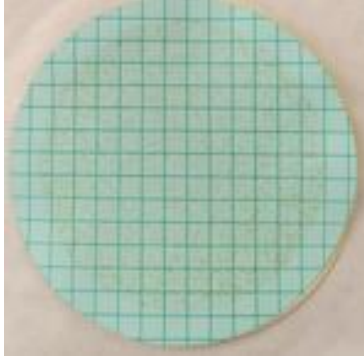
Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	76	78
M.Alkalinite	mg/L	58	60
Demir	µg/L	26	26
Bulanıklık	NTU	0,44	0,43
pH		7,55	7,55

Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçları ise Çizelge 4.41’de yer almaktadır:

Çizelge 4.41. (18. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
18. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

Bu noktada Yeast NKS üzerinde 200’ün üzerinde toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır (Resim 4.38). Diğer türlerde çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.38. Yeast NKS üzerinde oluşan koloniler

18. noktada bina yaşı I. kategori (2 yıllık bina) olmasına rağmen galvaniz metal boru üzerinde yoğun bir koloni oluşumu tespit edilmiştir. Yüksek toplam koloni sayısı boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Galvaniz metal boru yapısı gereği daha hızlı korozyona uğramakta ve mikroorganizmaların biyofilm oluşturabileceği bir yüzey meydana getirmektedir. Şebekedeki organik madde miktarı da mikroorganizmaların biyofilm oluşturması ve çoğalması için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu noktada çapraz bağlantı (cross connection) olduğu, arıtılmış sulama suyunun içme suyu kollektörüne bir vanayla bağlandığı tespit edilmiştir (Resim 4.39).



Resim 4.39. Çapraz bağlantı yapılan sulama ve şebeke suyu hattı

Binanın devreye alınması aşamasında yanlış vana operasyonu nedeniyle arıtılmış sulama suyunun içme suyu şebekesine karıştığı ve bir süre bu şekilde kullanıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle yeni bina olmasına karşın çapraz bağlantı nedeniyle kısa sürede boru yüzeyinde biyofilm oluştuğu değerlendirilmektedir.

19. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 19 Nolu Bina

19. nokta şebekenin 2. bölgesinde yer alan bir bina olup, bina tesisatı PPRC, tesisat yaşı ise I. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Tesisteki en yeni binalardan biridir. Numuneler bina iç tesisatından bağlantı noktasından kesilerek alınmıştır. Boru yüzeyinde herhangi bir tortu oluşumu gözlemlenmemiştir (Resim 4.40).



Resim 4.40. Numune alınan boru yüzeyi

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.42’de verilmiştir:

Çizelge 4.42. (19. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	78	76
M.Alkalinite	mg/L	57	58
Demir	µg/L	60	60
Bulanıklık	NTU	0,5	0,57
pH		7,51	7,51

Öncesi ve sonrası analizlerinde genel olarak suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçları ise Çizelge 4.43'te yer almaktadır:

Çizelge 4.43. (19. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
19. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	4
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

19. noktada bina yaşı, 18. noktayla aynı olup I. kategoridir (2 yıllık bina). İki bina tesisatı da aynı dönemde yapılmıştır. İki nokta kıyaslandığında PPRC tesisata sahip 19. noktada biyofilm oluşumu galvaniz tesisata sahip 18. noktaya nazaran ihmal edilebilecek ölçüde düşüktür.

20. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 20 Nolu Bina

20. nokta şebekenin 1. bölgesinde yer alan bir bina olup, bina giriş kollektörü galvaniz metal, tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina giriş kollektöründen su sayacı sökülerek alınmıştır. Boru yüzeyinde yoğun bir tortu ve birikinti oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 4.40).



Resim 4.41. Numune alınan nokta

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.44'te verilmiştir:

Çizelge 4.44. (20. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Çok Bulanık
Koku		Normal	Paslı
Sertlik	mg/L CaCO ₃	80	80
M.Alkalinite	mg/L	64	66
Demir	µg/L	10	2126
Bulanıklık	NTU	0,64	6,98
pH		7,55	7,51

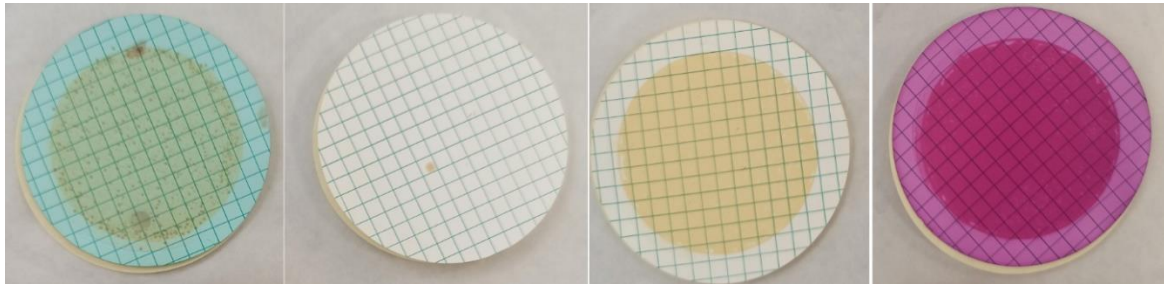
20. noktada, galvaniz tesisat borusundan öncesi olarak alınan numunenin demir değeri 10 µg/L, bulanıklığı ise 0,64 NTU iken, sonrası olarak alınan numunenin demir değeri 2126 µg/L'ye, bulanıklık değeri ise 6,98 NTU'ya yükselmektedir. Şebeke analizlerinde karşılaşılan en yoğun tortu ve birikinti oluşumu bu noktadadır. Sonrası analizlerinde demir ve bulanıklık değerleri ilgili yönetmelik ve standartların çok üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur.

Sonrası olarak alınan numuneler aşırı bulanık ve paslı olduğu için %50 seyreltme uygulanmıştır. Buna rağmen filtre kâğıtlarında pas birikimi oluşmuştur. Numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçları ise Çizelge 4.45'te yer almaktadır:

Çizelge 4.45. (20. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Seyreltme Katsayısı	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
20. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0,5	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0,5	0	0
	Azide	Enterokok	0,5	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,5	0	2
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,5	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0,5	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0,5	0	0

Bu noktada Yeast NKS üzerinde 200'ün üzerinde toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Cetrimide NKS üzerinde UV ışığa yapan 1 CFU/250 mL *Pseudomonas aeruginosa* kolonisi sayılmış, %50 seyreltme olduğu için sonuç 2 CFU/250 mL olarak alınmıştır (Resim 4.42).



Resim 4.42. Tespit edilen türler ve filtre kâğıdında biriken paslar

Boru içerisinde yoğun bir tortu ve birikim olduğundan borunun sadece giriş ağzından numune alınmış, alınan numunelerde de bulanıklık ve demir sınır değerlerin çok üzerinde

çıkıştır. Şebeke yaşı III. kategori olup boru türü galvaniz metaldir. Boru yüzeyinde oluşan ve ağırlıklı demir içeren tortu ve birikim biyofilmin oluşması ve gelişmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Toplam koloni sayısı ve Yeast besiyeri üzerinde gelişen diğer türler de boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Seyreltilmesine rağmen filtre kâğıdında pas oluşumu tespit edilmiştir. Borunun kalan kısmında da farklı türlerin var olduğu değerlendirilmektedir.

21. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 21 Nolu Bina

21. nokta şebekenin 2. bölgesinin başlangıcında yer alan bir bina olup, bina giriş kollektörü galvaniz metal, tesisat yaşı III. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler bina giriş kollektöründen su sayacı sökülerek alınmıştır. Boru yüzeyinde tortu ve birikinti oluşumu gözlemlenmiştir.

Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.46’da verilmiştir:

Çizelge 4.46. (21. Nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

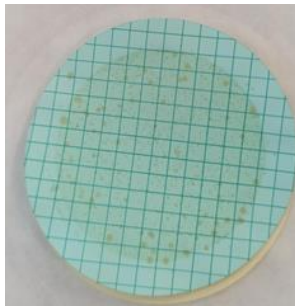
Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Bulanık
Koku		Normal	Paslı
Sertlik	mg/L CaCO ₃	76	78
M.Alkalinite	mg/L	50	49
Demir	µg/L	11	200
Bulanıklık	NTU	0,2	1,52
pH		7,5	7,51

21. noktada, galvaniz tesisat borusundan öncesi olarak alınan numunenin demir değeri 11 µg/L, bulanıklığı ise 0,2 NTU iken, sonrası olarak alınan numunenin demir değeri 200 µg/L’ye, bulanıklık değeri ise 1,52 NTU’ya yükselmektedir. Sonrası analizlerinde demir ve bulanıklık değerleri ilgili yönetmelik ve standartların üzerindedir. Boru yüzeyindeki birikinti suya karıştıktan sonra suyun fiziksel ve kimyasal kalite değerleri bozulmuştur. Numunelerin mikrobiyolojik analiz sonuçları ise Çizelge 4.47’de yer almaktadır:

Çizelge 4.47. (21. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
21. Nokta Şebeke	Yeast ¹	Toplam Koloni	0	200
	Chromocult	Toplam Koliform	0	200
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide ²	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	2
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	13
	Endo ³	<i>E. coli</i>	0	200
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

21. noktada öncesi olarak alınan ve normalde musluktan akan su kalitesini gösteren numunede herhangi bir çoğalma olmamıştır. Sonrası olarak adlandırılan numunede ise Yeast NKS üzerinde 200'ün üzerinde toplam koloni (jerm) sayılmıştır. Sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Ayrıca aynı besiyeri üzerinde farklı türlere ait 73 büyük sarı koloni de sayılmıştır (Resim 4.43). Yeast NKS üzerinde tespit edilen tüm türler biyofilm oluştuğunun göstergesidir.



Resim 4.43. Yeast NKS üzerinde tespit edilen koloniler

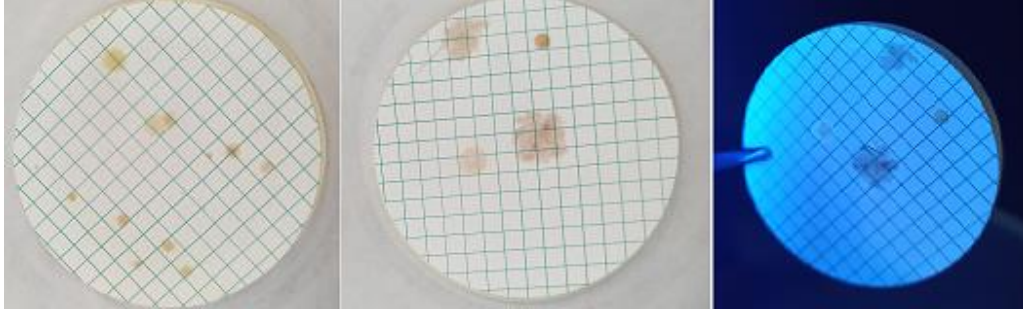
Cetrimide NKS üzerinde UV ışına yapan 2 CFU/250 mL *Pseudomonas aeruginosa* kolonisi ve 2 adet UV ışınması yapmayan kümelenmiş koloni sayılmıştır. Işıma yapmayan kolonilerin farklı *Pseudomonas* türlerine ait olduğu değerlendirilmektedir.

¹ Yeast NKS üzerinde ayrıca 73 büyük sarı koloni sayılmıştır.

² Cetrimide NKS üzerinde 2 adet UV ışınması yapmayan kümelenmiş koloni sayılmıştır.

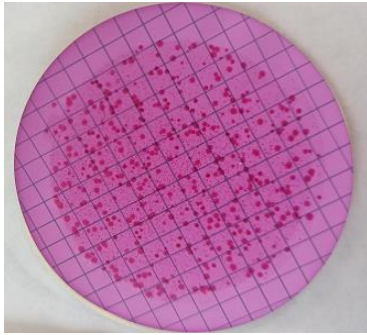
³ Endo NKS'de 200'ün üzerinde parlak olmayan koloni tespit edilmiştir.

Chapman NKS üzerinde gelişen *Staphylococcus aureus* koloni sayısı ise 13 CFU/250 mL olmuştur (Resim 4.44).



Resim 4.44. Tespit edilen *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas* kolonileri

Endo NKS üzerinde gelişen *E. coli* sayısı 200'den fazla olup sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Ayrıca 200'ün üzerinde parlak olmayan koloni tespit edilmiştir. Bu kolonilerin farklı koliform türlerine ait olduğu düşünülmektedir (Resim 4.45). Toplam koliform sayısı 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır. Diğer besiyerlerinde de herhangi bir çoğalma tespit edilmemiştir.



Resim 4.45. Endo NKS üzerindeki *E. coli* ve diğer koliform kolonileri

Toplam koloni sayısı ve Yeast besiyeri üzerinde gelişen diğer türler de boru iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. *Pseudomonas* türlerinin dezenfeksiyondan kaçıp biyofilme yerleştikleri değerlendirilmektedir. *E. coli* ve Strafilokokların şebekeye çevresel etmenlerden (boru arızaları, yeni boru döşeme çalışmaları vb.) şebekeye girebileceği düşünülmektedir. 21. noktada biyofilm oluşumu suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini bozmuş, bazı patojen mikroorganizmaların biyofilm içinde gelişmesine olanak sağlamıştır.

22. Nokta: Su Dağıtım Şebekesi Üzerindeki 22 Nolu Bina

22. nokta 2. şebeke bölgesinde yeni yapılan bir bina olup tesisat türü PPRC, tesisat yaşı I. kategoridir (Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1). Numuneler iç tesisattan alınmıştır. Boruda herhangi bir tortu oluşumu ya da birikim gözlemlenmemiştir. Öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler Çizelge 4.48’de verilmiştir:

Çizelge 4.48. (22. nokta) Öncesi ve sonrası sudaki fiziksel ve kimyasal değişimler

Parametreler	Birim	Öncesi	Sonrası
Görünüş		Berrak	Berrak
Koku		Normal	Normal
Sertlik	mg/L CaCO ₃	78	80
M.Alkalinite	mg/L	63	64
Demir	µg/L	10	11
Bulanıklık	NTU	0,09	0,12
pH		7,5	7,51

Öncesi ve sonrası analizlerinde suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Numunelerin mikrobiyolojik kalitesine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.49’da yer almaktadır:

Çizelge 4.49. (22. Nokta) Öncesi ve sonrası mikrobiyolojik değişimler

İncelenen Yer	Besiyeri Adı (NKS)	İncelenen Tür	Öncesi Sayım Sonucu (CFU/250 mL)	Sonrası Sayım Sonucu (CFU/250 mL)
22. Nokta Şebeke	Yeast	Toplam Koloni	0	0
	Chromocult	Toplam Koliform	0	0
	Azide	Enterokok	0	0
	Cetrimide	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0
	Chapman	<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0
	Endo	<i>E. coli</i>	0	0
	Bismuth Sulfide	<i>Salmonella</i> spp.	0	0

PPRC tesisat borusuna sahip 22. noktada öncesi ve sonrası şeklinde alınan numunelerde herhangi bir mikrobiyolojik çoğalma tespit edilmemiştir. Tesisat yaşının I. kategoride olması, boruda tortu ve birikinti oluşumunun olmaması ve kullanılan tesisat boru türünden dolayı herhangi bir çoğalmanın olmadığı değerlendirilmektedir.

4.1.2. Genel değerlendirme

Tüm noktalardan ÖNCESİ olarak alınan numunelerin sonuçları Çizelge 4.50’de yer almaktadır.

Çizelge 4.50. “Sonrası” analizlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik sonuçları

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı	Mikroorganizma Koloni Sayısı ¹ (CFU/250 mL)										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	PE	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	PE	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	PPRC	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	PPRC	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	PE	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	PE	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	PPRC	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	PPRC	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Glv.	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Glv.	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Glv.	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Glv.	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Glv.	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Glv.	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	PPRC	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Glv.	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	PPRC	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ 1: Toplam Koloni, 2: Diğer Koloniler, 3: Toplam Koliform, 4: Diğer Türler, 5: Enterokok, 6: *P. aeruginosa*, 7: Diğer *Pseudomonas* türleri, 8: *S. aureus*, 9: *E. coli*, 10: Diğer Koliform türleri, 11: *Salmonella* spp.

Yeast besiyerinde oluşan diğer mikroorganizmalar diğer koloni sütununda, Chromocult besiyerinde oluşan toplam koliform haricindeki diğer mikroorganizmalar diğer türler kolonunda, Endo besiyerinde oluşan *E. coli* haricindeki diğer koliformlar ise diğer koliform sütununda gösterilmiştir. Cetrimide besiyerinde UV altında ışıma yapmayan diğer *Pseudomonas* türlerinin sayılarına ise “Diğer *Pseudomonas*” kolonunda yer verilmiştir.

SONRASI olarak alınan numunelerin sonuçları ve su kalite değişimleri ise Çizelge 4.51’de verilmiştir:

Çizelge 4.51. “Sonrası” analizlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik sonuçları

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı	Suda ki Bozulma	Mikroorganizma Koloni Sayısı ¹ (CFU/250 mL)										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	PE	III	-	200	0	120	0	10	14	200	200	112	0	4
2	PE	II	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	PPRC	II	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	PPRC	II	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Glv.	III	II	13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	PE	II	I	200	0	0	0	200	1	0	32	0	200	0
7	PE	II	I	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
8	PPRC	I	I	197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Glv.	III	II	200	0	0	0	0	2	0	7	0	0	0
10	Glv.	III	IV	200	0	200	0	0	7	0	12	200	0	0
11	PPRC	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Glv.	III	IV	200	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0
13	Glv.	II	III	200	200	0	0	0	1	0	1	0	0	0
14	Glv.	II	III	200	54	0	0	0	1	0	7	0	0	0
15	Glv.	I	I	200	0	200	0	0	0	0	0	200	0	0
16	Glv.	II	I	29	200	1	6	0	1	0	0	0	0	0
17	Glv.	II	IV	38	2	0	1	0	2	1	11	0	0	0
18	Glv.	I	I	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	PPRC	I	I	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Glv.	III	IV	200	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	Glv.	III	IV	200	0	200	0	0	2	2	13	200	0	0
22	PPRC	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ 1: Toplam Koloni, 2: Diğer Koloniler, 3: Toplam Koliform, 4: Diğer Türler, 5: Enterokok, 6: *P. aeruginosa*, 7: Diğer *Pseudomonas* türleri, 8: *S. aureus*, 9: *E. coli*, 10: Diğer Koliform türleri, 11: *Salmonella* spp.

Şebekede numune alınan noktalarda ana değişkenler olarak boru türü ve bina şebeke yaşı ele alınmıştır. Arıtma tesisine yakınlık ve çevresel etmenler lokal değerlendirmelerde kullanılmıştır.

Ham su haricinde diğer noktalarda öncesi ve sonrası olarak yapılan analizler boru malzeme türlerine göre kıyaslanmıştır. Mikrobiyolojik analizlerde toplam koloni ve toplam patojen sayılarının ortalamaları alınmıştır. Şebeke tesisat yaşı ve su kalitesindeki bozulma derecelerinin de kategorilerine göre ortalamaları alınmıştır. Galvaniz metal, PE ve PPRC malzemeye sahip noktalardan alınan numunelerin sonuçları ve ortalama değerleri boru türlerine göre Çizelge 4.52, 4.53 ve 4.54’te verilmiştir:

Çizelge 4.52. Galvaniz metal tesisatların “Sonrası” analiz sonucu

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı Kategorisi ¹	Suyun Fiziksel ve Kimyasal Kalitesindeki Bozulma Derecesi ²	Toplam Koloni Sayısı ⁴ (CFU/250 mL)	Toplam Patojen Sayısı (CFU/250mL)
5	Galvaniz Metal	III	II	13	1
9	Galvaniz Metal	III	II	>200	9
10	Galvaniz Metal	III	IV	>200	419
12	Galvaniz Metal	III	IV	>200	4
13	Galvaniz Metal	II	III	>200	2
14	Galvaniz Metal	II	III	>200	8
15	Galvaniz Metal ³	I	I	>200	400
16	Galvaniz Metal	II	I	>200	8
17	Galvaniz Metal	II	IV	40	15
18	Galvaniz Metal	I	I	>200	0
20	Galvaniz Metal	III	IV	>200	1
21	Galvaniz Metal	III	IV	>200	417
ORTALAMA		II	III	>200	107

¹ I: 0 - 5 yıl arası tesisat yaşına sahip yeni binalar
 II: 6 - 15 yıl arası tesisat yaşına sahip orta yaşlı binalar
 III: 15 yıl üzeri tesisat yaşına sahip eski binalar

² I. seviye Değişim yok ya da ihmal edilebilir seviyede
 II. seviye Bozulma var ancak sınır değeri aşılmamış
 III. seviye Bozulma var, en fazla bir parametrede sınır değeri aşılmış
 IV. seviye Bozulma fazla, en az iki parametrede sınır değeri aşılmış

³ Boru PPRC ancak numune alınan bağlantı noktası galvaniz metaldir.

⁴ Koloni sayımında 200’ün üzerinde koloni görülen besiyerlerinde sonuç 200 CFU/250 mL olarak alınmıştır.

Çizelge 4.53. PE tesisatların “Sonrası” analiz sonucu

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı Kategorisi ¹	Suyun Fiziksel ve Kimyasal Kalitesindeki Bozulma Derecesi ²	Toplam Koloni Sayısı (CFU/250 mL)	Toplam Patojen Sayısı (CFU/250 mL)
2	PE	II	I	0	0
6	PE ³	II	I	>200	433
7	PE	II	I	3	2
ORTALAMA		II	I	>200	145

Çizelge 4.54. PPRC tesisatların “Sonrası” analiz sonucu

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı Kategorisi ¹	Suyun Fiziksel ve Kimyasal Kalitesindeki Bozulma Derecesi ²	Toplam Koloni Sayısı (CFU/250 mL)	Toplam Patojen Sayısı (CFU/250 mL)
3	PPRC	II	I	0	0
4	PPRC	II	I	0	0
8	PPRC	I	I	197	0
11	PPRC	I	I	0	0
19	PPRC	I	I	4	0
22	PPRC	I	I	0	0
ORTALAMA		I	I	34	0

Çalışma alanında bulunan toplam 70 binanın tesisat yaşı ağırlıklı olarak II. kategori (6-15 yıl arası), tesisat türü ise galvaniz metaldir. Çalışma kapsamında seçilen 22 noktanın da benzer şekilde tesisat yaşı ortalaması II. kategoridir.

¹ I: 0 - 5 yıl arası tesisat yaşına sahip yeni binalar
 II: 6 - 15 yıl arası tesisat yaşına sahip orta yaşlı binalar
 III: 15 yıl üzeri tesisat yaşına sahip eski binalar

² I. seviye Değişim yok ya da ihmal edilebilir seviyede
 II. seviye Bozulma var ancak sınır değer aşılmamış
 III. seviye Bozulma var, en fazla bir parametrede sınır değer aşılmış
 IV. seviye Bozulma fazla, en az iki parametrede sınır değer aşılmış

³ Boru patlağından şebekeye infiltrasyon tespit edilmiştir.

Tesisatlar boru türüne göre incelendiğinde, galvaniz metal tesisata sahip 12 binada normal olarak musluktan akan suda herhangi bir sorunla karşılaşılmadığı, suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değerlerinin ilgili yönetmelik ve standartlara uyduğu görülmüştür. Ancak boru yüzeyleri kazınarak alınan numunelerde suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinin önemli ölçüde bozulduğu (III. seviye), en az bir parametrede sınır değerlerin aşıldığı tespit edilmiştir. Galvaniz metal tesisatlarda daha fazla tortu ve birikim oluştuğu, bu tortu üzerinde mikrobiyolojik çoğalmanın diğer boru türlerine göre (PE ve PPRC) daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle şebeke yaşı II. ve III. kategori olan binaların tesisatlarında galvaniz metal borularda daha fazla çoğalma ve su kalitesinde bozulma tespit edilmiştir. Tesisat yaşı aynı olan binalarda galvaniz metal tesisatlarda daha hızlı biyofilm oluşmakta ve boru yüzeyinde mikroorganizma çoğalmaktadır. Biyofilm oluşumunun suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini bozduğu tespit edilmiştir. III. kategori olan eski binaların galvaniz metal tesisatlarında yoğun korozyon nedeniyle boru bağlantı noktalarının boruya kaydığı gözlemlenmiştir. Bu tür korozyona uğramış galvaniz borularda bağlantı yerinden boru sökülmeye çalışıldığı zaman boru tamamen kopabilmekte ve deforme olabilmektedir. Bu nedenle bazı noktalarda korozyona uğrayan boru sökülememiş ve boru yüzeyi gözlemlenememiştir. Genel olarak PE ve PPRC borularda da toplam koloni tespiti ve biyofilm oluşumu gözlemlense de galvaniz metal borularda patojen tür sayısı ve çeşitliliği diğer boru türlerine göre daha fazladır. Bu sonuçlar Niquette (2000), Camper (2003), Türetgen (2005) ve Keskin'in (2019) önceki çalışmalarıyla örtüşmektedir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre galvaniz metal tesisatların ortalama şebeke yaşı kategorisi II (6-15 yıl arası), suyun fiziksel ve kimyasal kalitesindeki bozulma derecesi III (su kalitesinde bozulma var, en fazla bir parametrede sınır değeri aşılmış), ortalama toplam koloni sayısı >200 CFU/250 mL, ortalama patojen sayısı 107 CFU/250 mL olarak tespit edilmiştir. PE tesisatlarda fiziksel ve kimyasal açıdan su kalitesinde değişim görülmemiş, ortalama şebeke yaşı kategorisi II (6-15 yıl arası), ortalama toplam koloni sayısı >200 CFU/250 mL, ortalama patojen sayısı 145 CFU/250 mL olarak ölçülmüştür. PE tesisatlardaki patojen sayısının yüksekliğinin nedeni, 6 nolu tesisatta meydana gelen boru patlağından kaynaklı şebeke suyuna çevresel su sızıntısı (infiltrasyon) olarak tespit edilmiştir. PPRC tesisatlarda “öncesi” ve “sonrası” analizlerin fiziksel ve kimyasal kalitelerinde ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Ortalama şebeke yaşı kategorisi I (0-5 yıl arası), ortalama toplam koloni sayısı 34 CFU/250 mL olarak ölçülmüştür. 8 nolu

numune noktası WC olduğu için çoğalmanın yüksek olduğu değerlendirilmektedir. PPRC tesisatlarda herhangi bir patojen mikroorganizma çoğalması gözlemlenmemiştir.

Bina yaşı açısından değerlendirildiğinde I. ve II. kategori binalarda PE ve PPRC borularda biyofilm ve patojen oluşumu galvaniz metal tesisatlara göre daha düşüktür. En yüksek kirlilik en yoğun korozyonun da gözlemlendiği galvaniz metal tesisatlarda ve III. kategori binalarda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7’de yer aldığı üzere şebeke suyunda TOK değerleri dönemsel olarak değişmekle birlikte 3 mg/L’nin altına düşmemektedir. İçme suyu arıtma tesisinde organik karbon için bir giderim ünitesi (ozonlama, membran filtre vs.) bulunmamaktadır. Bu nedenle ham sudaki organik karbon kısmi bir giderimle şebekeye ulaşmakta ve şebeke suyuna organik yük getirmektedir. Şebekedeki organik madde miktarı mikroorganizmaların biyofilm oluşturması ve çoğalması için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Arıtma tesislerinde organik karbonun giderilmesi gerekmektedir.

Bina yaşı olarak III. kategoride olan eski tesisatlarda bazı su sayaçlarının girişlerinde katı partikülleri tutan filtrelerin olmadığı ya da deforme olduğu tespit edilmiştir. Katı partiküllerin iç tesisata ulaşması durumunda da boru çeperleri daralmakta, bakteriler için tutunma yüzeyi artmakta ve biyofilm oluşmasına uygun bir zemin oluşmaktadır. Suyun fiziksel ve kimyasal kalitesi de bozulabilmektedir. Galvaniz metal tesisatlar uzun yıllardan beri sıhhi tesisatlarda yer aldığından çalışma alanında da III. kategori şebeke yaşına sahip binalarda galvaniz metal tesisat kullanılmıştır. Bunun yanında I. ve II. kategori bina yaşlarında da galvaniz metal tesisat kullanıldığı gözlemlenmiştir. PE ve PPRC malzemeler şebekelerde daha yeni olarak kullanıldığından çalışma alanında sadece I. ve II. kategori şebeke yaşına sahip binalarda PE ve PPRC tesisatlara rastlanmıştır.

Arızalı boruların değişiminde ya da yeni boru döşeme çalışmalarında da boruların ağzının açık kaldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra hizmete alınan bu hatlarda temizleme ve ilk yıkama işlemi yapılmadığında (flushing) toprak grubu patojen bakteriler şebekeye girebilmekte ve uygun yüzeylerde hızlıca biyofilm tabakası oluşturabilmektedir.

Tesiste sulama suyu olarak atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış su kullanılmaktadır. 18. noktada arıtılmış sulama suyunun içme suyu kollektörüne bir vanayla bağlandığı ve bu

şekilde çapraz bağlantı (cross-connection) olduğu belirlenmiştir (Resim 4.39). Bu nedenle yeni bina olmasına karşın çapraz bağlantı nedeniyle kısa sürede boru yüzeyinde biyofilm olduğu tespit edilmiştir. Çapraz ve hatalı bağlantılar nedeniyle temiz su şebekelerine de patojen mikroorganizma girişi olabilmekte ve biyofilm oluşumu meydana gelebilmektedir.

Patojen türleri açısından değerlendirildiğinde çalışma yapılan şebekede incelenen 22 tesisatın 16'sında toplam koloni oluşumu tespit edilmiş ve bu noktalardan 13'ünde patojenik mikroorganizma kolonileri gözlenmiştir. *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, Toplam Koliform ve Enterokok türleri farklı sayılarda tespit edilmiştir. Ham suda tespit edilen *Salmonella* spp. türüne ise arıtılmış şebeke suyunda rastlanmamıştır. *Pseudomonas aeruginosa* klora dayanıklı bir tür olduğu için arıtma tesisinde yapılan son klorlama ve dezenfeksiyon aşamalarından kaçabilmekte, şebekede biyofilmler içinde yaşayabilmektedir. Bu çalışmada içme suyu şebekesindeki 22 tesisatın 11'inde sayılan *Pseudomonas aeruginosa* en çok tespit edilen patojen tür olmuştur. Percival ve arkadaşları (1998) paslanmaz çelik tesisatlarda, Critchley ve arkadaşları da (2003) bakır tesisatlarda *Pseudomonas* sp.'yi izole etmiştir.

En yüksek koloni oluşumu 22 tesisatın 4'ünde tespit edilen ve toplamda 600 CFU/250 mL'nin üzerinde sayılan *E. coli* türünde gözlemlenmiştir. Enterokoklar klora ve kimyasallara nispeten daha dayanıklıdır. Bu nedenle arıtma ünitelerinden arta kalanları biyofilmler içinde çoğalabilmektedir. Ayrıca topraktan da şebekeye girebilmektedir. *E. coli* ve strafilokoklar klora *Pseudomonas* türleri kadar dayanıklı değildir ve genelde dezenfeksiyonda giderilmektedir. *E. coli*, enterokok ve strafilokokların şebekeye ters basınçla topraktan girebileceği düşünülmektedir. Bu patojenler, sızıntılar veya boru onarım çalışmaları nedeniyle topraktan veya dış ortamdan su şebekesine girebilmektedir. *Salmonella* türleri klora dayanıklı değildir ve şebekede üreme tespit edilmemiştir.

Çalışma sırasında Yeast besiyeri üzerinde tespit edilen yüksek toplam koloni sayıları, tesisat borularının iç yüzeyinde biyofilm varlığının göstergesidir. Boru yüzeylerinden alınan numunelerde toplam koloni sayısı analizinin, ön değerlendirme yapmak ve boruda biyofilm oluşumunu gözlemlmek için kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Toplam koloni sayısının Çizelge 4.1'de belirtilen ilgili yönetmelik değerlerinin üzerinde çıktığı durumlarda tesisatlarda ilave patojen türü analizi yapılabilir.

4.1.3. Sıhhi tesisat risk analiz matrisi

Sıhhi tesisatların su kalite durumunu tespit etmek ve risk kategorisini belirlemek üzere bu çalışmada uygulanan yöntem ve elde edilen veriler ışığında aşağıdaki risk analiz matrisi geliştirilmiştir. Bu matrisle binaların sıhhi tesisatlarının durumu belirlenebilecek ve kullanımıyla oluşabilecek riskin potansiyeli değerlendirilebilecektir. Bina sakinlerinde ve tüketicilerde farkındalık oluşturacak ve mevcut durumun tespit edilmesini sağlayacak bu yöntemle risk durumuna göre alınması gereken tedbirler de belirlenebilecek ve önerilen risk azaltıcı tedbirlerle sıhhi tesisatlardaki insan sağlığı açısından risk oluşturan ve suyun kalitesini bozan faktörlerle mücadele edilebilecektir. Ayrıca matristeki risk durumuna göre kullanılan renk skalasıyla binaların sıhhi tesisatlarının görsel etiketlenmesi de yapılabilecektir.

Çizelge 4.55’te yer alan mikrobiyolojik risk analiz tablosunda sıhhi tesisatların yaşına ve kullanılan boru türüne göre iki ayrı risk sınıfı belirlenmiştir. Risk sınıfları mikrobiyolojik analiz sonuçlarıyla ilişkilendirilmiş ve buna göre risk puanları oluşturulmuştur. “Risk Sınıfı-1” olarak adlandırılan kategoride binaların sıhhi tesisatlarının yaşına göre durum değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sıhhi tesisat yaşları 3 kategori olarak değerlendirilmiştir. I. kategori olan yeni yapılan binalarda tesisat yaşı 0-5 yıl arasındadır. II. kategori olan orta yaşlı binalarda ise tesisat yaşı 6-15 yıl arasında değişmektedir. III. kategori olan eski binalarda tesisat yaşı 15 yılın üzerindedir. Bu çalışmada elde edilen değerler doğrultusunda binaların tesisatlarında yıllara bağlı olarak tortu ve biyofilm oluşumu da artış gösterdiğinden sıhhi tesisatların yaş kategorisine göre risk puanları da değişmektedir. “Risk Sınıfı-2” olarak adlandırılan kategoride ise tesisatlarda kullanılan boru türüne göre mikrobiyolojik risk durumu değerlendirilmiştir. Yine bu çalışmadaki veriler ışığında PPRC ve PE gibi plastik türevi boru malzemelerinde mikrobiyolojik kirlenme daha az olduğundan plastik türevi boruların risk puanları metal bazlı borulara göre daha düşük seçilmiştir. Galvaniz ve diğer metal türü borularda korozyon ve biyofilm oluşumu daha fazla gözlemlendiğinden risk puanları daha fazladır. Mikrobiyolojik açıdan risk puanları biyofilm oluşumuna işaret eden toplam koloni sayısı üzerinden oluşturulmuştur. Sıhhi tesisatlardaki boru yüzeylerinden alınan numunelerde toplam koloni sayısının 0 CFU/mL olduğu durumlar güvenli kabul edilerek düşük risk grubuna alınmıştır. Toplam koloni sayısının 0 CFU/mL ila 5 CFU/mL arasında olduğu durumlar da Çizelge 4.1’deki standart değerler doğrultusunda güvenli ve düşük risk kabul edilmiştir. Ancak bina yaşı III. kategori olan ve boru türü metal olan tesisatlarda

korozyon ve biyofilm oluşumu daha hızlı olduğu için orta riskli kabul edilmiştir. Besiyerinde sayılan toplam koloni sayısı Çizelge 4.1'deki standart değerlere göre 5 CFU/mL'den büyük olursa ilave patojen mikroorganizma analizi başlatılmakta ve tesisattaki boru yüzeylerinden alınan numunelerde bu çalışmada incelenen patojen mikroorganizmalar ilgili NKS besiyerlerinde membran filtrasyon metodu ile incelenmektedir. İlave yapılan patojen mikroorganizma analizinde hiçbir NKS besiyerinde çoğalma tespit edilmezse (0 CFU/250mL) tesisat orta riskli olarak değerlendirilmiştir. Ancak bina yaşı III. kategori olan ve boru türü metal olan tesisatlarda korozyon ve biyofilm oluşumu daha hızlı olduğu için patojen mikroorganizmalara rastlanmasa da yüksek koloni sayısı nedeniyle tesisat yüksek risk sınıfında kabul edilmiştir. Ancak ilave yapılan patojen mikroorganizma analizinde herhangi bir NKS besiyerinde çoğalma tespit edilirse (patojen mikroorganizma sayısı > 0 CFU/250mL) tesisat yüksek risk kategorisinde olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.56'da yer alan fiziksel ve kimyasal risk analiz tablosunda da yine aynı şekilde sıhhi tesisatların yaşına ve kullanılan boru türüne göre iki ayrı risk sınıfı belirlenmiştir. Boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunelerin fiziksel ve kimyasal parametreleri açısından da 4 seviye oluşturulmuştur. Seviyeler oluşturulurken bu çalışmada olduğu gibi suyun normal akışından alınan numuneyle (öncesi) boru yüzeyi kazındıktan sonra alınan numunelerin (sonrası) kıyaslaması yapılmıştır. I. seviyede iki numune arasında parametrelerde değişim yok ya da ihmal edilebilir seviyededir. II. seviyede sonrası olarak alınan numunenin değerlerinde değişim olmuş ancak ilgili sınır değerler aşılmamıştır. Bu iki seviyede de tesisatın risk seviyesi düşüktür. Ancak bina yaşı III. kategori olan ve boru türü metal olan tesisatlarda korozyon ve birikinti oluşumu daha hızlı olduğu için tesisat orta risk sınıfında kabul edilmiştir. III. seviyede sonrası olarak alınan numunenin değerlerinde bozulma tespit edilmiş ve en fazla bir parametrede sınır değeri aşılmıştır. Bu durum tesisatta birikintinin ve korozyonun dikkat edilmesi gereken seviyede olduğunu gösterdiği için tesisat risk seviyesi orta olarak alınmıştır. Aynı şekilde bina yaşı III. kategori olan ve boru türü metal olan tesisatlarda risk seviyesi yüksek olarak alınmıştır. IV. seviyede ise sonrası olarak alınan numunede en az iki parametrede sınır değeri aşılmıştır. Bu nedenle IV. seviye tamamen yüksek risk sınıfı olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.57'de risk analiz matrisinde belirlenen risk durumuna göre tesisatların risk değerlendirme etiket rengi ve bu riskler için tesisatlarda yapılacak aksiyonlar belirlenmiştir. Çizelge 4.55 ve 4.56'da yapılan değerlendirmelere göre toplam risk puanı 1-3 aralığında

olan sıhhi tesisatlar düşük risk grubu olup yeşil etiket rengine sahiptir. Bu tür sıhhi tesisat kullanım açısından güvenli olup fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan su kalitesi korunmaktadır. Bu tür tesisatlarda tedbir amaçlı üçer yıllık periyotlarda rutin kontrollerin ve denetimlerin sürdürülmesi gerekmektedir. Bu denetimler ise bağımsız ve yetkili bir kuruluş tarafından gerçekleştirilmelidir. Tesisatların ve su depolarının düzenli bakımları yaptırılmalıdır.

Toplam tesisat risk puanı 4-6 aralığında olan sıhhi tesisatlar ise orta seviye risk düzeyine sahip olup sarı etiket rengine sahiptir. Bu tür tesisatlarda henüz patojen mikroorganizma çoğalmasına rastlanmamıştır ancak toplam koloni oluşumuna neden olan faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Tesisat yapısı ve bağlantıları tekrar gözden geçirilmelidir. Suyun fiziksel ve kimyasal kalitesinde henüz risk oluşturacak bozulmalar meydana gelmemiştir. Ancak orta risk seviyesindeki tesisatlarda mutlaka genel bakım yapılmalı, biyofilm oluşumunu tetikleyici olası risklerin önüne geçilmeli ve risk seviyesinin yeşil kategoriye inmesi için çalışmalar başlatılmalıdır. Fiziksel ve kimyasal açıdan sınır değeri geçen parametre için tedbir alınmalı ve boru yüzeylerindeki birikinti incelenmelidir. Tüketiciler musluktan ilk akan suyu kullanmamaları ve suyu bir süre akıttıktan sonra kullanmaları konusunda uyarılmalıdır. Tesisatta yıllık periyotlarda analiz ve denetim yapılmalıdır. Bakım planları bağımsız ve yetkili bir kuruluş tarafından denetlenmelidir.

Toplam tesisat risk puanı 7-9 aralığında olan sıhhi tesisatlar ise yüksek seviye risk düzeyine sahip olup kırmızı etiket rengine sahiptir. Bu tür tesisatlarda su kalitesi tüketime uygun değildir. Tesisatta biyofilm oluşumu ve patojen mikroorganizma varlığı tespit edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal açıdan da ilgili standart değerleri aşacak ölçüde bozulmalar meydana gelmiştir. Bu durum sıhhi tesisatta boru yüzeylerinde su kalitesini bozucu düzeyde biyofilm, korozyon veya birikinti oluştuğunu göstermektedir. İvedilikle tesisatta su kirliliğine ve biyofilm oluşumuna neden olan etkenler belirlenmeli ve ortadan kaldırılmalıdır. Gerekirse tesisatın son noktasına arıtma sistemi kurulmalı ya da tesisat yenilenmelidir. Tüketiciler mevcut risklere karşı uyarılmalı ve bilgilendirilmelidir. Alınan önlemler bağımsız ve yetkili bir kuruluş tarafından denetlenmelidir. Gerekli tedbirler alındıktan sonra suyun tüketilmesine izin verilmelidir. Bir tesisatın risk puanına, seviyesine ve buna bağlı etiket rengine karar vermek için mikrobiyolojik analizler Çizelge 4.55'e göre, fiziksel ve kimyasal analizler de Çizelge 4.56'ya göre incelenir. Her tabloda önce "Risk Sınıfı-1" satırında yer alan bina tesisat yaşına göre mikrobiyolojik sonuçların değerlendirilmesi yapılır. Daha sonra

“Risk Sınıfı-2” satırında yer alan boru türüne göre sonuçlar değerlendirilir ve risk puanları hesaplanır. Sonuç olarak bir tesisatın toplam mikrobiyolojik risk puanı belirlenirken “Risk Sınıfı-1” ve “Risk Sınıfı-2” kategorilerinden hangisinin risk puanı ve risk seviyesi yüksekse, o seviye ve puan kullanılarak etiketleme yapılır. Daha sonra da sonrası olarak alınan numunelerin fiziksel ve kimyasal sonuçları “Risk Sınıfı-1” ve “Risk Sınıfı-2” kategorilerine göre değerlendirilerek risk puanları ayrı ayrı hesaplanır. Tesisatın toplam fiziksel ve kimyasal risk değerini hesaplamak için de bu iki kategoriden yüksek olan puan ve seviye kullanılır. Tesisatların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik sonuçlarının risk değerlendirmesini yapmak ve toplam risk puanını belirlemek için Çizelge 4.55 ve Çizelge 4.56’dan çıkan değerlendirmeden yüksek olan risk puanı baz alınarak tesisat risk durumuna ve etiket rengine karar verilir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan sıhhi tesisat risk analiz matrisine göre, sahada incelenen 22 noktanın sıhhi tesisat risk değerlendirmesi Çizelge 4.58’de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Sıhhi tesisatların mikrobiyolojik risk analiz tablosu

		Sihhi Tesisat Mikrobiyolojik Risk Analiz Matrisi				Mikrobiyolojik Durum Risk Puanı
		Toplam Koloni Sayısı = 0 CFU/mL	Toplam Koloni Sayısı > 0, ≤ 5 CFU/mL ²	Toplam Koloni Sayısı > 5 CFU/mL ³		
				Patojen Sayısı = 0 CFU/250mL ⁴	Patojen Sayısı > 0 CFU/250ml	
Risk Sınıfı-1	I	1	2	4	7	(Tablodaki Eşleşme Sonucu Risk Sınıfı - 1 ve Risk Sınıfı - 2 Kategori Puanlarından Yüksek Olan Yazılır)
	II	2	3	5	8	
Tesisat Yaşı Kategorisi ¹	III	3	4	7	9	
Risk Sınıfı-2 Tesisat Boru Malzeme Türü	PPRC	1	2	4	7	
	PVC / PE	1	2	4	7	
	Diğer Plastik ⁵	1	2	4	7	
	Galvaniz Metal	3	4	7	9	
	Bakır	3	4	7	9	
	Diğer Metal ⁶	3	4	7	9	

¹ I: 0 - 5 yıl arası tesisat yaşına sahip yeni binalar

II: 6 - 15 yıl arası tesisat yaşına sahip orta yaşlı binalar

III: 15 yıl üzeri tesisat yaşına sahip eski binalar

² Besiyerinde sayılan toplam koloni sayısı sıfırdan büyük, 5 CFU/ml'den küçük olduğu durumlardır

³ Besiyerinde sayılan toplam koloni sayısı 5 CFU/ml'den büyük olursa ilave patojen mikroorganizma analizi başlatılır

⁴ İlave yapılan patojen mikroorganizma analizinde besiyerlerinde çoğalma tespit edilmediğini belirtir

⁵ Su tesisatlarında kullanımına izin verilen diğer plastik malzeme türleri

⁶ Su tesisatlarında kullanımına izin verilen diğer metal malzeme türleri

Çizelge 4.56. Sıhhi tesisatların fiziksel ve kimyasal risk analiz tablosu

		Sıhhi Tesisat Fiziksel ve Kimyasal Risk Analiz Matrisi					
		Suyun Fiziksel ve Kimyasal Kalitesindeki Bozulma Seviyesi				Fiziksel ve Kimyasal Durum Risk Puanı	
		I	II	III	IV		
Risk Sınıfı-1 Tesisat Yaşı Kategorisi	I	1	2	4	7	(Tablodaki Eşleşme Sonucu Risk Sınıfı - 1 ve Risk Sınıfı - 2 Kategori Puanlarından Yüksek Olan Yazılır)	
	II	2	3	5	8		
	III	3	4	7	9		
Risk Sınıfı-2 Tesisat Boru Malzeme Türü	PPRC	1	2	4	7		
	PVC / PE	1	2	4	7		
	Diğer Plastik	1	2	4	7		
	Galvaniz Metal	3	4	7	9		
	Bakır	3	4	7	9		
	Diğer Metal	3	4	7	9		

Çizelge 4.57. Risklerin kategorilendirilmesi ve risk azaltma planları

Toplam Tesisat Risk Puanı Aralığı	Tesisat Etiket Rengi	Risk Durumu	Alınacak Aksiyon Kategorisi	Risk Azaltma Planı Açıklama
1-3	Yeşil	Düşük	Tesisat Kontrol - 3 Yıllık İzleme	Sıhhi tesisat güvenlidir ancak mevcut kontroller 3 yıllık periyotlarda sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir. Tesisatın düzenli bakımları yaptırılmalıdır.
4-6	Sarı	Orta	Tesisat Bakım - Yıllık İzleme	Sıhhi tesisat orta seviyede risk altındadır. Henüz patojen mikroorganizma çoğalmasına rastlanmamıştır ancak tesisatta genel bakım yapılmalı, biyofilm oluşumunu tetikleyici olası risklerin önüne geçilmeli ve risk seviyesinin yeşil kategoriye inmesi için çalışmalar başlatılmalıdır. Fiziksel ve kimyasal açıdan sınır değeri geçen parametre için tedbir alınmalı ve boru yüzeylerindeki birikinti incelenmelidir. Tüketiciler musluktan ilk akan suyu kullanmamaları ve suyu bir süre akıttıktan sonra kullanmaları konusunda uyarılmalıdır. Tesisatta yıllık periyotlarda analiz yapılmalıdır. Bakım planları denetlenmelidir.

Çizelge 4.57. (devam) Risklerin kategorilendirilmesi ve risk azaltma planları

7-9	Kırmızı	Yüksek	Sorun Tespit - Arıtma / Tesisat Yenileme	Tesisat önemli risk altındadır. Su kalitesi tüketmeye uygun değildir. İvedilikle tesisatta su kirliliğine ve biyofilm oluşumuna neden olan etkenler belirlenmeli ve ortadan kaldırılmalıdır. Gerekirse tesisatın son noktasına arıtma sistemi kurulmalı ya da tesisat yenilenmelidir. Tüketiciler mevcut risklere karşı uyarılmalı ve bilgilendirilmelidir. Alınan önlemler denetlenmelidir.
-----	---------	--------	--	--

Çizelge 4.58. “Sonrası” analizlerinin genel risk değerlendirmesi

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı Kategorisi	Su Kalitesinde Bozulma	Mikrobiyolojik Durum Risk Puanı			Fiziksel ve Kimyasal Durum Risk Puanı			Toplam Tesisat Risk Puanı ve Etiket Rengi
				Risk Sınıfı 1 Puanı	Risk Sınıfı 2 Puanı	Toplam Mikrobiyolojik Risk Puanı	Risk Sınıfı 1 Puanı	Risk Sınıfı 2 Puanı	Toplam Fiziksel / Kimyasal Risk Puanı	
1 (Ham su)	PE	III	-	-	-	-	-	-	-	-
2	PE	II	I	2	1	2	2	1	2	2
3	PPRC	II	I	2	1	2	2	1	2	2
4	PPRC	II	I	2	1	2	2	1	2	2
5	Glv.	III	II	9	9	9	4	4	4	9
6	PE	II	I	8	7	8	2	1	2	8
7	PE	II	I	8	7	8	2	1	2	8
8	PPRC	I	I	4	4	4	1	1	1	4
9	Glv.	III	II	9	9	9	4	4	4	4
10	Glv.	III	IV	9	9	9	9	9	9	9
11	PPRC	I	I	1	1	1	1	1	1	1
12	Glv.	III	IV	9	9	9	9	9	9	9
13	Glv.	II	III	8	9	9	5	7	7	9
14	Glv.	II	III	8	9	9	5	7	7	9
15	Glv.	I	I	7	7	7	1	3	3	7
16	Glv.	II	I	8	9	9	2	3	3	9
17	Glv.	II	IV	8	9	9	8	9	9	9

Çizelge 4.58. (devam) “Sonrası” analizlerinin genel risk değerlendirmesi

Bina No	Boru Türü	Şebeke Yaşı Kategorisi	Su Kalitesinde Bozulma	Mikrobiyolojik Durum Risk Puanı			Fiziksel ve Kimyasal Durum Risk Puanı			Toplam Tesisat Risk Puanı ve Etiket Rengi
				Risk Sınıfı 1 Puanı	Risk Sınıfı 2 Puanı	Toplam Mikrobiyolojik Risk Puanı	Risk Sınıfı 1 Puanı	Risk Sınıfı 2 Puanı	Toplam Fiziksel / Kimyasal Risk Puanı	
18	Glv.	I	I	4	7	7	1	3	3	7
19	PPRC	I	I	1	1	1	1	1	1	1
20	Glv.	III	IV	9	9	9	9	9	9	9
21	Glv.	III	IV	9	9	9	9	9	9	9
22	PPRC	I	I	1	1	1	1	1	1	1

4.2. Mevzuat Açısından Sorumlulukların Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında mevzuat taraması yapılmış, ilgili kurum ve kuruluşların ve tüketicilerin sorumluluklarıyla ilgili yasal düzenlemeler incelenmiştir. İçme ve kullanma sularının temininde ve son tüketiciye kadar ulaştırılmasında farklı kurumların görev, yetki ve sorumlulukları bulunmaktadır. Su temini amaçlı baraj gibi içme suyu kaynaklarının yapılması ve suların tahsis edilmesi Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nün (DSİ) sorumluluğundayken, 1981 yılında yayınlanan 2560 sayılı kanunla şehir merkezlerinde su temini, arıtımı ve dağıtımı ile ilgili tüm sorumluluk büyükşehirlerde sular idarelerine verilmiştir. Barajlardan suyun temin edilmesi, içme suyu arıtma tesislerinde arıtılması, dezenfekte edilmesi, dağıtım şebekesine verilmesi ve bina girişlerine kadar ulaştırılması büyükşehir belediyelerinde sular idarelerinin, diğerlerinde ise doğrudan belediyelerin sorumluluğundadır. Aynı şekilde şebekede su değerlerinin Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik’te belirlenen sınır değerlere uygun olması, şebekede bu yönetmelikte belirtilen değerlerde bakiye klor bulundurulmasının sağlanması ve tüketiciye kadar içilebilir kalitede suyun ulaştırılması da sular idarelerinin ve belediyelerin görevleri arasındadır.

5393 sayılı Belediye Kanunu, 2560 sayılı Sular İdaresi Kuruluşu Kanunu ve bu kanunlar doğrultusunda çıkarılan Tarife ve Abone Hizmetleri Yönetmeliklerine göre Belediyeler ve sular idareleri bina girişindeki su sayaçlarına kadar sorumludur. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de su sayacı sonrası bina içi su tesisatının ve depolarının bakım ve onarımı

tüketicilere (abonelere) aittir. Bağlantı borusundan eve giden besleme borusunun bakım ve onarımı ise sular idareleri tarafından yapılmakta olup bedeli faturalarda şube yolu bakım bedeli olarak alınmaktadır [95].

Arıtma tesislerinden başlayıp dağıtım şebekelerine verilen ve belediyelerin sorumluluğunda olan içme ve kullanma sularının denetimi hem Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu tarafından hem de sorumlu belediye ve sular idareleri tarafından yapılmaktadır. Bu noktalarda içme ve kullanma sularının kaliteleri günlük yapılan analizlerle kontrol edilmekte ve ilgili yönetmelik ve standartlara uygunluğu sorumlu kurum tarafından sağlanmaktadır. Ancak bina girişlerindeki su sayaçlarından sonra kurumların sorumluluğu sona erdiğinden, sıhhi tesisatların ve su depolarının fiziki durumları, su kalitelerine etkileri, su kalitesinde meydana gelebilecek olumsuz değişimler ve bu değişimlerden kaynaklı meydana gelebilecek hastalıklar tüketiciler tarafından tespit edilememektedir.

Sıhhi tesisatların mekanik olarak imal standartları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı “Makina Tesisatı Genel Tasarım Teknik Şartnamesinde” düzenlenmiştir. Ancak bu şartname sıhhi tesisatın mekanik montajıyla ilgili hususları içermekte olup su kalitesinin takibi ve biyofilm oluşumuna karşı alınması gereken tedbirlerle ilgili herhangi bir düzenleme içermemektedir.

Sıhhi tesisatlar ile ilgili meslek kuruluşu olarak 5362 sayılı Esnaf ve Sanatkarlar Meslek Kuruluşları Kanunu kapsamında bazı illerde bulunan Kalorifer Sıhhi Tesisat Doğalgaz İzolasyon ve Montajcılar Odaları yetkilidir. Ancak bu odaların su kalitesi veya tesisat malzemeleri açısından da herhangi bir denetim veya izleme yetkisi bulunmamaktadır. Sıhhi tesisatçıların eğitime ve sıhhi tesisatların malzeme kalitesine ilişkin sular idarelerinin de bireysel uygulamaları bulunmaktadır. Örneğin 2015 yılında İSKİ Genel Müdürlüğü konuyla ilgili “Sıhhi Tesisat Eğitim ve Uygulama Esasları Yönetmeliği” çıkarmıştır. Benzer şekilde Ankara ASKİ, Hatay HATSU, Sakarya SASKİ, Tekirdağ TESKİ gibi sular idareleri de sıhhi tesisatlara özel yönetmelik oluşturmuştur. Ancak bu yönetmelikler sıhhi tesisatların mekanik montajlarına ilişkin hususları düzenlemekte olup sıhhi tesisatlarda su kalitesinin takibi, mikrobiyolojik su kalitesinin korunması veya biyofilm oluşumunun engellenmesi gibi konuları kapsamamaktadır.

Ülkemizde sayaç sonrası iç tesisatın ve tesisatlarda oluşan biyofilm tabakalarının su kalitesine etkisi izlenmemekte ve denetlenmemektedir. Tüketicilerin ise iç tesisatın durumları veya su kalitesine etkisi konusunda yeterli farkındalığa ve teknik bilgiye sahip olmadığı değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İçme suyunun, arıtıldığı içme suyu arıtma tesislerinden son kullanıcıya ulaştığı bina içi sıhhi tesisatlara ve musluklara kadar fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini koruması ve ilgili mevzuat sınır değerlerine ve standartlara uyması esastır. Suyun arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra kalitesini bozan ve insan sağlığı açısından risk teşkil eden hususlardan biri de su dağıtım sistemlerinde oluşan biyofilm tabakası ve içeriğindeki patojen mikroorganizmalardır.

Bu çalışmada, boru malzemeleri ve tesisatın yaşı ile biyofilm oluşumu, patojenik mikroorganizmaların varlığı ve su kalitesinde bozulma ilişkilendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyofilmlerin su kalitesine etkisinin, Ankara şehir koşullarında sıhhi tesisatta biyofilm oluşumunu etkileyen faktörlerin, biyofilmlerin ve patojenik mikroorganizmaların hazır kurutulmuş besiyeri ortamı ile tespiti açısından faydalı olmuştur. Yeast NKS besiyerinde toplam koloni sayımı kullanılarak bina içi tesisatlarda biyofilm oluşumlarının tespit edilebileceği sonucuna varılmıştır. Şebekedeki 15 noktada bu şekilde biyofilm oluşumu tespit edilmiştir. Ayrıca, biyofilmlerin boru yüzeylerinden ayrılıp suyla karıştığında arıtılmış suyunun kalitesini bozduğu da tespit edilmiştir. Biyofilm oluşumunun ilk tespitinin ardından şebekedeki patojenik mikroorganizmaların varlığının incelenmesi gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

Şebekede boru patlakları, çevreden infiltrasyonlar, çapraz bağlantılar, ters basınç, boru yenileme çalışmalarından kaynaklı kirlenmeler vb. dış etmenlerden kaynaklı biyofilm ve patojen mikroorganizma varlığı da gözlemlenmiştir. İncelenen 22 tesisatın 16'sında toplam koloni oluşumu tespit edilmiş olup bu noktaların 13'ünde de patojen mikroorganizma çoğalması görülmüştür.

İçme suyu dağıtım şebekelerindeki biyofilmler, içerdikleri patojen mikroorganizmalar ve içme suyuna olumsuz etkileri nedeniyle insan sağlığı açısından dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Farklı su kaynaklarına, farklı arıtma tesisleri ve su dağıtım sistemlerine göre içme suyu şebekelerinde biyofilm oluşumunun ve patojen varlığının incelenmesi gerekmektedir. Bu konuda teknik bilgilerinin ve farkındalık düzeylerinin yetersiz olması

tüketicilerin, olumsuz bina iç tesisat koşulları nedeniyle yaşanabilecek su kalite problemlerinden ve buna bağlı sağlık sorunlardan etkilenmelerine neden olabilecektir.

Sonuç olarak, galvanizli metal boru yüzeylerinde daha fazla birikim meydana geldiği ve galvanizli metal borularda PE ve PPRC borulara göre mikrobiyolojik büyümenin daha fazla olduğu görülmüştür. En yüksek su kalitesi bozulması ve biyofilm oluşumu III. kategori binalarda (15 yaşından büyük sıhhi tesisat yaşı) gözlemlenmiştir. Daha eski galvaniz metal tesisatlar, daha fazla biyofilm oluşumunu teşvik etmektedir. *Pseudomonas aeruginosa*, sıhhi tesisatta en sık saptanan patojen olmuştur.

En yüksek koloni oluşumu ise *E. coli* türünde meydana gelmiştir. Çalışma sırasında Yeast NKS ortamında tespit edilen yüksek toplam koloni sayıları, boru yüzeylerinde biyofilmlerin varlığını göstermiştir. Membran filtrasyon yöntemi ile Yeast NKS besiyerinde yapılan toplam koloni analizinin, tesisatta biyofilm oluşumları için bir ön değerlendirme yapmak amacıyla kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Toplam koloni sonuçlarının TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı sınır değerlerini aştığı durumlarda tesisatta ilave patojen türü analizi yapılması gerekecektir.

İçme suyu dağıtım şebekelerinde bulunan biyofilmler, içerdikleri patojenik mikroorganizmalar ve içme suyu kalitesine olumsuz etkileri nedeniyle insan sağlığı açısından dikkatle incelenmesi gereken önemli bir konudur. Bu çalışma ve metodoloji, sıhhi tesisatların mevcut durumlarının ve su kalitesi üzerindeki etkisinin ortaya çıkarılması için farklı şehirlerin su şebekelerine de uygulanabilecektir. Biyofilm oluşumunu ve patojen mikroorganizmaları benzer şekilde tespit etmek için su şebekelerindeki su depoları için de farklı bir çalışma yapılabilir.

Sıhhi tesisatların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan su kalitesine etki durumunu ve oluşturduğu risk seviyesini belirlemek üzere bu çalışmada uygulanan yöntem ve elde edilen veriler ışığında “Sıhhi Tesisat Risk Analiz Matrisi” geliştirilmiştir. Bu matrisle binaların sıhhi tesisatlarının mevcut durumu belirlenebilecek ve kullanımıyla oluşabilecek riskin potansiyeli değerlendirilebilecektir. Ayrıca matristeki risk durumuna göre kullanılan renk skalasıyla sıhhi tesisatlarda görsel etiketleme de yapılabilir. Bina risk puanı ve renk etiketleme sistemiyle bina sakinlerinde ve tüketicilerde bu konuda farkındalık oluşturulabilir. Tesisatların risk durumuna göre alınması gereken önlemler de

belirlenebilecek ve önerilen risk azaltıcı tedbirlerle sıhhi tesisatlardaki insan sağlığı açısından risk oluşturan ve suyun kalitesini bozan faktörlerle mücadele edilebilecektir.

Risk analiz matrisine göre şebekede toplam altı sıhhi tesisat düşük risk olan yeşil kategoride çıkmıştır. Bu noktaların beşi PPRC biri ise PE boru türüne sahiptir. İki nokta orta risk olan sarı kategoride yer almakta olup biri PPRC biri galvaniz metaldir. 13 nokta ise yüksek risk olan kırmızı kategoride çıkmıştır. Bu noktaların ikisi PE, 11'i ise galvaniz metaldir. Galvaniz metal tesisatlarda daha fazla tortu ve birikim olduğu, bu tortu üzerinde mikrobiyolojik çoğalmanın PE ve PPRC'ye göre daha fazla olduğu görülmüştür.

İçme suyu şebekelerinde biyofilm oluşumunun minimize edilmesi ve patojen mikroorganizma varlığının engellenmesi için suların arıtıldığı içme suyu arıtma tesislerinde, su dağıtım şebekelerinde ve bina içi sıhhi tesisatlarda alınması gereken tedbirler ve iyileştirmeler bulunmaktadır. Ayrıca sayaç sonrası bina iç tesisatlarının kontrolü için de idari ve hukuki düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Önerilen iyileştirmeler “Arıtma Tesislerinde Yapılacaklar”, “Su Dağıtım Sistemlerinde Yapılacaklar”, “Tüketiciler Tarafından Bina İç Sıhhi Tesisatlarda Yapılacaklar” ve “İdari ve hukuki açıdan yapılması gereken düzenlemeler” olarak dört başlık altında değerlendirilecektir:

Arıtma tesislerinde yapılacaklar

İçme suyu arıtma tesisleri büyükşehirlerde sular idareleri, diğer şehirlerde ise belediyeler tarafından işletilmektedir. Ayrıca bazı kuruluş ve işletmeler de şehir şebekesinden bağımsız olarak kendi içme suyu arıtma tesislerine sahip olabilmektedir. İçme suyu arıtma tesislerinin proses seçimleri ilgili su kalite mevzuat ve standartları doğrultusunda ham su özelliklerine ve ihtiyaç duyulan çıkış suyu parametrelerine göre seçilmektedir.

Arıtma tesisleri, dünya genelinde kabul edilen içme suyu standartları doğrultusunda sınır değerlere uyacak şekilde tasarlanmaktadır. Ancak tasarımlarda biyofilm oluşumunu tetikleyecek parametrelere ilişkin değerlendirmeler ve önlemler ihmal edilebilmektedir.

Su dağıtım sistemlerinde biyofilm, korozyon ve tortu oluşumunu minimize etmek için su arıtma tesislerinde aşağıdaki gibi önlemler alınmalıdır:

- Biyofilm oluşumunu tetikleyen sudaki TOK miktarı giderilmeli, ozonlama/membran filtrasyon gibi arıtma sistemleri kullanılmalıdır. Arıtma tesisi tasarımlarında TOK ve dezenfeksiyon yan ürünü olan THM ilişkisi göz önüne alınmakta, THM sınır değerini altındaysa karbon giderim yöntemleri kullanılmamaktadır. Biyofilm oluşumuna karşı TOK giderimi esas tutulmalıdır.
- Arıtılmış sudaki organik karbonu azaltmak, dağıtım sistemindeki yeniden çoğalma sorunlarını azaltmak için etkili olacaktır. Bunun için gelişmiş koagülasyon, membran filtrasyon, demir oksit kaplı ortam kullanılarak filtrasyon veya biyolojik filtrasyon dahil olmak üzere çeşitli arıtma teknolojilerinden biri arıtma sistemlerinde kullanılabilir. Yeni ve metal boruların daha az kullanıldığı şebekelerde dağıtım sistemine giren organik karbon miktarının azaltılması, biyofilm oluşumunun minimize edilmesi açısından uygulanabilir bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [46].
- Arıtılan suyun AKM ve bulanıklık parametreleri minimumda tutularak dağıtım şebekelerindeki boru yüzeylerinde tortu oluşumunun önüne geçilmelidir. Ayrıca arıtmada kullanılan koagülantların ve flokların şebekeye kaçması engellenmelidir [1]. Bunun için multimedya filtreler, membran filtreler vb. filtreleme üniteleri kullanılarak etkin filtreleme yapılmalıdır.
- Suda çözünmüş ve çökebilir demir, mangan ve diğer metaller arıtma tesisinde çöktürülmeli ve sistemden uzaklaştırılmalı, arıtılmış sudaki demir ve mangan minimize edilmelidir [1].
- Sudaki sertlik parametresi için ilgili mevzuat ve standartlarda kısıtlayıcı bir sınır değeri olmamasına karşın su dağıtım şebekesinde tortu ve birikinti oluşturabilecek iyonların konsantrasyonları, yumuşatma, iyon değiştirme vb. ünitelerle minimum seviyede tutulmalıdır.

Su dağıtım sistemlerinde yapılacaklar

Ülkemizde içme suyu arıtma tesisi çıkışından bina girişlerindeki sayaçlara kadar suyun iletimi ve dağıtımını belediyeler ve belediyelere bağlı sular idarelerinin sorumluluğundadır.

Arıtma tesislerinde ilgili mevzuat sınır değerlerine ve standartlara göre arıtılan suyun aynı kalitede son tüketiciye kadar ulaştırılabilmesi için su dağıtım şebekesinde suyun kalitesini olumsuz yönde etkileyen biyofilm oluşumuna karşı aşağıdaki önlemlerin alınması gerekmektedir:

- Şebekede uç noktada yeterli bakiye klor seviyesinin varlığı sağlanmalıdır. Bakiye dezenfeksiyonun etkili yapılabilmesi için arıtma çıkışı tek noktada klorlama yapmak yerine şebekede ara klorlama yapılmalıdır. Bakiye klor değerlerinin tüm noktalarda birbirine yakın değerde olması şebekenin mikrobiyolojik güvenliği açısından önemlidir. Uç noktalarda bakiye dezenfeksiyon miktarının da düzenli olarak ölçülmesi ve takip edilmesi gerekmektedir.
- Yeni boru döşeme ya da mevcut arızalı borunun değişimi sonrasında şebeke devreye alınmadan önce mutlaka ilk yıkama (flushing) yapılmalı, şebekeye verilen su tahliyelerden akıtılarak şebekenin temizlenmesi ve boru içinde kalan katı maddelerin sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Ayrıca yine şebekede çalışma yapılan bölgede şok klorlama yapılarak biyofilm oluşumuna neden olabilecek mikrobiyolojik aktivitelerin önüne geçilmelidir. Şok klorlamadan sonra şebekeye verilen su tahliyelerden boşaltılarak ilk yıkama yapılmalıdır.
- Şebekenin basıncı optimize edilerek basınç dalgalanmaları veya suyun şebekede ters hareketlerinin önüne geçilmelidir. Bu tür durumlarda şebekede oluşan biyofilm tabakası suyun farklı yönlerdeki hareketiyle yüzeyden koparak su ortamına geçebilmektedir.
- Su kesintisi yapılan bölgelerde şebekeye su verilmeden önce yine mümkünse ilk yıkama (flushing) yapılmalı, tüketicilerin kesinti sonrası ilk gelen suyu tüketmemeleri için bilgilendirme yapılmalıdır. Su kesintisi gibi durumlarda da suyun şebekeye verilmesiyle biyofilm tabakasında kopma ve suya karışma riski oluşmaktadır.
- Şebeke borularının seçiminde iç yüzeyi pürüzsüz ve korozyona karşı dayanıklı malzemeyle kaplanmış boru türleri tercih edilmelidir. Metal bazlı dağıtım sistemlerinde suda çok düşük organik karbon konsantrasyonu olsa bile biyofilmeler gelişebilmektedir. Su kalitesini iyileştirmek için dağıtım sistemlerindeki demir boruların değiştirilmesi veya iç kaplamalarının yenilenmesi gerekmektedir [46].
- Şebeke hatlarının iç yüzeyi robot kameralar yardımıyla görsel olarak da incelenmeli ve tortu oluşan veya korozyona uğrayan hatlar tespit edilerek gerekli aksiyonlar alınmalıdır.
- Biyofilmle mücadelede şebekenin fiziki temizliği de önemli bir yöntemdir [12]. Şebekenin fiziksel temizliği düzenli olarak yapılmalı ve boru yüzeyleri mekanik olarak temizlenerek tortu ve biyofilm oluşumları engellenmelidir. Su dağıtım şebekelerinin

biyofilm ve tortu oluşumuna karşı çeşitli yöntemlerle temizliği mümkündür. Şebekede belirli giriş noktalarından boru içerisinde çakıl taşı veya Ice Pigging™ tekniğiyle yarı katı buz parçacıkları gönderilmekte, bu maddeler suyun akışıyla birlikte hareket ederek boru yüzeylerinde bulunan biyofilm tabakaları ve diğer tortuları sürtünme kuvvetiyle fiziksel olarak parçalayabilmektedir [96]. Daha sonra şebekeye harici olarak verilen bu maddeler, kirli suyla birlikte tahliye hatları vasıtasıyla sudan uzaklaştırılabilmektedir. Bu sayede içme suyu şebekelerinin düzenli temizliği yapılabilmektedir. Bazı Avrupa ve Uzakdoğu ülkelerinde bu yöntemler şebekelerin biyofilm ve tortu oluşumuna karşı temizlik ve bakım çalışmalarında kullanılmaktadır.

- Şebeke tasarımlarında ve işletilmesinde ölü noktalardan ve dal tipi şebeke yapılarından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Bu sayede şebeke içinde su durgunluğunun önüne geçilmesi gerekmektedir. Durgun sularda ve ölü noktalarda daha yoğun biyofilm oluşmaktadır.
- Dağıtım şebekelerinde yer alan su depolarının düzenli olarak temizliğinin ve bakımının yapılması ve depo yüzeylerinin epoksi türü yalıtım malzemesiyle kaplanması gerekmektedir. Düzenli temizliği yapılmayan depoların dibinde bir süre sonra çökeltiler oluşmakta ve su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Depo yüzeylerindeki yalıtım malzemesi de aşındığında yüzeyde biyofilm oluşumuna elverişli ortamlar meydana gelebilmektedir.
- Su depolarının sürüngelemlere, kemirgenlere ve böceklerle karşı korunaklı ve tam yalıtımlı olması gerekmektedir. Yalıtımsız depolarda diğer canlıların bulunmasından kaynaklı biyofilm oluşumu ve patojen mikroorganizma varlığı riski oluşmaktadır.

Tüketiciler tarafından bina içi sıhhi tesisatlarda yapılacaklar

Su şebekelerinde estetik sorunların (koku, tat, görüntü vs.) çoğu, tüketicinin sorumluluğunda olan sayaç sonrası bina içi su tesisatından kaynaklanmaktadır. Tesisattan kaynaklanan başlıca problemler, esas olarak galvanik korozyon nedeniyle metallerin suya karışması, tesisat sistemi içinde mikroorganizmaların gelişmesi veya bakımı yapılmamış su depoları nedeniyle suyun kirlenmesidir [21].

Ülkemizde belediyeler, sular idareleri ve Sağlık Bakanlığına bağlı Halk Sağlığı İl Müdürlükleri tarafından bina içlerindeki musluklardan zaman zaman numune alınsa da bina içi sıhhi tesisatların ve su depolarının kontrolü ve denetimi yapılmamaktadır. Bina

girişlerindeki su sayaçlarından sonra bina içi sıhhi tesisatların ve su depolarının bakım ve onarımı tüketicilere (abonelere) aittir.

İlgili mevzuat hükümleri doğrultusunda kurumların sorumluluğu dışında kalan ve tüketicilerin sorumluluğunda olan bina içi sıhhi tesisat ve su depolarının bakımlarının yapılmaması, korozyona uğraması, yanlış malzeme seçimi, çapraz bağlantıların yapılması ve boru arızaları gibi nedenlerle su kalitesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan bozulabilmekte, insan sağlığı açısından önemli risklere yol açabilmektedir.

Su kalitesinin korunması ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilecek faktörlerin ortadan kaldırılması için tüketicilerin bina içi sıhhi tesisatların durumu ve bakımı konusunda bilinçli olması ve tesisatların fiziki durumunu takip etmeleri son derece önemlidir.

Sıhhi tesisatlarda ve bina içi su depolarında biyofilm tabakasının oluşumunun engellenmesi açısından aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- Binaların sıhhi tesisatlarında kullanılan boru ve malzemelerde suyun koroziv etkisine açık metal bazlı kurşun, bakır, galvaniz ve demir döküm maddeler yerine plastik bazlı suda çözünmeyen PPRC, polietilen vb. maddelerden yapılmış malzemeler kullanılmalıdır [45].
- Binanın yaşına göre tesisatların durumu takip edilmelidir. Tesisat yaşı açısından 5 yıl ve üzeri olan II. ve III. kategori binalarda iç tesisatlarda ve su depolarında korozyon ve tortu kontrolü yapılmalı, boru yüzeyleri incelenmelidir. Korozyona uğramış, eskimiş veya ekonomik ömrünü doldurmuş sıhhi tesisatların ve su depolarının ivedilikle yenilenmesi gerekmektedir.
- Boru yüzeylerinden, su depolarından ve iç tesisattan akan sulardan mikrobiyolojik numune alınması sağlanmalı, uzman ve yetkili bir laboratuvara biyofilm oluşumuna karşı toplam koloni analizi yaptırılmalıdır. Toplam koloni analizinin pozitif çıktığı durumlarda ek analiz talep edilmeli ve şebekede Toplam Koliform, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Legionella pneumophila* ve Enterokok gibi türlerin varlığı da incelenmelidir. İç tesisatta bu tür patojenlerin varlığı tespit edildiğinde acilen önlem alınmalı, öncelikle mikrobiyel çoğalmanın kaynağı tespit edilmeye çalışılmalıdır. Bu konuda gerekirse uzman sıhhi tesisatçılardan destek alınmalıdır. Mikrobiyel çoğalmanın kaynağı tespit edildikten sonra tesisatın durumuna

göre mekanik temizlik, dezenfeksiyon veya tesisat yenileme gibi tedbirler uygulanmalıdır.

- İç tesisatların mekanik temizliği boru içi birikinti oluşumuna bağlı olarak düzenli yaptırılmalıdır. Tesisat temizliğinde alternatif yöntemler uygulanabilmektedir. Örneğin Ice Pigging™ tekniğiyle yarı katı buz parçacıkları boru içine gönderilmekte, bu maddeler suyun akışıyla birlikte hareket ederek boru yüzeylerinde bulunan biyofilm tabakaları ve diğer tortuları sürtünme kuvvetiyle fiziksel olarak parçalayabilmektedir [96].
- Sıhhi tesisat ve depo bağlantıları yetkili, ilgili meslek odasına kayıtlı ve uzman tesisatçılar tarafından yapılmalıdır.
- Sulama suyu, atıksu veya içme suyu tesisatlarının birbirine karışmaması için çapraz bağlantıların olmaması gerekmektedir.
- Bina içi su depolarının yıllık periyotlarda düzenli olarak yetkili firmalarca temizliğinin yapılması gerekmektedir. Düzenli temizlik yapılmayan depolarda tortu ve birikintilere bağlı biyofilm oluşumu ve patojen mikroorganizma çoğalması meydana gelebilmektedir.
- Bina içi su depoları tam yalıtımlı ve sızdırmaz olmalıdır. Depo iç yüzeyi suyla etkileşimi olmayan ve suda kullanıma izin verilmiş malzemelerle kaplanmalıdır.
- Sitelerde ve benzeri toplu yerleşim yerlerinde bulunan merkezi su depoları mikrobiyel büyüme için periyodik olarak incelenmeli ve düzenli olarak temizlenmelidir. Sıhhi tesisat sistemlerinde kullanılan malzemeler ve bağlantı parçaları, mikrobiyel büyümeyi desteklemeyecek malzemelerden seçilmeli, test edilmiş ve sertifikalandırılmış olmalıdır [45].
- Depolarda suyun uzun süre beklemesine izin verilmemeli, sürekli akış sağlanmalıdır. Sadece su kesintilerinde devreye giren su depolarında suyun uzun süre beklemesinden kaynaklı fiziksel, kimyasal veya mikrobiyolojik su kalite problemleri yaşanabilmektedir.

İdari ve hukuki açıdan yapılması gereken düzenlemeler

Tüketicilerin, bina sakinlerinin veya site yönetimlerinin yukarıda bahsedilen önlemlerin tamamını alması ve takibini yapması için konuyla ilgili yeterli düzeyde farkındalık ve teknik bilgi birikimine sahip olmaları gerekmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında bir yerleşim yerindeki tüm binalarda aynı oranda farkındalığa ve teknik bilgiye sahip tüketici veya bina yöneticisi bulmak mümkün değildir.

Biyofilm oluşumuna açık, takibi ve bakımı yapılmayan her bina içi su tesisatı, sağlık açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle insan sağlığı açısından çok önemli bir husus olan bina içi su tesisatlarının ve su depolarının su kalitesini izlemek ve biyofilm oluşumuna karşı gerekli tedbirleri almak için kişilerden bağımsız idari bir denetim mekanizması ve ortak bir yöntem oluşturulması gerekmektedir.

Ülkemizde sıhhi tesisatlar sadece inşaat sonrasında imalatlar açısından denetlenmekte, daha sonra fiziksel durumu ve su kalitesine etkileri açısından kontrol edilmemektedir. Sayaç sonrası iç tesisatın ve tesisatlarda oluşan biyofilm tabakalarının su kalitesine etkisi izlenmemekte ve denetlenmemektedir.

Asansörlerin düzenli bakımları için 2018 yılında “Asansör Periyodik Kontrol Yönetmeliği” çıkarılmış, bu kapsamda sorumlu meslek kuruluşu olan Makine Mühendisleri Odası tarafından asansörlerin periyodik kontrolleri yapılarak etiketleme yöntemiyle asansörler denetlenmektedir. Sıhhi tesisatlar için de benzer bir yöntem önerilmektedir.

Ortak ve metodolojik bir denetim yöntemi olarak bu çalışma kapsamında geliştirilen “Sıhhi Tesisat Risk Analiz Matrisi” binaların sıhhi tesisatlarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik sonuçlarının risk değerlendirmesinde kullanılabilecek ve matristen toplam risk puanını belirlenerek tesisatlar risk rengine göre etiketlenebilecektir. Bu sayede tüketicilerde farkındalık oluşturulabilecektir. Bu çalışmada oluşturulan risk analiz matrisi, daha sonra bu alanda yapılacak ilave çalışmalar ve analizlerle desteklenerek geliştirilebilecek ve risk faktörünü etkileyebilecek farklı izleme parametreleriyle güçlendirilebilecektir.

Bina içi sıhhi tesisatların ve su depolarının düzenli bakım ve denetimleri için “Bina İçi Sıhhi Tesisat ve Su Deposu kontrol Yönetmeliği” çıkarılmalıdır. Bu yönetmelikle sıhhi tesisatların ve su depolarının su kalitesine etkileri açısında periyodik kontrolünü ve denetimini yapmak üzere Sağlık Bakanlığı ve/veya Belediye tarafından yetkilendirilen bağımsız muayene kuruluşlarına ilişkin usul ve esaslar belirlenmelidir. Risk analiz matrisi bu yönetmeliğin eki olarak kayıt altına alınabilecek ve kullanımı yaygınlaştırılabilir.

Sıhhi tesisatlar ile ilgili meslek kuruluşu olarak 5362 sayılı Esnaf ve Sanatkarlar Meslek Kuruluşları Kanunu kapsamında Kalorifer Sıhhi Tesisat Doğalgaz İzolasyon ve Montajcılar Odaları kurulmuştur. Sıhhi tesisatçıların kayıtları bu odalar tarafından yapılmaktadır. Sıhhi

tesisatların düzenli olarak denetiminin ve su kalitesinin izlenmesinin ilgili meslek odası, belediye/sular idaresi ve Halk sağlığı ekiplerinin koordinasyonunda gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: World Health Organization, WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* [electronic resource]: incorporating the first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 4. Baskı, 1 – 305. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Son Erişim Tarihi: 16.10.2020.
2. Prest, E. I., Hammes, F., van Loosdrecht, M. C. M. & Vrouwenvelder, J. S. (2016). Biological stability of drinking water: controlling factors, methods, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 7, 45, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00045>.
3. Boe-Hansen, R., (2001). *Microbial growth in drinking water distribution systems*, Doktora Tezi (Ph.D.), Environment & Resources Denmark Technical University, Copenhagen, 18-38.
4. Türetgen, İ. (2005). *Su Sistemlerinde Mikrobiyal Biyofilm Oluşumunun İncelenmesi*, Doktora Tezi (Ph.D.), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 16-62
5. Nescerecka, A., Rubulis, J., Vital, M., Juhna, T. & Hammes, F. (2014). Biological instability in a chlorinated drinking water distribution network. *PLoS ONE* 9, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096354>.
6. Skjevrak, I., Lund, V., Ormerod, K., Due, A. & Herikstad, H. (2004). Biofilm in water pipelines; a potential source for off-flavours in the drinking water. *Water Science & Technology*, 49, 211–217, <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0573>.
7. Zhang, Y., Love, N. & Edwards, M. (2009). Nitrification in drinking water systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39, 153–208, <https://doi.org/10.1080/10643380701631739>.
8. Liu, S. vd. (2016). Understanding, monitoring, and controlling biofilm growth in drinking water distribution systems. *Environmental Science and Technology*, 50, 8954–8976, DOI: 10.1021/acs.est.6b00835.
9. Costerton, J.W., Lewandowski, Z., Caldwell, D.E., Korber, D.R., Lappin-Scott, H.M. (1995). Microbial biofilms. *Annual Review of Microbiology*, 49, 711-745, <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.49.100195.003431>.
10. Freeman, C. and Lock, M.A. (1995). The biofilm polysaccharade matrix: A buffer against changing organic carbon supply? *Limnology Oceanography*, 40, 273- 278, <https://doi.org/10.4319/lo.1995.40.2.0273>.
11. Poulsen LV. (1999). Microbial biofilm in food processing. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 32 (6), 321-326.
12. Flemming H, Flemming C. (2002). Biofouling in water systems–cases, causes and countermeasures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(6), 1066-1069, DOI: 10.1007/s00253-002-1066-9.

13. Arnold JW, Silvers S, (2000). Comparison of poultry processing equipment surfaces for susceptibility to bacterial attachment and biofilm formation. *Poultry Science*, 79, 1215-1221, DOI: 10.1093/ps/79.8.1215.
14. Lindsay D, Brözel VS, Mostert JF, Von Holy A. (2002). Differential efficacy of a chlorine dioxide-containing sanitizer against single species and binary biofilms of a dairy-associated *Bacillus cereus* and a *Pseudomonas fluorescens* isolate. *Journal of Applied Microbiology*, 92, 352 – 361.
15. LeChevallier, M., Cawthon, C.D., Lee, R.G. (1988), Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies. *Applied Environmental Microbiology*, 54, 649-654.
16. Hallam NB, West, JR, Forster, CF, Simms J. (2001). The potential for biofilm growth in water distribution systems. *Water Research*, 35, 4063-4071, DOI: 10.1016/s0043-1354(01)00248-2.
17. Wingender J., Flemming H. C., (2011). Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, 417– 423, DOI: 10.1016/j.ijheh.2011.05.009.
18. Stoodley, P., Wilson, S., Cargo, R., Piscitelli, C., Rupp, C.J., (2001). Detachment forces and other dynamic processes in bacterial biofilms, in Surfaces in Biomaterials Symposium Proceedings. *Surfaces in Biomaterials Foundation*, 189-192.
19. Telgmann, U., Horn, H., Morgenroth, E., (2004), Influence of growth history on sloughing and erosion from biofilm. *Water Research*, 38, 3671-3684, DOI: 10.1016/j.watres.2004.05.020.
20. Acehan, G., (2007), *İçme Sularının Mikrobiyolojik Kirlenme Potansiyelinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 97-100.
21. Gray N. F. (2008). *Drinking Water Quality: Problems and Solutions*. (Second Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 225 – 414.
22. Kilb, B., Lange, B., Schaule, G., Flemming, H.-C., Wingender, J., (2003). Contamination of drinking water by coliforms from biofilms grown on rubber-coated valves. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206 (6), 563–573, DOI: 10.1078/1438-4639-00258.
23. Lu, W., Kiene, L., Levi, Y., (1999), Chlorine demand of biofilms in water distribution systems. *Water Research*, 33, 827-835, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00229-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00229-2).
24. Momba, M.N.B., Cloete, T.E., Venter, N., Kfir, R., (1999), Examination of the behavior of *Escherichia coli* in biofilms established in laboratory-scale units receiving chlorinated and chloraminated water. *Water Research*, 33, 2937-2940.
25. Saravia, S.G.G., Mele, M.F.L., (2003), Non-invasive methods for monitoring biofilm growth in industrial water systems. *Latin American Applied Research*, 33, 353-359.

26. Beveridge, T.J., Makin, S.A., Kadurugamuwa, J.L., Li, Z., (1997), Interaction between biofilms and the environment. *FEMS Microbiology Review*, 20, 291-303, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00315.x>.
27. Flemming, H.-C., Percival, S.I., Walker, J.T., (2002). Contamination potential of biofilms in water distribution systems. *Water Science and Technology Water Supply*, 2, 271–280, <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0032>.
28. İstanbulluoğlu H., Oğur R., Tekbaş Ö.F., (2010), Su Sistemlerinde Mikrofilm (Biyofilm) Tabakası. *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 9(6); 553–555.
29. Donlan RM. (2002) Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*, 8, 881-890, DOI: 10.3201/eid0809.020063.
30. Zottola EA, Sasahara KC. (1994) Microbial biofilms in the food processing industry - should they be of concern? *International Journal of Food & Microbiology*, 23, 125-148, [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90047-7).
31. Van Loosdrecht MCM, Lyklema J, Norde W, Zehnder AJB. (1990) Influence of interfaces on microbial activity. *Microbiology Review*, 54, 75-87, DOI: 10.1128/mr.54.1.75-87.1990.
32. Flemming CA, Palmer Jr RJ, Arrage AA, van der Mei HC, White DC. (1998) Cell surface physiochemistry alters biofilm development of *Pseudomonas aeruginosa* lipopolysaccharide mutants. *Biofouling*, 13, 213-231.
33. Busscher HJ, Bos R, van der Mei HC. (1995) Microbial adhesion is a determinant for the strength of biofilm adhesion. *FEMS Microbiology Letters*, 128, 229-234.
34. Boyd A, Chakrabarty AM. (1995) *Pseudomonas aeruginosa* biofilms: role of the alginate exopolysaccharide. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 15, 162-168.
35. Hall-Stoodley L, Costerton JW, Stoodley P. (2004) Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 95-108.
36. Costerton JW, Lewandowski Z, De Beer D, Caldwell D, Korber D, James G. (1994) Biofilms, the customised microniche. *Journal of Bacteriology*, 176, 2137-2142.
37. Aparna MS., Yadav S. (2008) Biofilms: Microbes and Disease Aparna. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 12(6), 526-30.
38. D. Lindsay, A. von Holy, (2006), Bacterial biofilms within the clinical setting: what healthcare professionals should know. *Journal of Hospital Infection*, 64, 313-325.
39. Del Giorgio, P.A. and Cole, J.J. (1998) Bacterial growth efficiency in natural aquatic systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 503-541.
40. Donlan, R.M., Pipes, W.O., and Yohe, T.L. (1994) Biofilm formation on cast iron substrata in water distribution systems. *Water Research*, 28, 1497-1503.
41. Favere, J., Barbosa, R.G., Sleutels, T., Verstraete W., De Gusseme B., Boon, N. (2021). Safeguarding the microbial water quality from source to tap. *npj Clean Water*, 4(28).

42. R. Van Houdt, C.W. Michiels (2010), Biofilm formation and the food industry, a focus on the bacterial outer surface. *Journal of Applied Microbiology*, 109(4), 1117-1131.
43. Pietrzyk, A., Papciak, D. (2017), The influence of water treatment technology on the process of biofilm formation on the selected installation materials. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, 64, 131–142.
44. San Keskin, N. O., Kahveci, E. F., (2019), Polietilen ve Demir Boru Sistemlerinde Oluşan Mikrobiyel Biyofilmlerin Karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 31(1), 1-8.
45. Niquette, P., Servais, P. and Savoir, R. (2000). Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research*, 34(6), 1952–6.
46. Camper, A.K., Brastrup, K., Sandvig, A., Clement, J., Spencer, C., Capuzzi, A.J., (2003), Effect of distribution system materials on bacterial regrowth. *AWWA*, 95, 107-108.
47. Norton, C.D., Lechevallier, M.W., 2000, A pilot study of bacteriological population changes through potable water treatment and distribution. *Applied Environmental Microbiology*, 66, 268-276.
48. Proctor C. R., Reimann M., Vriens B., Hammes F., (2018), Biofilms in Shower Hoses, *Water Research*, 131, 274-286.
49. Zacheus, O.M.; Iivanainen, E.K.; Nissinen, T.K.; Lehtola, M.J.; Martikainen, P.J. (2000) Bacterial biofilm formation on polyvinyl chloride, polyethylene and stainless steel exposed to ozonated water. *Water Research*, 34, 63–70.
50. Küçükgül, E. Y., Özdağlar, D. (2004). İçme Suyunda Agresivitenin Saptanması ve Şebekede Korozyonun Önlenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20-23.
51. İnternet: Doelman, J. B. Scale Factors, Reducing Corrosion in Pipelines with Electronic Water Treatment. URL: <https://www.waterworld.com/drinkingwater/distribution/article/16192780/scale-factors-reducing-corrosion-in-pipelines-with-electronic-water-treatment>. Son Erişim Tarihi: 12 Nisan 2022.
52. Güler, Ç, Çobanoğlu. Z., (1994). Su Kirliliği, *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü*, 12.
53. İnternet: USEPA. Potential Contamination Due to Cross-Connections and Backflow and the Associated Health Risks. U.S. Environmental Protection Agency Office of Ground Water and Drinking Water Standards and Risk Management Division. URL: https://www.epa.gov/safewater/disinfection/tcr/regulation_revisions_tcrdsac_10_01_25.html. Son Erişim Tarihi: 29 Şubat 2022.
54. Cann, K. F., Thomas, D. R., Salmon, R. L., Wyn-Jones, A. P. & Kay, D. (2013), Extreme waterrelated weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection*, 141, 671–686.

55. Bernet-Camard, M.F., Liévin, V., Brassart, D., Neeser, J.R., Servin, A.L., and Hudault, S. (1997) The human *Lactobacillus acidophilus* strain LA1 secretes a nonbacterin antibacterial substance(s) active in vitro and in vivo. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 2747-2753.
56. Boe-Hansen, R., Albrechtsen, H.J., Arvin, E., Jorgensen, C. (2002), Bulk water phase and biofilm growth in drinking water at low nutrient conditions, *Water Research*, 36, 4477-4486.
57. Reasoner, D. J. (1993) Pathogens in drinking water: Are there any new ones? *Proceedings of the American Water Works Association, Water Quality Technology Conference*, 509-530.
58. DeZuane, J. (1997). *Handbook of Drinking Water Quality*, 2. Baskı. Wiley. New York, USA. 297 – 331.
59. LeChevallier, M.W., Welch, N. J. and Smith, D. B. (1996). Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(7), 2201–11.
60. Skadsen, J. (1993) Nitrification in distribution systems. *Journal of the American Water Works Association*, 85(7), 95–103.
61. Gün, İ., Ekinçi, F. Y., (2009), Biyofilmler: Yüzeylerdeki Mikrobiyal Yaşam, *GIDA*, 34 (3): 165-173.
62. Stout, J., Yu, V. L. and Best, M. G. (1985). Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 49, 221–8.
63. Joseph, C. A., Watson, J. M., Harrison, T. G. and Bartlett, C. L. R. (1994). Nosocomial legionnaires' disease in England and Wales 1980–92. *Epidemiology and Infection*, 112, 329–46.
64. Clark, R.M., Lykins, B.W., Block, J.C., Wymer, L.J., and Reasoner, D.J. (1994) Water quality changes in a simulated distribution system. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 43, 263-277.
65. Fass, S., Dincher, M.L., Reasoner, D.J., Gatel, D., and Block, J.C. (1996) Fate of *Escherichia coli* experimentally injected in a drinking water distribution pilot system. *Water Research*, 30, 2215-2221.
66. Kalmbach, S. (1998) *Polyphasic characterization of the microbial population of drinking water biofilms*. Ph.D. Thesis. Technischen Universität Berlin.
67. Ellis, B.D., Butterfield, P., McFeters, G.A., and Camper, A.C. (2000) Effects of carbon source, carbon concentration, and chlorination on growth related parameters of heterotrophic biofilm bacteria. *Microbial Ecology*, 38, 330-347.
68. Pedersen, K. (1990) Biofilm development of stainless steel and PVC surfaces in drinking water. *Water Research*, 24, 239-243.

69. Percival, S.L., Knapp, J.S., Edyvean, R., and Wales, D.S. (1998) Biofilm development on stainless steel in mains water. *Water Research*, 32, 243-253.
70. Boe-Hansen, R., Albrechtsen, H.-J., Arvin, E. and Jørgensen, C. (2002b) Dynamics of biofilm formation in a model drinking water distribution system. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 51(7), 399-406.
71. Critchley M.M., N.J. Cromar, N.C. McClure, H.J. Fallowfield, (2003), The influence of the chemical composition of drinking water on cuprosolvency by biofilm bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 94(3), 501-507.
72. Critchley, M.M.; Cromer, N.J.; McClure, N.; & Fallowfield, N.J., (2001a). Biofilms and Microbially Influenced Cuprosolvency in Domestic Copper Plumbing Systems. *Journal of Applied Microbiology*, 91(4), 646.
73. Critchley, M.M.; Cromar, N.J.; McClure, N.; & Fallowfield, H.J., (2002). Biofilms in Copper Plumbing Systems: Sensitivity to Copper, Chlorine and Implications for Corrosion. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 97.
74. Critchley, M.M.; Cromar, N.J.; McClure, N.C.; & Fallowfield, H.J., (2003). The Influence of the Chemical Composition of Drinking Water on Cuprosolvency by Biofilm Bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 94(3), 501.
75. Leoni, E.; De Luca, G.; Legnani, R.P.; Sacchetti, R.; Stampi, S.; & Zanetti, F., 2005. Legionella Waterline Colonization: Detection of Legionella Species in Domestic, Hotel, and Hospital Hot Water Systems. *Journal of Applied Microbiology*, 98(2), 373.
76. Kevin E. E., Allyson and Catherine A. B. (2008). A Review of Biofilms in Domestic Plumbing. *Journal AWWA American Water Works Association*. 100(10), 131 – 138.
77. İnternet: Su analiz parametreleri - T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. URL: [https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/tghslb-sikca-sorulan-sorular.html#:~:text=Toplam%20koloni%20\(jerm\)%20say%C4%B1s%C4%B1%2C,beklenen%20de%C4%9Ferleri n%20de%C4%9Fi%C5%9Fiminin%20saptanmas%C4%B1na%20dayan%C4%B1r.](https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/tghslb-sikca-sorulan-sorular.html#:~:text=Toplam%20koloni%20(jerm)%20say%C4%B1s%C4%B1%2C,beklenen%20de%C4%9Ferleri n%20de%C4%9Fi%C5%9Fiminin%20saptanmas%C4%B1na%20dayan%C4%B1r.) Son Erişim Tarihi: 11 Nisan 2022.
78. İnternet: Coliform Bacteria in Drinking Water Supplies. Department of Health. New York State Government. URL: https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/coliform_bacteria.htm. Son Erişim Tarihi: 11 Nisan 2022.
79. İnternet: Sartorius AG. “ Microbiological Testing of Foods, Beverages, Drinking Water and Pharmaceuticals”. URL: https://www.sartorius.com/en/search?search=Microbiological+Testing+of+Foods%2C+Beverages%2C+Drinking+Water+and+Pharmaceuticals#24598_24596=Microbiological%20Testing%20of%20Foods%2C%20Beverages%2C%20Drinking%20Water%20and%20Pharmaceuticals. Son Erişim Tarihi: 31 Ağustos 2020.
80. Halkman, A. K. Ed. (2012). Gıda, İçecek ve İlaçlarda Mikrobiyolojik Testlerin kolay ve Güvenilir Yolu: Membran Filtrasyon. *Sartorius Atöyle*, Ankara, 35 – 55.

81. Halkman, A K., v.d. (2019). *Gıda Mikrobiyolojisi 08. Sayım Yöntemleri*, Editör: A. Kadir Halkman. Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd, Ankara, 648 s. ISBN: 978-605-245-683-5.
82. İnternet: ASKİ Genel Müdürlüğü. Çamlıdere ve Kurtboğazı Barajı Özellikleri. Su Kaynaklarımız. URL: <https://www.aski.gov.tr/TR/ICERIK/Su-Kaynaklarimiz/32> Son Erişim Tarihi: 19 Nisan 2021.
83. Bakan, A. N. (1997). *Ankara'ya Su Sağlayan Kurtboğazı ve Çamlıdere Baraj Gölleri ile İvedik Su Arıtım Tesisinde Plankton Kompozisyonunun Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı, Ankara.
84. Hong W., Emilie B., Michele P., Anne K. C., Vincent R. H., Amy P. (2017). Methodological approaches for monitoring opportunistic pathogens in premise plumbing: A review. *Water Research*, 117, 68-86.
85. İnternet: İçme - Kullanma Sularının Denetimi ve Numune Alma Usulleri. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. URL: https://www.hssgm.gov.tr/content/documents/yonergeler_genelgeler. Son Erişim Tarihi: 5 Nisan 2021.
86. Gray, N. F. (2004). *Biology of Wastewater Treatment*. (Second Edition). London: Imperial College Press, 931 – 974.
87. İnternet: Yeast extract agar. Mikrobiyoloji. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFF437A20A02002D1E>. Son Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020.
88. İnternet: Chromocult Coliform Agar. Besiyerleri. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF55FAF7992F795E14>. Son Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020.
89. İnternet: Endo Agar. Mikrobiyoloji. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF4E28CAAEE37831E5>. Son Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020.
90. İnternet: Pseudomonas selective (cetrimide) agar base. Besiyerleri. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFB627171419F24C84>. Son Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2020.
91. İnternet: Bismuth sulfite agar Wilson-Blair. Mikrobiyoloji. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFBE95167F99AD5827>. Son Erişim Tarihi: 7 Nisan 2020.
92. İnternet: Chapman agar (Staphylococcus selective agar). Besiyerleri. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF157DD6E0CF8B4E79>. Son Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020.
93. İnternet: Azide dextrose broth. Besiyeri. URL: <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF8AA8362AC54E3DE81>. Son Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020.

94. İnternet: World Health Organization, WHO. (2010). Hardness in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality 1 - 9. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70168/WHO_HSE_WSH_10.01_10_Rev1_eng.pdf;jsessionid=13EED1E4B9B7B6F2466921BD62D7431A?sequence=1. Son Erişim Tarihi: 26.05.2022.
95. İnternet: ASKİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ. ASKİ Tarifeler ve Abone Hizmetleri Yönetmeliği (Madde 20). URL <https://aski.gov.tr/Yukle/Dosya/mevzuatlar/abonedaairesitarifeleryonetmeligi.pdf>. Son Erişim Tarihi: 10.03.2021.
96. İnternet: SUEZ Group. “Pipework cleaning”. URL: <https://www.suez.com/en/uk/water-network-management/pipework-cleaning>. Son Erişim Tarihi: 10.01.2022



Gazili olmak ayrıcalıktır

