İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY SULARINDAN AKTİF KARBON VE ULTRAFİLTRASYON TEKNOLOJİLERİ İLE İÇİLEBİLİR SU ELDESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra KARAMAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

NİSAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY SULARINDAN AKTİF KARBON VE ULTRAFİLTRASYON TEKNOLOJİLERİ İLE İÇİLEBİLİR SU ELDESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra KARAMAN
(506141029)

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melek TÜTER

NİSAN 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506141029 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KARAMAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonar hazırladığı "YÜZEY SULARINDAN AKTİF KARBON VE ULTRAFİLTRASYON TEKNOLOJİLERİ İLE İÇİLEBİLİR SU ELDESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Melek TÜTER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Sibel SARGUT Marmara Üniversitesi	.....

Her zaman yanımda olan aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamı yönlendiren, değerli tecrübeleri, görüş ve eleştirileri ile tez çalışmamı destekleyen çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Melek TÜTER'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarımın yürütülmesi için imkan sağlayan, Arçelik A.Ş Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Yük. Müh. Cem KURAL ve Sn. Dr. Emre OĞUZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan ve deneyimlerini paylaşarak beni yönlendiren Sn.Yük. Müh. Zehra ÜLGER'e tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Tüm deneysel çalışmalarda tecrübe ve yardımlarıyla çalışmamı kolaylaştıran, birlikte çalışmaktan son derece keyif aldığım Sn.Emine BİRCİ ve Sn. Özcan HATİPOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta Sn. Yük. Müh. Ekin DALAK, Sn. Yük. Müh. Pervin SAYGIN, Sn. Dr. Abdullah SERT ve Sn. Dr. Burcu GÜVENATAM olmak üzere tüm Temel Bilimler Teknoloji Ailesi'ne çok teşekkür ederim.

Arçelik A.Ş.'de tanıma fırsatı bulduğum ve çalışma hayatıma değer katan arkadaşlarım Duygu ÖZÇELİK, Nilüfer ÇAKMAKÇI, Sevilay Burcu ŞAHİN, Furkan BEYAV, Tuğçenaz ÖFKELİ, Mert ÇALICIOĞLU ve Mine ÇELİK'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, sevgisini ve desteğini esirgemeyerek bugünlere gelmemi sağlayan hayattaki en kıymetli varlığım olan aileme tüm kalbimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2017

Büşra KARAMAN
Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET..... **xvii**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**
2.1 Yüzey Suyu 5
2.2. Yüzey Suyu Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri 5
2.3 İçme Suyunda Karşılaşılan Problemler ve Kaynakları 8
2.3.1 Birincil Parametreler 9
2.3.1.1 Nitrat ve Nitrit 9
2.3.1.2 Bakır 10
2.3.1.3 Arsenik 10
2.3.1.4 Mikrobiyal kirlilik 11
2.3.2 İkincil parametreler 13
2.3.2.1 pH 13
2.3.2.2 Renk 13
2.3.2.3 Toplam çözünmüş katı ve iletkenlik 14
2.3.2.4 Sülfat 14
2.3.2.5 Bulanıklık 15
2.4. Standartlar ve Regülasyonlar 15
2.4.1 EPA 3745-81-71 Yüzey suyu kaynaklarında filtrasyon ve dezenfeksiyon için genel gereksinimler 15
2.4.2 Kanada Halk Sağlığı Regülasyonu 15
2.4.3. Güvenli İçme Suyu Kanunu (Safe Drinking Water Act- SDWA) 17
2.4.4 Amerika Ulusal Standart Enstitüsü NSF/ANSI 42 ve NSF/ANSI53 Standartları 18
2.4.5 Türk Standartları Enstitüsü ve Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standardı 19
2.5. Arıtma Yöntemleri 20
2.5.1 Aktif karbon 20
2.5.2 Ultrafiltrasyon 22
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **25**
3.1 Kimyasal Analizler için Kullanılan Malzemeler 25
3.1.1 Kimyasallar 25
3.1.2 Hazırlanan Çözeltiler 26

3.1.3. Kullanılan cihazlar 27
3.2 Kimyasal Analizler İçin KullanılanYöntemler 28
3.2.1 Filtrasyon şişeleri 28
3.2.2 Aktif karbon deney düzeneği 30
3.2.3 Ultrafiltrasyon deney düzeneği 32
3.2.3.1. Ultrafiltrasyon ile toplam organik karbon giderimi 32
3.2.3.2. Ultrafiltrasyon ile bulanıklık ve renk giderimi 33
3.2.4 Hibrit sistem 34
3.3 Mikrobiyal Analizler İçin Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler 34
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 39
4.1 Ticari Filtrasyon Şişelerinde Bulunan Filtrelerin Karakterizasyonu 39
4.2 Ticari Filtrasyon Şişeleri Performans Sonuçları 45
4.3 Aktif Karbonların Karakterizasyonu 48
4.4. Aktif Karbonların Filtrasyon Performans Sonuçları 49
4.4.1 Debi etkisi 49
4.4.2 pH etkisi 53
4.4.3 Sıcaklık etkisi 57
4.4.4 En iyi filtrasyon koşulları 61
4.5 Ultrafiltre Membranların Karakterizasyonu 62
4.6 Ultrafiltre Membranların Performans Sonuçları 64
4.7 Hibrit Sistem Performans Sonuçları 66
4.8 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları 69
5. VARGILAR VE ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 83

KISALTMALAR

ATCC : American Type Culture Collection (Amerikan Tipi Kültür Koleksiyonu)
ANSI : American National Standard Institute (Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü)
BET : Brunauer-Emmett-Teller
DOC : Dissolved Organic Carbon (Çözünmüş Organik Karbon)
EDS : Energy Dispersive Spectroscopy (Enerji Dağılım Spektroskopisi)
EPA : Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
FTIR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi)
FTS : Fizyolojik Tuzlu Su
KOB : Koloni oluşturan birim
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NASA : National Aeronautics and Space Administration (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi)
NSF : National Science Foundation (Ulusal Bilim Kurumu)
NTU : Nepholometric Turbidity Unit (Nefelometrik Bulanıklık Birimi)
PDVF : Poliviniliden diflorid
PET : Polietilen teraftalat
PES : Polieter sülfon
POE : Point of Entry (Giriş Noktası)
POU : Point of Use (Kullanım Noktası)
PP : Polipropilen
SDWA : Safe Drinking Water Act (Güvenli İçme Suyu Kanunu)
SEM : Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TDS : Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Katı)
TOC : Total Organic Carbon (Toplam Organik Karbon)
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
UNICEF : The United Nations Children Fund's (Birleşmiş Milletler Çocuk Kuruluşu)
UV : Ultraviyole
WHO : World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yüzey suyu kalite sınıfları **6**
Çizelge 2.2 : İçme suyu problemleri ve kaynağı **8**
Çizelge 2.3 : Bazı mikroorganizmalar ve mikron boyutları **12**
Çizelge 2.4 : Bazı mikroorganizmalar ve yol açtığı hastalıklar..... **12**
Çizelge 2.5 : Suyun rengine etki eden maddeler. **13**
Çizelge 2.6 : Su kalite parametreleri..... **16**
Çizelge 2.7 : Kullanım noktası (POU) teknolojilerinin uygulanabilirliği **17**
Çizelge 2.8 : Giriş noktası (POE) teknolojilerinin uygulanabilirliği..... **18**
Çizelge 2.9 : WHO ve TSE içme suyu standartı. **19**
Çizelge 3.1 : WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyu içeriği..... **27**
Çizelge 3.2 : Filtrasyon şişelerinin özellikleri **37**
Çizelge 3.3 : Standartlara göre giderilmesi gereken mikroorganizma türleri..... **38**
Çizelge 3.4 : Kullanılan mikroorganizmalar, inkübasyonkoşulları ve seçici besiyerleri. **43**
Çizelge 4.1 : ÖKO Original filtre iç katman EDS analizi. **43**
Çizelge 4.2 : Lifesaver ultrafiltre EDS analizi..... **44**
Çizelge 4.3 : Grayl filtre iç katman EDS analizi **44**
Çizelge 4.4 : Filtrelere ait BET analiz sonuçları..... **41**
Çizelge 4.5 : Ticari filtrasyon şişeleri performans sonuçları. **42**
Çizelge 4.6 : Aktif karbon özellikleri **46**
Çizelge 4.7 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine filtrasyon debisinin etkisi. **50**
Çizelge 4.8 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine filtrasyon debisinin etkisi. **51**
Çizelge 4.9 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde arsenik giderimine filtrasyon debisinin etkisi.. ..... **52**
Çizelge 4.10: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine çözelti pH'ının etkisi.. ..... **54**
Çizelge 4.11: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine çözelti pH'ının etkisi. **55**
Çizelge 4.12: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde arsenik giderimine çözelti pH'ının etkisi.. ..... **56**
Çizelge 4.13: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine çözelti sıcaklığı etkisi **57**
Çizelge 4.14:.Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine çözelti sıcaklığı etkisi. **59**

Çizelge 4.15 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon arsenik giderimine çözelti sıcaklığı etkisi. **60**
Çizelge 4.16 : En iyi koşullarda Filtracarb® RTO 8 x 30 US aktif karbonun filtrasyon performansı. **61**
Çizelge 4.17 : En iyi koşullarda CarboTech DGFA 8x30/55 aktif karbonun filtrasyon performansı. **61**
Çizelge 4.18 : Elit membran EDS analizi. **63**
Çizelge 4.19 : Membranların özellikleri **64**
Çizelge 4.20 : Hibrit sistem performans sonuçları **68**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünya'da su dağılımı **1**
Şekil 1.2 : Bölgelere göre yüzey suyu kullanan nüfusun dağılımı **2**
Şekil 2.1 : Aktif karbonun ve gözenek yapısının şematik modeli **21**
Şekil 2.2 : Membranlarda işletim modu **23**
Şekil 3.1 : ÖKO Original filtrasyon şisesi. **29**
Şekil 3.2 : Lifesaver filtrasyon şişesi. **29**
Şekil 3.3 : Grayl filtrasyon şisesi. **29**
Şekil 3.4 : Aktif karbon deney düzeneği. **31**
Şekil 3.5 : Ultrafiltrasyon deney düzeneği. **32**
Şekil 3.6 : Hümik asit sodyum tuzu absorbans değerine bağlı konsantrasyon grafiği… **33**
Şekil 3.7 : Seyreltme işlemi **37**
Şekil 3.8 : Mikrobiyal analiz akım şeması. **38**
Şekil 4.1 : ÖKO Original filtre dış katman FTIR analizi. **39**
Şekil 4.2 : ÖKO Original filtre iç katman FTIR analizi. **40**
Şekil 4.3 : Lifesaver ultrafiltrenin FTIR analizi. **40**
Şekil 4.4 : Polietersülfon kimyasal yapısı. **41**
Şekil 4.5 : Grayl filtre dış katman FTIR analizi. **41**
Şekil 4.6 : Grayl filtre iç katman FTIR analizi. **42**
Şekil 4.7 : ÖKO Original filtre iç katman SEM görüntüsü. **42**
Şekil 4.8 : Lifesaver ultrafiltre SEM görüntüsü. **43**
Şekil 4.9 : Grayl filtre iç katman SEM görüntüsü. **44**
Şekil 4.10 : Filtracarb® RTO 8 x 30 US aktif karbon SEM görüntüleri. **49**
Şekil 4.11 : CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon SEM görüntüleri. **49**
Şekil 4.12 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde bakırın % giderim değerleri. **50**
Şekil 4.13 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde serbest klorun % giderim değerleri. **51**
Şekil 4.14 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde arsenik konsantrasyon değerleri. **52**
Şekil 4.15 : Merck MSQuant arsenik test kiti ile arsenik konsantrasyon değerlendirmesi. **53**
Şekil 4.16 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda bakırın % giderim değerleri. **54**
Şekil 4.17 : Aktif karbon zeta potansiyeli **54**
Şekil 4.18 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda serbest klorun % giderim değerleri. **55**

Şekil 4.19: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda arsenik konsantrasyon değerleri. **56**
Şekil 4.20 : Arsenat türlerinin pH'a bağlı dağılımı **56**
Şekil 4.21 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda bakır % giderim değerleri. **58**
Şekil 4.22 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda serbest klor % giderim değerleri. **59**
Şekil 4.23 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda arsenik konsantrasyonu değerleri. **60**
Şekil 4.24 : Lifesaver (PES) ultrafiltre membran. **62**
Şekil 4.25 : Elit (PP) ultrafiltre membran. **62**
Şekil 4.26 : Elit membran FTIR analizi. **63**
Şekil 4.27 : Elit membran SEM görüntüsü.. ..... **63**
Şekil 4.28: Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun TOC giderimine etkisi. **65**
Şekil 4.29 : Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun bulanıklık giderimine etkisi. **65**
Şekil 4.30: Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun bulanıklık giderimine etkisi. **66**
Şekil 4.31: Model yüzey suyu ve hibrit sistemden geçen su a. Model yüzey suyu b. Aktif karbon filtre sonrası model su c. Hibrit sistemden geçen su **67**
Şekil 4.32 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *E.coli* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~10^6 kob/mL; Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe) **70**
Şekil 4.33 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *S.aureus* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~10^6 kob/mL; Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe) **70**
Şekil 4.34 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *P.aureginosa* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu: ~10^6 kob/mL ; Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe) **71**
Şekil 4.35 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *S.typhimurium* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~10^6 kob/Ml; Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe) **71**
Şekil 4.36 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *C.perfingens* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~10^6 kob/mL; Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe) **72**

YÜZEY SULARINDAN AKTİF KARBON VE ULTRAFİLTRASYON TEKNOLOJİLERİ İLE İÇİLEBİLİR SU ELDESİ

ÖZET

Günümüzde, canlı yaşamı için vazgeçilmez bir unsur olan su kaynakları, küresel ısınma, gelişen sanayileşme ve bilinçsiz tüketim sonucu hızla tüketilmektedir. Dünya'daki su kaynaklarının yalnızca %3'ü insani tüketim amaçlı kullanılabilecek olan tatlı sulardan oluşmaktadır. Temiz ve güvenilir suya erişim temel insani bir hak olmasına rağmen, dünya üzerinde özellikle gelişmekte olan ülkelerde suya ulaşmak kritik bir problemdir. Su kalitesinin bozulmasıyla ortaya çıkan sağlık problemleri ve ölümler, su sorunun önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, ağır metal, arsenik gibi kimyasallarla ve mikrobiyolojik olarak kirletilmiş yüzey sularından aktif karbon ve ultrafiltrasyon teknolojileri kullanılarak içilebilir su eldesi sağlayan portatif bir cihaz tasarlanması amaçlanmıştır.

Yüzey sularından içilebilir su eldesi sağlayan portatif cihazlar için geleneksel ve alternatif teknolojilerin belirlenmesine yönelik yapılan araştırma sonucu, Amerika menşeili ÖKOH20 firmasından ÖKO Original marka, Grayl firmasından Grayl marka ve İngiltere menşeili Lifesaver firmalarından Lifesaver marka filtrasyon şisesi temin edilmiştir. ÖKO Original, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi (NASA) tarafından Polietilen tereftalat (PET) malzeme arasına alümina sodyum silikat ve aktif karbon konularak tasarlanmış patentli bir filtreye sahiptir. Lifesaver, ultrafiltrasyon ve aktif karbon teknolojilerini kullanmaktadır. Grayl ise tozlaştırılmış aktif karbon gümüş katkılı zeolit bir filtreye sahiptir. Bu şişelerin filtrasyon performanslarını belirlemek amacıyla belli standartlara uygun yüzey suyu hazırlanmıştır. Bu amaçla, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenmiş model yüzey suyuna, nitrat, nitrit, sülfat, bakır gibi kirleticiler, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığınca, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği'nde belirlenmiş su kalite sınıflarından IV.sınıf su baz alınarak ilave edilmiştir. Her üç şişede de filtrasyon yapılarak, şişelerin performansları karşılaştırılmıştır.

Filtrasyon şişeleri ile yapılan deneyler sonucunda, şişelerin nitrat, nitrit ve sülfat gideriminde başarısız olduğu; bakır, bulanıklık ve Toplam Organik Karbon (TOC) gideriminde etkin performans gösterdiği belirlenmiştir. ÖKO Original ve Grayl renk gideriminde, Lifesaver'a göre daha iyi sonuç vermiştir. Lifesaver şişesi %97 renk giderimi sağlasa da rengi içilebilir limite düşürememiştir.

Su filtrasyonunda en sık kullanılan adsorbanlardan biri geniş bir yüzey alanına sahip olan aktif karbondur. Aktif karbon doğal malzemelerden ve çeşitli kömürlerden elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, hindistan ceviziği kabuğundan ve kömürden elde edilen iki tip aktif karbon kullanılmıştır. Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonla bakır, arsenik ve serbest klor giderimi çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbon filtrenin adsorpsiyon

performansı, debi, pH ve sıcaklık parametreleri ile incelenmiştir. Daha sonra belirlenen en iyi adsorpsiyon performans koşullarında, deneyler kömür bazlı aktif karbonla da tekrarlanmıştır.

Hindistan cevizi kabuğundan elde edilmiş aktif karbonun kullanıldığı deneylerde 20 mL/dk, 50mL/dk,100 mL/dk, 200 mL/dk ve 400 mL/dk debilerde çalışılmıştır. Debi arttıkça adsorpsiyon performansının beklenildiği gibi düştüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni, adsorbanla çözeltinin temas süresinin azalmasıdır. En yüksek % giderim 20 mL/dk'da elde edilmiştir. Ancak portatif bir içme suyu cihazı tasarlanması istendiği için , müşterinin sağlıklı içilebilir suya mümkün olan en kısa sürede ulaşmasını sağlamak amacıyla en uygun debi 100 mL/dk olarak belirlenmiştir.

Yüzey suyu pH'ı bulunulan bölgeye ve iklimsel koşullara göre 6 ve 9 arasında değiştiğinden, pH 6,7,8,9 'da testler yürütülerek, pH'ın aktif karbonla adsorpsiyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bakır gideriminin en fazla olduğu pH'ın 7 olduğu belirlenmiştir. Serbest klor için ise pH 6 ve 7'de giderimler birbirine oldukça yakındır. Arsenik giderimi için ise en uygun pH'ın 6 olduğu görülmüştür.

Su sıcaklığının etkisinin incelendiği deneylerde, 10 ^{o}C, 20 ^{o}C, 30 ^{o}C ve 40 ^{o}C sıcaklıklarında çalışılmıştır. Sıcaklık arttıkça, bakır, arsenik ve serbest klor % giderimin arttığı belirlenmiştir. WHO ve TSE içme suyu standartlarına göre, her üç kimyasalın giderimi için de 10 ^{o}C'de filtrasyonun uygun olmadığı ortaya konmuştur.

Debi, pH ve sıcaklık parametreleri incelenerek bakır, arsenik ve serbest klor için % giderimin en fazla olduğu koşullar belirlenmiştir. Filtrasyon için en iyi debi 20 mL/dk olarak, en iyi sıcaklık ise 40 ^{o}C olarak saptanmıştır. Serbest klor ve arsenik giderimin en fazla olduğu pH değeri 6, bakır gideriminin ise en fazla olduğu pH değeri 7 olarak belirlenmiştir. Belirlenen en iyi koşullarda testler kömür bazlı CarboTech DGFA 8x30/55 marka ile tekrarlanmıştır. Hindistan cevizi kabuğu bazlı Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, hindistan cevizi kabuğu bazlı aktif karbonun yüzey alanının daha geniş olmasıyla açıklanabilir.

Ultrafiltrasyon, sıvının yarıgeçirgen bir membrandan hidrostatik basınç etkisiyle geçirilmesi prensibine dayanır. Yüksek molekül ağırlığına sahip katılar ve çözünmüş maddeler tutunurken, su ve düşük molekül ağırlıklı bileşenler membrandan geçer. Bu çalışmada, polieter sülfon (PES) ultrafiltreye sahip Lifesaver filtrasyon şişesi ve Elit Arıtım Tic. San. Ltd. Şti'den temin edilen polipropilen (PP) ultrafiltreye sahip membran kullanılmıştır.Düşük, orta ve yüksek konsantrasyonda olmak üzere hazırlanan üç farklı hümik asit çözeltileri ultrafiltrelerden geçilerek, Toplam Organik Karbon (TOC), bulanıklık ve renk giderimleri incelenmiştir. Lifesaver renk giderimi dışında, TOC ve bulanıklık gideriminde oldukça başarılı iken, Elit membran düşük konsantrasyon da bile TOC, bulanıklık ve renk gideriminde başarısız olmuştur. Bunun nedeni, PP'nin hidrofobik bir yapıya sahip olmasıyla açıklanabilir.

WHO ve Yüzeysel Su Kalite Yönetmeliği baz alınarak hazırlanan çok kirlenmiş ve az kirlenmiş model yüzey suları, Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon ve Lifesaver ultrafiltre membranın birlikte kullanıldığı hibrit bir sistemde filtre edilmiştir. Su kalitesi, pH , iletkenlik, Toplam Çözünmüş Katı (TDS), nitrat, nitrit, sülfat, bakır, renk, bulanıklık ve sulardaki organik madde içeriğini temsil eden UV_{254} parametrelerine göre incelenerek sonuçlar WHO ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenmiş içme suyu standartlarıyla karşılaştırılmıştır.

Az kirlenmiş yüzey sularında nitrat, nitrit, sülfat, bakır gibi kirleticiler içme suyu standardında belirtilen limit değerler altında olmadığından kritik kirletici parametre değildirler. Çok kirlenmiş yüzey sularında bu parametreler kritiktir ve ultrafiltrasyonla giderilemedikleri belirlenmiştir.Hibrit sistem kullanımı ile renk içilebilir limite düşürülmüş,bakır,bulanıklık ve UV_{254} değerleri daha düşürülerek su kalitesi iyileştirilmiştir.

Yüzey sularının içme suyu kriterlerine getirilmesi için içerdiği mikroorganizmaların standart ve regülasyona göre tamamen uzaklaştırılması ve hijyenik su eldesi sağlaması gerekmektedir. Temin edilen filtrasyon şişeleri ve ultrafiltre membrana ait mikrobiyal analizler yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Su mikrobiyal kalitesi *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Clostridium perfringens ve Salmonella typhimurium* kullanılarak belirlenmiştir. PES ultrafiltreye sahip Lifesaver tüm mikroorganizmaları %100 gidermiştir. Performans değerlendirilmesinde Lifesaver'dan sonra sırasıyla Grayl, ÖKO Original ve Elit membran gelmektedir. Elit membran mikrobiyal giderimi en fazla *E.coli* ve *P.aeruginosa* için %37'dir.

Pazarda bulunan filtrasyon şişelerinin nitrat, nitrit, sülfat gibi inorganik kirleticilerle çok kirletilmiş yüzey sularını filtre etmede başarısız olduğu görülmüştür. Ancak filtrasyon şişeleri organik kirlilik ve partiküler gideriminde başarılıdır. Mikrobiyal kirliliğin gideriminde ise zeolit kullanılan filtrasyon şişelerine göre PES ultrafiltreye sahip şişelerin daha etkili olduğu belirlenmiştir.

DRINKING WATER PRODUCTION FROM SURFACE WATER USING ACTIVATED CARBON AND ULTRAFILTRATION TECHNOLOGIES

SUMMARY

Nowadays, water sources, one of the vital necessities of human life, are rapidly consumed due to global warming, developing industrialization and unconscious consumption. Only 3% of the earth's water resources are fresh water that can be used for human consumption. Although, clean and reliable water access is a basic human right, accessible water is a critical problem in developing countries. Health problems and deaths caused by contaminated water clearly shows the importance of the water problem. In this study, it is aimed to design a portable device that can handle drinking water by using activated carbon and ultrafiltration technologies from chemically and microbiologically contaminated surface water.

A research result for the determination of traditional and alternative technologies for portable devices that provide potable water from surface water has been provided by ÖKO Original brand from ÖKOH20 company and Grayl brand from Grayl company of USA origins and Lifesaver brand filtration filter from Lifesaver company of UK origin. ÖKO Original has a patented filter made by NASA with polyethylene terephthalate (PET) in between alumina sodium silicate and activated carbon. Lifesaver uses ultrafiltration and activated carbon technologies. Grayl has a filter with ultrapowdered activated carbon and silver-doped zeolite. In order to determine the filtration performances of these bottles, surface water is prepared according to certain standards. For this purpose, contaminants such as nitrate, nitrite, sulphate, copper, according to T.C. Ministry of Forestry and Water Affairs, Water Quality Classes determined in the Regulation on Surface Water Quality were added based on water class IV. All three bottles were subjected to filtration and the performance of the bottles was compared.

Experiments with filtration bottles indicated that the bottles failed to remove nitrate, nitrite and sulfate but copper, turbidity and Total Organic Carbon (TOC) can be removed by using these bottles. ÖKO Original and Grayl have better color removal than Lifesaver. Lifesaver's bottle could not reduce the drinkable limite even if it provided 97% color removal.

One of the most commonly used adsorbents in water filtration is activated carbon, which has a large surface area. Active carbon is derived from natural materials and various coal. In this study, two types of activated carbon derived from coconut shell and coal were used. Copper, arsenic and free chlorine removal were studied with activated carbon from coconut shell. Active carbon adsorption performance was investigated with flow, pH and temperature parameters. In the best filtration condition for adsorption, the experiments are repeated with coal based activated carbon.

Experiments using active carbon from coconut shell were run at 20 mL/ min, 50 mL/ min, 100 mL/ min, 200 mL /min and 400 mL/min. As the flow rate increased, the adsorption performance decreased as expected. The reason for this is the reduction in the contact time of the solution with the adsorbent. The highest % removal was achieved at 20 mL/min. However, since a portable drinking water device is required, the optimum flow rate is set at 100 mL/ min so that the customer can reach healthy drinking water as soon as possible.

As the surface water pH changed between 6 and 9 according to the region and climatic conditions, experiments were carried out at pH 6, 7, 8 and 9, and the effect of pH on adsorption with active carbon was investigated. It was determined that removal of copper which was ph 7 was the greatest . For free chlorine, the removals at pH 6 and 7 are very close to each other. The optimum pH for the arsenic removal was found to be pH 6.

Experiments on the effect of water temperature have been carried out at 10 ^{o}C, 20 ^{o}C, 30 ^{o}C and 40 ^{o}C. As the temperature increased, copper, arsenic and free chlorine removal increased. According to WHO and TSE drinking water standards, filtration at 10°C is not suitable for the removal of all three chemicals.

The flow, pH and temperature parameters were examined to determine the conditions with the highest percentage of removal for copper, arsenic and free chlorine. The best flow rate for filtration is 20 mL/ min and the best temperature is 40 ^{o}C. The pH value of free chlorine and arsenic removal was determined to be 6, and the pH value of copper removal was 7. In the best filtration conditions, the tests were repeated with the coal based CarboTech DGFA 8x30 / 55 brand. Coconut shell based Filtracarb® RTO 8 x 30 US active carbon has been found to have a higher performance. This may be explained by the wider surface area of activated carbon based on coconut shells.

Ultrafiltration is based on the principle that liquid is passed through a semi-permeable membrane under hydrostatic pressure. Water and low molecular weight components pass through the membrane as the solutes and solutes with high molecular weight are held together. In this study, Lifesaver filtration bottle with polyether sulphone (PES) ultrafilter and provided from Elit Arıtım Tic. San. Ltd. Polypropylene (PP) ultrafilter membrane is used. Three different solutions of humic acid, prepared at low, medium and high concentration, were passed through ultrafilter and examined Total Organic Carbon (TOC), turbidity and color removal. Elit membrane, even at low concentration, has failed in TOC, turbidity and color removal, while the Lifesaver is quite successful in TOC and turbidity removal, apart from color removal. This is explained by the fact that PP has a hydrophobic structure.

Based on the WHO and Surface Water Quality Regulations, highly contaminated and less contaminated model surface water were filtered in a hybrid system using Filtracarb® RTO 8 x 30 US activated carbon and Lifesaver ultrafilter membrane. The results of water quality, pH, conductivity, TDS, nitrate, nitrite, sulfate, copper, color, turbidity and UV254 were compared with drinking water standards determined by WHO and Turkish Standards Institute (TSE).

Contaminants such as nitrate, nitrite, sulphate and copper are not critical pollutant parameters in less polluted surface water because they are not below the limits stated in the drinking water standard. In highly contaminated surface water, these parameters are critical and are determined to be non-removable by ultrafiltration. The use of the hybrid system has improved thenwater quality by reducing the color, UV254 and turbidity.

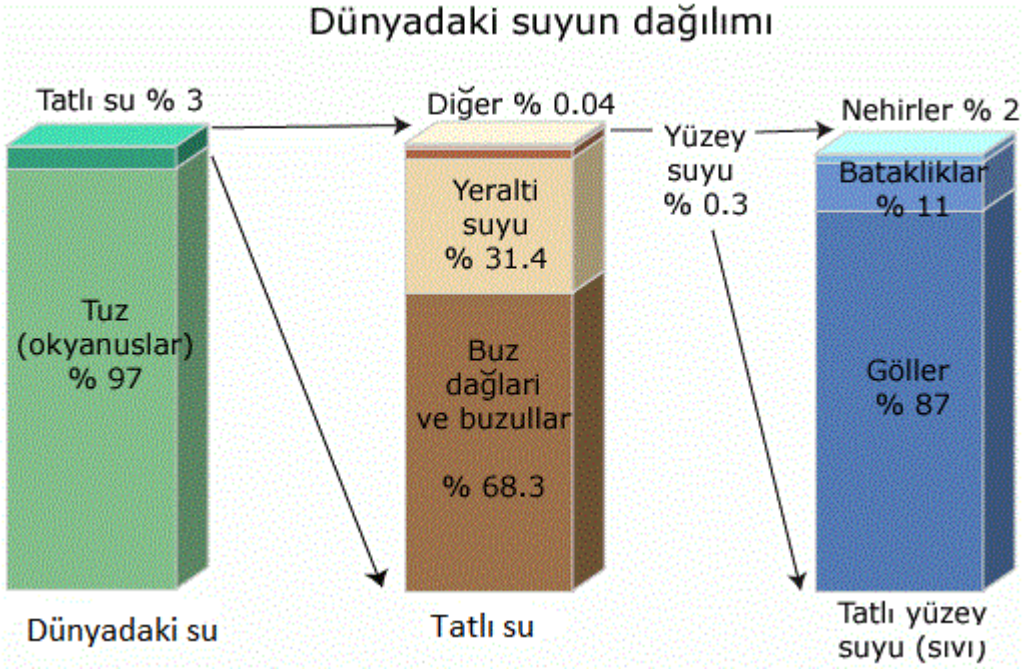
In order to make surface water compatible with the drinking water criteria, it is necessary to completely remove the microorganisms according to the standard and regulation. Microbial analyzes of the supplied filtration bottles and ultrafiltration membrane were performed and their performances were compared. Water microbial quality was determined using *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Clostridium perfringens and Salmonella typhimurium.* Lifesaver with PES ultrafilter has 100% removal of all microorganisms. In the performance evaluation, Grayl, ÖKO Original and Elit membranes are followed by Lifesaver, respectively. Elit membrane microbial rejection was the highest for *E. coli* and *P. aeruginosa* at 37%.

It has been found that the filtration bottles found in the market fail to filter out highly contaminated surface water with inorganic contaminants such as nitrate, nitrite, sulphate. However, filtration bottles are successful in organic pollution and particulate removal. Removing microbial contamination using PES ultrafilter was found to be more effective than zeolite.

Nowadays, there is no technology available to adapt a portable device to eliminate pollutants such as nitrate, nitrite, sulphate. These pollutants can only be eliminated by using reverse osmosis systems. However, along with the developing technology, new materials can be developed to remove these pollutants.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Su hayatın vazgeçilmez bir unsuru, canlılığın sürdürülebilmesi için en temel ihtiyaçtır. Yeryüzünün % 70'i sularla kaplı olmasına rağmen, hidrosferde bulunan 1386 km^3 suyun yalnızca %2.53'ü insani ihtiyaçlar için kullanılabilecek taze su olup, bu suyun %1.74'ünü Antarktika ve Arktik'de bulunan buzullar oluşturmaktadır.Geride kalan kısmın (%0.79) % 99'undan fazlası % 96.2'si su, % 2.75'i buz ve % 0.16'sı buhar olarak yeraltında depolanmaktadır. İnsanların nehir, göl, ve rezervuarlar aracılığıyla direkt ulaşabileceği yüzey suları da taze su kaynaklarının % 0.3'ünü oluşturmaktadır [1]. Şekil 1.1'de dünyadaki suyun dağılımı verilmiştir.



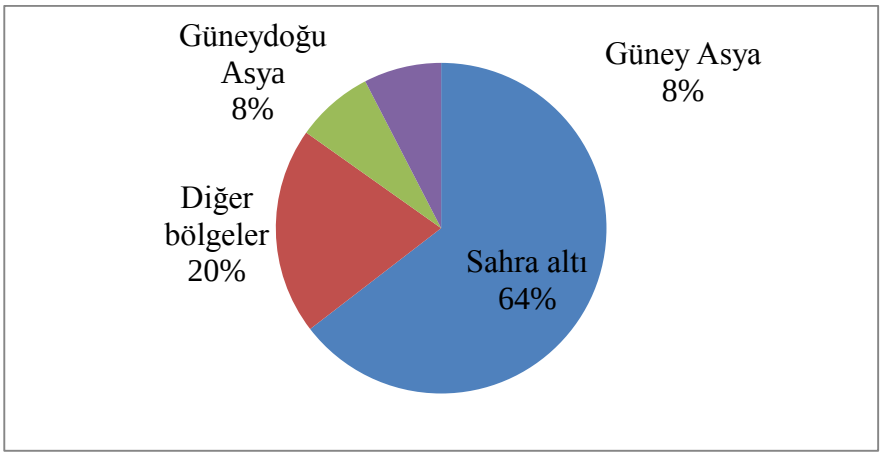
Şekil 1.1 : Dünya'da su dağılımı [2].

Son yıllarda dünya çapında önemli bir gündem haline gelen küresel ısınma ile birlikte, doğal kaynakların yeterliliği ve miktarı tartışma konusu haline gelmiştir. Meydana gelen iklim değişiklikleri, dinamik bir döngüye sahip su kaynaklarını büyük oranda etkilemektedir. Bununla beraber, endüstriyel büyüme ve hızlı nüfus artışı da su talebini arttırmaktadır.

Yeryüzünde su kaynaklarının sınırlı olması ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak insanların su ihtiyaçlarının artması, buzullardan ve denizlerden tatlı su eldesi çalışmalarını başlatmıştır.Uzun yıllardır devam eden çalışmalar, yöntemlerin kısıtlı ve teknolojinin çok pahalı olmasından dolayı talebi karşılayamamaktadır. Bu durum, yüzey sularından filtrasyonla içilebilir su eldesini gündeme getirmiştir.

Dünyaki kırsal toplumlar, su ihtiyaçlarını genellikle yüzey sularından karşılamaktadır. Ancak insani atıkların oluşturduğu patojenler (bakteriler, virüsler) ve endüstriyel atıklardan gelen ağır metaller ve organik kimyasallar nedeniyle yüzey suları doğrudan içilemezler.Patojenler, gastrointestinal hastalıklara yol açıp bebeklerde ve bağışıklık sistemi zayıf olan kişilerde ölüme, zehirli kimyasallar ise, türüne ve dozuna bağlı olarak uzun vadede ciddi hastalıklara neden olabilir [3].

WHO ve UNICEF 2015 yılı raporlarına göre, 663 milyon kişi güvenilir içme suyu kaynaklarına ulaşamamakta, 2.4 milyar kişi yetersiz kalitede su kullanarak hayatını sürdürmektedir. 159 milyon kişi su ihtiyacını yüzey sularından karşılamakta ve Sahraaltı Afrika bölgesinde yaşayanlar bu oranın üçte ikisini oluşturmaktadır. Şekil 1.2'de dünyada yüzey suyu kullanan nüfusun bölgelere göre dağılımı verilmiştir. Ayrıca, hijyen koşullarının yetersizliğinden kaynaklanan ishal enfeksiyonlarının halk sağlığı üzerinde ciddi problemler oluşturduğu ve her gün 800 üzerinde çocuğun kirli suyun yol açtığı hastalıklardan dolayı hayatını kaybettiği belirtilmiştir. Su temini ve hijyen kalitesi konusunda son 10 yıldır ortaya çıkan gelişmeler olmasına rağmen, bu çalışmaların şehirlerle sınırlı olduğu ve kırsal bölgelerdeki sorunlar için çözüm oluşturmadığı raporlanmıştır [4].



Şekil 1.2: Bölgelere göre yüzey suyu kullanan nüfusun dağılımı [4].

Bu çalışmada, kirli yüzey sularından farklı ticari filtrasyon şişeleri, farklı tipte aktif karbon filtre ve farklı türde ultrafiltre membran kullanılarak içilebilir su elde edilmesi üzerine çalışmalar yürütülmesi amaçlanmıştır.Bu amaçla, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenmiş model yüzey suyuna, nitrat, nitrit, sülfat, bakır gibi kirleticiler, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığınca, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği'nde belirlenmiş su kalite sınıflarından IV.sınıf su temel alınarak ilave edilmiş, her üç şişede de filtrasyon yapılarak, filtrasyon şişelerinin performansları karşılaştırılmıştır. Arsenik, bakır ve serbest klor giderimi için hindistan ceviziği kabuğundan (Filtracarb® RTO 8 x 30 US) karbon filtre kullanılarak gerçekleştirilen filtrasyon uygulamasında debi, pH ve sıcaklık etkileri incelenerek, filtrasyon için en iyi koşullar belirlenmiştir. Belirlenen en iyi koşullarda deneyler kömürden (CarboTech DGFA 8x30/55) elde edilen aktif karbon filtre ile tekrarlanmıştır. Ultrafiltrasyon tekniğinin kullanıldığı çalışmalarda ise polieter sülfon (PES) membrana sahip Lifesaver filtrasyon şişesi ve polipropilen (PP) membrana sahip Elit membran kullanılarak, hümik asit konsantrasyonunun ve membran malzemesinin, Toplam Organik Karbon (TOC), bulanıklık ve renk giderimi gibi su kalite parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, ticari filtrasyon şişeleri ve ultrafiltre membranla suyun mikrobiyal kalitesi *E.coli, S.aureus, P.aeruginosa, C. perfringens ve S. typhimurium* mikroorganizmaları kullanılarak belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Yüzey Suyu

Akarsu, göl, baraj rezervuarlarında biriken sular yüzey suyu olarak tanımlanmaktadır. Kanalizasyon atıkları, organik maddeler, endüstriyel faaliyetler sonucu açığa çıkan inorganik ve organik kimyasalların doğrudan su kaynaklarına verilmesi sonucunda yüzey suları kirletilmektedir.Yüzeysel suların kalitesi çoğunlukla düşük olup, kimyasal ve mikrobiyal olarak kirli olmalarının yanı sıra, askıda katı madde içerdiğinden dolayı bulanıklardır [5].

Yüzey suyu kalitesi iklimsel ve jeolojik faktörlere de bağlıdır. Toz, polen, kül (volkanlardan kaynaklı), bakteri, mantar sporları ve büyük organizmaların da dahil olduğu katı maddeler yağışlarla içme suyu kaynaklarına taşınmaktadır.Evsel ve endüstriyel kaynaklı doğrudan atmosfere atılan atık organik çözücüler ya da asit yağmurlarına neden olan azot ve sülfür oksitler gibi kimyasallar da yağmurlarla, yılın belli zamanlarında farklı konumlara düşerek su kaynaklarını etkilemektedir. Aynı zamanda yüzey suyu kalite ve miktarı, havzanın jeolojisine bağlı olarak da değişmektedir.Genel olarak, duru ve sert sular kireç taşı ve kalker yapıdaki havzalarda; bulanık ve yumuşak sular granit gibi geçirimsiz kayaların ağırlıklı olduğu havzalarda görülmektedir [6].

2.2. Yüzey Suyu Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri

Yüzey suları, yüksek kaliteli, az kirlenmiş, kirli ve çok kirlenmiş su olmak üzere dört gruba ayrılır.

1. Yüksek kaliteli sular (I. Sınıf)
    - Yanlız dezenfeksiyon ile içme suyu olarak,
    - Rekreasyonal amaçlar için(yüzme gibi vücut teması gerektirenler),
    - Alabalık üretimi,
    - Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılırlar.

2. Az kirlenmiş sular (II.Sınıf)
    - İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu olarak,
    - Rekreasyonal amaçlar için,
    - Balık üretimi (Alabalık hariç),
    - Sulama suyu olarak,
    - I. Sınıf sular dışında kalan diğer kullanımlar için kullanılırlar.
3. Kirlenmiş Sular (III. Sınıf)

    Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren sanayiler hariç, uygun bir arıtmadan sonra sanayide kullanılabilirler.
4. Çok kirlenmiş sular (IV. Sınıf)

    Yukarıda açıklanan sular dışında kalan kalite olarak düşük kalitedeki sulardır [7]. Çizelge 2.1'de yüzey suyu kalite sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Yüzey suyu kalite sınıfları [7].

Parametreler	I.Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV.Sınıf
Sıcaklık (^oC)	25	25	25	>30
pH	6.5- 8.5	6.5- 8.5	6.0-9.0	6.0-9.0
Çözünmüş oksijen (mg O_2/L)	8	6	3	<3
Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	<40
Sülfat iyonu (mg $SO_4^=$/L)	200	200	400	>400
Klorür iyonu(mg Cl^-/L)	25	200	400	>400
Amonyum Azotu (mg NH_4^+-N/L)	0.2	1	2	>2
Nitrit azotu (mg NO_2^--N/L)	0.002	0.01	0.05	> 0.05
Nitrat azotu (mg NO_3^--N/L)	5	10	20	>20
Toplam çözünmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	>5000
Renk (Pt-Co)	5	50	300	>300
Sodyum (mg Na^+/L)	125	125	250	>300
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	>70
Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/l)	4	8	20	>20

Çizelge 2.1 (devam): Yüzey suyu kaynaklarının kalite sınıfları.

Parametreler	I.Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV.Sınıf
Toplam organik karbon (mg/L)	5	8	12	>12
Toplam kjeldahl-azotu (mg/L)	0.5	1.5	5	>5
Yağ ve gres (mg/L)	0.02	0.3	0.5	>0.5
Fenolik maddeler (mg/L)	0.002	0.01	0.1	>0.1
Mineral yağlar ve türevleri (mg/L)	0.02	0.1	0.5	>0.5
Toplam pestisit (mg/L)	0.001	0.01	0.1	>0.1
Civa (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	>2
Kadmiyum (µg Hg/L)	3	5	10	>10
Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	>50
Arsenik (µg As/L)	20	50	100	>100
Bakır (µg Cu/L)	20	50	200	>200
Krom (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	>200
Kobalt (µg Co/L)	10	20	200	>200
Nikel (µg Ni/L)	20	50	200	>200
Çinko (µg Zn/L)	200	500	2000	>2000
Siyanür(µg CN/L)	10	50	100	>100
Florür (µg F^-/L)	1000	1500	2000	>2000
Serbest klor (µg Cl_2/L)	10	10	50	>50
Sülfür (µg $S^=$/L)	2	2	10	>10
Demir (µg Fe/L)	300	1000	5000	>5000
Mangan (µg Mn/L)	100	500	3000	>3000
Bor (µg B/L)	1000	1000	1000	>1000
Selenyum (µg Se/L)	10	10	10	>20
Baryum (µg Ba/L)	1000	2000	2000	>2000
Alüminyum (mg Al/L)	0.3	0.3	1	>1
Alfa-aktivitesi	0,5	5	5	>5
beta-aktivitesi	1	10	10	>10
Fekal koliform (EMS/100 mL)	10	200	2000	>2000
Toplam koliform (EMS/100 mL)	100	20000	100000	>100000

2.3 İçme Suyunda Karşılaşılan Problemler ve Kaynakları

İçme suyunda görülen kirleticiler, sadece kaynağından gelmemektedir. Arıtma işlemi sırasında ya da şebeke ve tesisat sisteminden de suya kirletici kimyasallar karışabilmektedir.İçme suyunun, sağlıklı ve güvenilir şekilde son tüketiciye ulaşabilmesi için, tüm bu kaynaklardan gelen kirleticilerin doğru tespit edilmesi ve kirletici miktarına göre uygun arıtma yapılması gereklidir.Çizelge 2.2'de içme suyu problemleri ve kaynakları verilmiştir [6,8].

Çizelge 2.2 : İçme suyu problemleri ve kaynağı [8].

Su Kaynağı	Arıtma Sistemi	Şebeke Sistemi	Tesisat
Nitrat	Alüminyum	Sedimant	Kurşun
Pestisit	Renk	Renk	Bakır
Çözücüler	Klor	Asbes	Çinko
Koku ve tat	Koku tat	Koku tat	Koku tat
Demir	Demir	Demir	Korozyon
Manganez	Trihalometanlar	PAH'lar	Patojenler
Patojenler	Patojenler	Patojenler	
Sertlik	Nitrit	Hayvanlar/Biyofilm	
Alg toksinleri	Akrilamit		
Radyoaktivite			
Arsenik			
Farmasotik ve kişisel bakım ürünleri			
Endokrin bozucu bileşikler			

2.3.1 Birincil Parametreler

İnsan sağlığını direk olumsuz etkileyen ve bu etki sebebiyle limit değer belirlenmiş olan parametreler öncelikli parametreler kapsamına alınarak değerlendirilmiştir. Birincil parametreler, organik ve inorganik kimyasallar, dezenfektanlar, dezenfeksiyon yan ürünleri, radyonükleotit ve mikroorganizmaları kapsayan geniş bir aralığa sahiptir. Bu çalışma kapsamında birincil parametlerelerden nitrat, nitrit, arsenik, bakır ve mikroorganizmalar ele alınmış olup, her bir parametrenin genel özellikleri, insan sağlığına olan etkileri ve giderimi detaylı olarak incelenmiştir.

2.3.1.1 Nitrat ve Nitrit

Nitrat (NO_3^-), doğal maddelerin erozyonu, tarımsal faaliyetler, katı atık sızıntı suları, endüstriyel atık ve atık su boşaltımları ile septik tanklar da dâhil olmak üzere insan ve hayvan dışkılarındaki azotlu atıkların oksidasyonu sonucu yerüstü ve yer altı sularında bulunabilir. İdeal koşullarda toprağa uygulanan azotun % 50-70'i bitki tarafından alınır, % 2-20'si uçarak kaybolur, % 15-25'lik kısmı organik maddeyle ya da kil tanecikleri ile birleşir, % 2-10'luk kısmı ise yerüstü ya da yeraltı sularına karışır [8].

Nitrit (NO_2^-), genellikle sularda eser miktarda bulunur. Nitrat içeren ve oksijence fakir içme suları, çelik borularda durgun haldeyken *Nitrosomonas* bakterileri ile nitrit formuna dönüşebilir [8].

Nitrat, vücut içinde nitrit formuna döner ve sağlığa olumsuz etkisi olabilecek iki kimyasal reaksiyona uğrayabilir. Özellikle altı aylık ve daha küçük bebeklerde mavi bebek sendromuna (methemoglobinemia) ve nitrosamit/nitrosamin formlarına dönüşerek muhtemel kanserojenik etkiye sebep olabilir [9].

WHO tarafından insan sağlığı için tespit edilen sınır değer nitrat için 50 mg/L, nitrit için ise 0.5 mg/L'dir. Nitrat ve nitrit gideriminde, ters osmoz, anyon değiştirici reçine, distilasyon ve elektrodiyaliz kullanabilir. Diğer yöntemlere kıyasla, iyon değiştirici reçine kullanımı daha ekonomiktir ancak bu yöntemle arıtımda içme suyu kompozisyonunda değişimler meydana gelip, uzun sürede insan sağlığı üzerindeki etkileri bilinmemektedir [8,9].

2.3.1.2 Bakır

Bakır, sularda kaya aşınması ya da düşük pH'lı sulara bağlı olarak tesisat malzemelerinden aşınma ile, kablo, boru ve metal levha yapımı, diğer endüstriyel atık kirliliği sonucunda kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır [10].

1 mg/L üzerindeki konsantrasyonlarda çamaşır ve sıhhi tesisat gereçlerinde lekelenmelere (mavi/mavi-yeşil) yol açabilir. 2.5 mg/L'yi aşan konsantrasyonlarda ise suya istenmeyen acı bir tat vermektedir. Daha yüksek konsantrasyonlarda (4-5 mg/L) suyun renginde değişime yol açar [8]. Çeşitli çalışmalar içme suyunda bulunan bakır konsantrasyonunun 0.005 mg/L'den 30 mg/L'ye kadar geniş bir aralıkta değişebildiğini göstermiştir [11].

Bakır ağır bir metal olup, insan vücunda birikime yol açarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. WHO tarafından bakır için belirtilen limit değer 2 mg/L'dir.

Sağlık etkilerine bakıldığında, kısa süreli maruz kalındığı zaman gastrointestinal sorunlara, uzun süre maruz kalındığında ise karaciğer ve böbrek hasarına yol açtığı belirlenmiştir. Bakır gideriminde ise koagülasyon/filtrasyon, distilasyon, katyon değiştirici reçine ve ters osmoz yöntemleri uygulanmaktadır [9].

2.3.1.3 Arsenik

Arsenik, doğada genel olarak -3, 0, +3, +5 oksidasyon formunda ve çoğunlukla sülfürler, metal arsenitler ya da arsenatlar halinde bulunur. Yüzey sularında daha çok arsenat (+5) formunda bulunurken, yeraltı sularında anaerobik koşullarda ise daha reaktif ve toksik olan arsenit (+3) formunda görülür [6].

Doğadaki arsenik volkanik patlamalar gibi doğal proseslerden kaynaklanabileceği gibi, insan faaliyetleri nedeniyle toprak, su ve havanın kirlenmesinden de kaynaklanabilir [12].

Arsenik, suda doğal olarak 1-2 µg/L konsantrasyonlarda bulunurken, doğal kaynaklı olarak (volkanik kayalıklar vs.) bu konsantrasyonların çok üzerine (12 mg/L) çıkması da mümkündür [6].

Dünya üzerinde, 100 milyondan fazla kişi arseniğe maruz kalmaktadır. Laos, Myanmar, Kamboçya, Moğolistan, Hindistan ve Nepal gibi gelişmekte olan ülkelerin içme suyu kaynaklarında yüksek konsantrasyonlarda arseniğe rastlanmıştır [13].

İnsan vücuduna arsenik alımı en çok içme suları vasıtası ile gerçekleşmektedir. Arseniğin sağlık üzerindeki etkileri incelendiğinde, cilt hasarı ve dolaşım sistemi sorunlarına yol açabileceği ayrıca kanser olma riskini arttırdığı söylenebilir. WHO tarafından insan sağlığı için tespit edilen limit değer 0.05 mg/L'dir [9].

Arsenik giderimi için , kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, iyon değişimi, membran prosesleri ve ters osmoz uygulanabilir. Tüm yöntemler arsenat için etkin sonuç verirken, arsenit gideriminde zayıf kalmaktadır [9,12].

2.3.1.4 Mikrobiyal kirlilik

İçme sularının mikrobiyolojik kalitesinin kontrolü fekal kirliliğin göstergesi olan *E.coli* ile yapılır.Toplam koliform bakteri sayısı, içme suyu kalitesinin en güvenilir göstergesi olarak kabul edilir. Güvenilir içme suyunda 100 mL numunede *E.coli* ve total koliform bakterinin saptanmaması gereklidir [14].

Enterokoklar, suda üremeyip insan ve hayvan dışkısında bulunurlar. Klorla dezenfeksiyona ve çevre şartlarına *E.coli*'ye göre daha duyarlıdır ve daha uzun yaşarlar [15].

İçme ve kullanma sularındaki fekal kirlilik mevsime bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kostyla ve arkadaşları, yağışlı dönemlerde fekal kirliliğin önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir [16, 17].

Kirlenmiş yüzey ve yer altı sularında bulunan en belirgin patojenler *Giardia ve Crystosporidium*'dur. *Giardia ve Cryptosporidium* tipik patojenik protozalara örnek verilebilir. Su arıtım tesislerinde uygulanan standart dezenfeksiyon yöntemi olan klorlamaya karşı dirençli olup, düşük dozlarda bile enfeksiyona yol açmaktadırlar. Bir çok çalışmada bu parazitlerin içme suyu kaynaklarında sıklıkla bulunabileceği ve insan sağlığını tehdit ettiği belirtilmiştir. Amerika'da 1986-2000 yılları arasında, sudan ileri gelen hastalıkların bu iki parazitle ilişkili olduğu belirlenmiştir [18].

Crystosporidium gideriminde en etkili yöntemin suyun kaynatılması olduğu belirtilmiştir [19]. Ancak mikroorganizma büyüklüğüne uygun filtrelemeyle de mikroorganizma giderimi sağlanabilir. Çizelge 2.3'de mikroorganizmalar ve mikron boyutları verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Bazı mikroorganizmalar ve mikron boyutları.

Mikroorganizma	Boyut (mikron)
Giardia Lamblia	8-12
Cryptosporidium parvum	4-6
Bakteri (E.coli ve Salmonella)	0.2 -4
Virüs	0.004-0.1

S. aureus, E. coli, E. feacelis, B.cereus ve *A.niger* gibi fırsatçı patojen mikroorganizmaların Ultrases (US), ozon ve UV dezenfeksiyon yöntemleri ile gideriminin incelendiği bir çalışmada, ozon uygulamalarının ultrasound uygulamalarından daha başarılı olduğu; ozon uygulamasının tek başına tüm bakteri ve küfleri uzaklaştırmak için yeterli olmadığı; UV uygulamalarının başarısının ise lamba gücüne bağlı olduğu belirtilmiştir [20].

Mikrobiyal kirliliğe yol açan mikroorganizmalar, ishal, kusma, karın ağrısı ile seyreden enfeksiyonlara, bebeklerde ve bağışıklık sistemi yetersiz kimselerde öldürücü etkilere yol açabilir. Çizelge 2.4'de suda bulunan bazı mikroorganizmalar ve yol açtığı hastalıklar verilmiştir [21].

Çizelge 2.4 : Bazı mikroorganizmalar ve yol açtığı hastalıklar [21].

Mikroorganizma	Yol açtığı hastalıklar
Esherichia coli	Kanlı ishal
Salmonella	Salmonelloz
Mycobacterium avium/intracellulare	Akciğer hastalıkları
Pseudomonas aeruginosa	Ölümcül Kulak İltihabı
Streptococcus pyogenes	Deri enfeksiyonu

2.3.2 İkincil parametreler

İnsan sağlığı üzerinde doğrudan olumsuz bir etki yapmayan, ancak suyun tat, koku ve berraklık gibi özelliklerini etkileyen parametreler ikincil parametreler olarak değerlendirilir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) tarafından belirlenen Uluslararası İkincil Parametreler şunlardır; alüminyum, klor, korozivite, flor, demir, renk, pH, gümüş, sülfat, çinko ve Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)'dir [9]. Bu çalışmada ikincil parametreler olarak ele alınacak parametreler pH, renk, TDS, iletkenlik, ve sülfattır.

2.3.2.1 pH

Çözelti içerisinde bulunan hidrojen iyonu konsantrasyonunun eksi logaritma değeri pH olarak tanımlanır. Buna göre, pH 7 nötr, pH >7 bazik, pH <7 asidiktir.WHO ve TSE standartlarına göre içilebilir su pH değeri 6.5-8.5 arasındadır. Düşük pH suda acı bir tada neden olur. Düşük pH'lı sularda CO_2 ve HCO iyonları etkindir. Aşındırıcı özelliğe sahip bu sular, geçtikleri borulardaki birtakım maddeleri çözerek suda kirliliğe neden olabilir. Yüksek pH ise suya kayganlık hissi verir. Bu tip suların taş yapma riski bulunmaktadır [6, 22].

pH'ın insan sağlığı üzerinde doğrudan olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak son yıllarda alkali suyun daha sağlıklı olduğu yönünde söylemler ortaya çıkmıştır [23].

2.3.2.2 Renk

İçme sularının renksiz olması istenmektedir. Renk, su kirliliğinin görsel olarak değerlendirmesine olanak veren bir parametredir. Suda bulunan organik (hümik asit, fülvik asit) ve inorganik (demir, bakır, krom vb) maddeler suyun rengini değiştirirler. Çizelge 2.5'de suyun rengine etki eden maddeler gösterilmiştir [6,22].

Çizelge 2.5: Suyun rengine etki eden maddeler [22].

Madde	Etki
Hümik asit	Kahve- Siyah
Fulvik asit	Sarı-Kahve
Bakır	(>4.5 ppm mavi-yeşil)
Demir	Kırmızı-kahve
Mangan	Gri-siyah

Sularda organiklerden kaynaklanan renk gerçek renk, askıda katı maddeden kaynaklanan renk ise görünür renk olarak adlandırılır. WHO ve TSE içme suyu standardında renk için verilen limit değerler sırasıyla 15 Pt-Co ve 20 Pt-Co'dur [29,30].

2.3.2.3 Toplam çözünmüş katı ve iletkenlik

İnorganik tuzlar ve az miktarda organik maddeler sudaki toplam çözünmüş katı (TDS) olarak ifade edilir. Yağışlar, evsel ve endüstriyel atıklar, bitki bozunma ürünleri sudaki toplam çözünmüş katı miktarını doğrudan etkilemektedir [22].

Toplam çözünmüş katı ölçümü gravimetrik analiz ve iletkenlikle yapılabilir. Gravimetrik analiz, çözeltideki çözücünün uçurulmasıyla çöken katının ağırlığının ölçümesi prensibine dayanır. Bu yöntem, daha kesin sonuç vermesine rağmen pratik değildir [24]. Elektriksel iletkenlik doğrudan sudaki çözünmüş iyonize katının konsantrasyonuyla ilişkilidir. Elektriksel iletkenlik ile TDS arasında bir korelasyon bulunur. Atekwanaa ve arkadaşları, yeraltı sularında yaptıkları bir çalışmada elektriksel iletkenlik ve TDS arasındaki korelasyon katsayısının 0.55 ile 0.80 arasında değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir [25].

WHO ve TSE içme suyu standardında TDS için verilen limit yoktur ancak, iletkenlik için 2500 µs/cm (20 ^{o}C)'dir [29,30].

2.3.2.4 Sülfat

Doğal olarak pek çok mineralde bulunan sülfatlar, sülfirik asidin tuz veya ester halidir. Sülfatlar, gübre, kimyasal, boya, cam, kâğıt, sabun, tekstil, ilaç yapımı ile madencilikte, odun hamurunda, metal ve kaplama endüstrilerinde, atıksu arıtımında ve deri işlemede kullanılmaktadır [6].

1990 yılında dünya çapında su izleme istasyonları ile yapılan bir çalışmada, sülfatın tatlı sulardaki tipik değeri 20 mg/L olduğu, nehirlerde 0-630 mg/L arasında, göllerde 2-250 mg/L arasında ve yeraltı sularında 0-230 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir [6].

TS266 ve WHO içme suyu standartlarında sülfatın limit değeri 250 mg/L olarak verilmiştir. Sülfatın sağlık üzerine olan etkileri incelendiğinde , farklı bölgelerdeki sülfat seviyelerinin insan sağlığı açısından oluşturduğu etkilerin çeşitliliği sebebiyle, belirli bir akut maruziyete tepki dozu henüz belirlenememiştir. Ancak yüksek sülfat

seviyelerinde (600 mg/L ve üzeri için) sülfatın ishale yol açtığı bilinmektedir. Bu nedenle 500 mg/L ve üzerine çıkan sülfat seviyelerinin içme suyu kaynaklarında tespit edilmesi halinde, sağlık yetkililerinin bilgilendirilmesi gerekmektedir [6].

Sülfat tuzu suda oldukça çözünebilir olduğu için geleneksel yöntemlerle giderilemez. Nanofiltrasyon, ters osmoz ve elektrodiyaliz gibi membran proseslerle ya da iyon değişimi yöntemleriyle giderilebilir [6].

2.3.2.5 Bulanıklık

Askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliği bulanıklık olarak tanımlanır. İçme ve kullanma sularının bulanık olmaması istenir. Evsel ve endüstriyel atıklar, kum, silis, demir, mangan gibi bileşikler, bitki tortu ve bakteri oluşumu bulanıklığa neden olmaktadır [24].

Bulanıklığın giderilmesinde filtrasyon etkilidir. TSE ve WHO içme sularında bulanıklık için 5 NTU (Nepholometric Turbidity Unit) limit değerini vermektedir [29,30].

2.4. Standartlar ve Regülasyonlar

Yüzey suları ve içme suları için belirlenmiş standart ve regülasyonlar incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

2.4.1 EPA 3745-81-71 Yüzey suyu kaynaklarında filtrasyon ve dezenfeksiyon için genel gereksinimler

3745-81-71 sayılı düzenleme Uluslararası Birincil İçme Suyu Regülasyonundan türetilmiştir. Bu düzenlemenin gereğince *Cryptosporidium, Giardia lamblia,* virüsler, heterotrofik plaka sayımı bakteri, *Legionella* ve bulanıklığın maksimum seviyede bulunduğu durum için arıtma tekniği geliştirilmelidir.

Giardia lamblia ve kistler en az %99.9 (3 log), virüsler en az %99.99 (4 log), *Cryptosporidium* en az %99.0 (2 log) indirgenmelidir [26].

2.4.2 Kanada Halk Sağlığı Regülasyonu

Kanada Halk Sağlığı Regülasyonu, yüzey suyu filtrasyonu için küçük su sistemleri kurulumuna rehberlik etmektedir. Bu regülasyona göre;

- Enterik virüsler % 99.99 (4 log) giderilmelidir.

- Protozalar (*Giardia ve Crypto*) %99.9 giderilmelidir.
- İki farklı arıtım yöntemi içermelidir.
- Bulanıklık maksimum 1 NTU olmalıdır.
- Su, *E.Coli* ve Total Koliform'dan tamamen arınmış olmalıdır.

Kanada Halk Sağlığı tarafından belirlenmiş su kalite parametreleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir [27].

Çizelge 2.6: Su kalite parametreleri [27].

Parametre	Limit
E.coli	0
Total koliform	0
HPC	100-500 kob/mL
Alkalinite	30-500 mg/L
Klor	250
Renk	15
Elektriksel İletkenlik	800 µs/cm
Flor	1.5
Sertlik	250
Langelier Doygunluk İndeksi	-2 ve +2
Amonyak	1.5
Organik Azot	0.5
Nitrat	10
Nitrit	1
pH	6.5-8.5
Sülfat	500
Toplam Çözünmüş Katı (TDS)	500
UV Geçirgenlik	%80
Trihalometanlar (THMs)	0.100 mg/L
Halojenik Asetik Asitler (HAAs)	0.080 mg/L
Tannin ve Lignin	0.400 mg/L
Sülfit	0.050 mg/L
Benzen	0.005 mg/L
Toluen	0.024 mg/L
Etilbenzen	0.002 mg/L
Ksilen	0.300 mg/L

2.4.3. Güvenli İçme Suyu Kanunu (Safe Drinking Water Act- SDWA)

Federal gereksinimler, su kullanım noktası (point of use-POU) ve giriş noktası (point of entry- POE) arıtım stratejisinin uygulanması için ulusal bir temel oluşturmaktadır. Bu gereksinimlerin en temelini 1996 Güvenli İçme Suyu Kanunu (SDWA) oluşturur. Çizelge 2.7'de Kullanım Noktası Arıtma Teknolojileri'nin uygulanabilirliği, Çizelge 2.8'de ise Giriş Noktası Arıtma Teknolojilerinin uygulanabilirliği gösterilmiştir [28].

Çizelge 2.7: Kullanım noktası (POU) arıtma teknolojilerinin uygulanabilirliği [28].

Teknoloji	Arsenik	Bakır	Kurşun	Flor	Nitrat	Radyum	Uranyum
Aktif Alümina				Araştırılmakta			x
Distilasyon	x	x	x				
Anyon Değiştirici	x						✓
Katyon Değiştirici		✓	✓				
Ters Osmoz	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Diğer Adsorbanlar (demir alüminyum-titanyum oksit bazlı)	x						

Çizelge 2.8: Giriş noktası (POE) arıtma teknolojilerinin uygulanabilirliği [28].

Teknoloji	Arsenik	Bakır	Kurşun	Flor	Nitrat	Radyum	Uranyum	Mikrobiyal
Aktif Alümina	✓			✓			✓	
Anyon Değiştirici	✓				✓			
Katyon Değiştirici		✓	✓					
Ters Osmoz		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ozon								✓
UV								✓

2.4.4 Amerika Ulusal Standart Enstitüsü NSF/ANSI 42 ve NSF/ANSI53 Standartları

Amerika Ulusal Standart Enstitüsü 1973 yılında ilk su arıtma standardını oluşturmuştur. NSF/ANSI 42 standardı, içme suyunda bulunabilecek estetik ve sağlıkla ilgili olmayan kirliklerin (klor, tat, koku) azaltılması tasarlanmış giriş noktası (POE) ve kullanım noktası (POU) filtrasyon sistemleri sertifikasyonu için, minimum gereksinimleri tanımlamaktadır. Bu standart tarafından ele alınan en yaygın teknoloji aktif karbon filtrasyonudur.

NSF/ANSI 53 standardı ise; içme suyunda *Cryptosporidium, Giardia*, kurşun, uçucu organik kimyasallar (Volatile Organic Compound-VOC) ve MTBE (metil tersiyer butil eter) gibi sağlığı tehdit eden kirleticilerin azaltılması için tasarlanmış POU / POE filtrasyon sistemlerinin sertifikasyonu için asgari gereklilikleri belirler. Karbon filtrasyon sistemleri, bu standart tarafından belirlenmiş en yaygın teknolojidir [29].

2.4.5 Türk Standartları Enstitüsü ve Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standardı

İçme suyu kalitesi değerlendirilirken TSE ve WHO Standartları baz alınmıştır. Çizelge 2.9'da TSE ve WHO içme suyu standartları verilmiştir [30,31].

Çizelge 2.9: TSE ve WHO içme suyu standardı [30,31]

	Türk Standartları TSE 266	Dünya Sağlık Örgütü WHO
Berraklık (NTU)		
Bulanıklık	25	5
Mikrobiyolojik Parametreler		
Koliform Bakteri	<1	0
Organik Kimyasal Parametreler (mg/L)		
Toplam Trihalometanlar		400
İnorganik Kimyasal Maddeler (mg/L)		
Alüminyum, Al	0,2	0,2
Arsenik, As	0,05	0,05
Baryum, Ba	0,3	
Kadmiyum, Cd	0,01	0,01
Krom (Toplam)	0,05	0,05
Florür, F	1,5	1,5
Kurşun, Pb	0,05	0,05
Civa, Hg	0	0
Nitrat, NO_3	50	50
Selenyum, Se	0,01	
Gümüş, Ag	0,01	
Antimon, Sb	0,01	
Berilyum, Be		
Asbest > 10 Mikron		
Radyolojik Parametreler		
Gross Alfa		
Gross Beta		
Estetik Parametreler (mg/L)		
Klorür,Cl	600	250
Renk (Birim)	20	15
Bakır, Cu	3	
Deterjanlar	0,2	
Demir, Fe	0,2	
Mangan, Mn	0,05	0,5
Koku Eşik Değeri (Birim)		
pH	6,5-9,2	6,5-8,8
Sülfat, SO_4	250	250
TDS	1500	1000
Çinko, Zn	5	

Çizelge 2.9 (devam): TSE ve WHO içme suyu standardı [29,30]

	Türk Standartları TSE 266	Dünya Sağlık Örgütü WHO
İlave Parametreler (mg/L)	200	
Kalsiyum,Ca		500
Sertlik, $CaCO_3$	50	
Magnezyum, Mg	12	
Potasyum, K		
Sodyum, Na	175	200
Bakiye klor	0.1-0.5	5
Amonyum, NH_4	0.05-0.5	1.5

2.5. Arıtma Yöntemleri

Yüzey suyu filtrasyonunda, farklı arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında aktif karbon filtrasyonu ve ultrafiltrasyon teknolojileri incelendiğinden, aktif karbon filtrasyonu ve ultrafiltrasyona ait detaylı bilgi verilecektir.

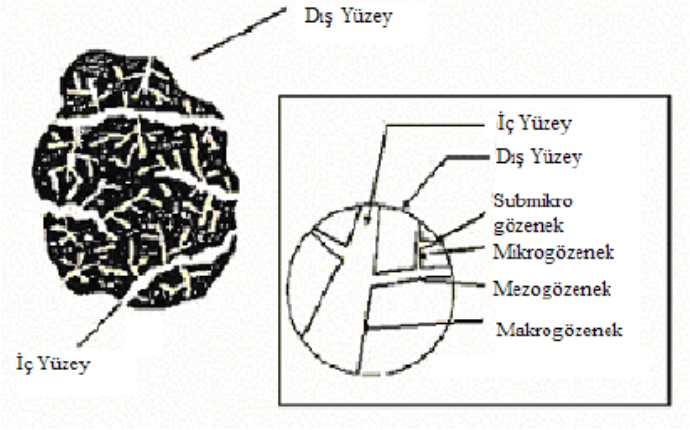
2.5.1 Aktif karbon

Aktif karbon, gazların saflaştırılması ve arıtımında, gıda sanayisinde saflaştırmada, su ve atıksu arıtımında, savunma sanayisinde koruyucu giysi yapımında ve sağlık sektöründe olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir [32].

İlk çağlardan beri aktif karbonun adsorban özelliği bilinmektedir. Kötü kokuların odun kömürü tozu kullanılarak giderilebileceği Hippocrates tarafından ileri sürülmüştür. Aktif karbon ilk olarak 1974'de İngitere'de şeker sanayisinde renk giderici olarak kullanılmıştır [32, 33].

Renk, koku, ve tat giderici olan aktif karbon organik ve organik olmayan kirliliklerin de giderilmesinde kullanılmaktadır. Toz, granüler ve fiber formları bulunan aktif karbonun atık su arıtımında granüler formda olanı tercih edilmektedir [34].

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) tarafından adsorbanlardaki gözenekler gözenek çapı esas alınarak dörde ayrılmıştır. Yarıçapı 50 nm'yi geçen gözenekler makrogözenek, Yarıçapı 2 ile 50 nmgenişlik arasında bulunan gözenekler mezogözenek, yarıçapı 0.7 ile 2 nm arasında bulunan gözenekler mikrogözenek ve yarıçapı 0.7nm'nin altındaki gözenekler ise submikrogözenekler olarak sınıflandırılır. Şekil 2.1' de aktif karbon gözenek yapısı şematik olarak gösterilmiştir [35].



Şekil 2.1: Aktif karbonun ve gözenek yapısının şematik modeli [35].

Ticari olarak aktif karbonlar, odun, turba, linyit, kömür, mangal kömürü, kemik, hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu ve yağ ürünlerinden elde edilen karbonların çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle elde edilirler.

Athappan ve arkadaşları, bitümlü kömür bazlı aktif karbon ile hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonun hava saflaştırmadaki etkinliğini incelemişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda, hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonun, yüksek konsantrasyonlarda ise kömür bazlı aktif karbonun adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Bu durumu, hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonun dış yüzey alanın daha geniş, kömür bazlı aktif karbonun ise iç yüzey alanın daha geniş olmasıyla açıklamışlardır [36].

Aktif karbonun sitrik asit ile modifikasyonunun bakır adsorpsiyonu üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışma 1.0 M sitrik asit ile modifiye edilmiş aktif karbonun 14.92 mg/g olan kapasitesini %140 arttırdığını göstermiştir [37].

Orha ve arkadaşları, TiO_2 ile modifiye edilmiş granüler aktif karbonun ileri içme suyu arıtımına etkisini incelemişlerdir. TiO_2 ile modifiye edilmiş granüler aktif karbonun sudan hümik asidin uzaklaştırılması için UV ışını altında kendi kendini temizleyen bir aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir [38].

Kalsiyum klorür ile aktive edilmiş aktif karbonda arsenik gideriminin incelendiği bir çalışmada, optimum temas süresi 10 dakika, adsorban miktarı 75 mg ve pH 8.75 olarak belirlenmiştir [39].

Bu çalışma kapsamında hindistan cevizi kabuğu bazlı ve kömür bazlı aktif karbon filtreler kullanılmıştır. Bitümlü kömürle aktive olan karbonların gözenek çapları geniş

bir yelpazeye sahiptir. Bu karbonlar ince ve geniş gözenek çaplarına sahip oldukları için, klor, renk ve sudan çeşitli organik kimyasal kirleticilerin giderilmesi için çok uygundurlar. Hindistan cevizi bazlı aktif karbon, daha fazla mikro gözenekliliğe sahiptir. Bu nedenle, içme suyu uygulamalarında düşük konsantrasyonlu organiklerin gideriminde tercih edilmektedir [40].

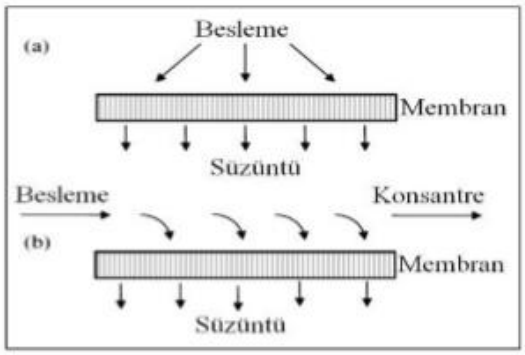
2.5.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon, sıvının yarıgeçirgen bir membrandan hidrostatik basınç etkisiyle geçirilmesi prensibine dayanır. Ultrafiltrasyon için kullanılan membranların gözenek boyutu genellikle 0.01-0.1µm aralığındadır bu sayede bakteri, çoğu virus, kolloidler ve için yüksek giderim performansı gösterirler [41].

Ultrafiltrasyon, içilebilir su eldesi, atıksu geri kazanımı ve desalinasyon ön işleminde kullanılırlar. Ultrafiltrasyon membranları genellikle polisülfon, polipropilen, selüloz asetat ve polilaktik asit gibi polimer malzemelerden yapılır, ancak yüksek sıcaklık uygulamalarında seramik membranlar tercih edilmektedir. Ultrafiltrasyonda iki işletim modu vardır, bunlar kör uç ve çapraz akıştır. Şekil 2.2'de membran işletim sistemi gösterilmiştir [42]

Kör-uç filtrasyon modunda, su direk olarak membranın tüm yüzeyine bir taraftan beslenir ve suyun içerisinde bulunan ve membranın gözenek boyutundan büyük olan maddeler yüzeyde giderek büyüyen bir kek tabakası oluşturur. Kör-uç filtrasyon modunda kalıntı akışı söz konusu değildir. Yüksek akış hızlarını sürdürmek ve kalın kek tabakasının oluşumunu engellemek için akışkan sık sık karıştırılarak membran üzerinde türbülans oluşumu sağlanmalıdır [42].

Çapraz akışlı modda, filtre edilecek olan akışkan, membran yüzeyine paralel olarak akar ve basınç farkı nedeniyle membrandan geçerek süzülür [43].



Şekil 2.2 : Membranlarda işletim modu [43].
(a) Kör-uç (b) Çapraz akış

Ultrafiltrasyon tekniği kullanılarak içme suyu elde etmeyi amaçlayan bir çalışmada, ultrafiltrasyon ile birlikte granüler aktif karbon ya da toz aktif karbon (kullanımı, zehirli organiklerin ve trihalometanların ve ayrıca pestisit gibi mikro kirleticilerin giderimini arttırmıştır. [44].

Serrano ve arkadaşları, ultrafiltrasyon ile içilebilir su eldesinde, ozonlama ve koagülasyon ön işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, spiral sarımlı Poliviniliden diflorid (PVDF) membranlarda ön işlemin gerekli olduğu, ozonlamanın bu membran için uygun bir yöntem olmadığı, koagülasyon ve ozonlamanın tek başlarına su kalitesini iyileştiremediğini göstermişlerdir [45].

Son yıllarda yüzey sularından içme suyu eldesi için ultrafiltre membran, geleneksel yöntemlere alternatif olarak dünya çapında daha cazip bir teknoloji haline gelmiştir. Kuzey Çin'de yüzey sularının arıtılması için ultrafiltre membranlarının performansını değerlendirmek için, 48 m^2'lik düşük basınçlı bir içi boş elyaf zar (hollow fiber) ultrafiltrasyon pilot tesisi kurulmuştur. Ultrafiltrasyon, çapraz akış halinde ve toz halinde aktif karbon adsorpsiyonu ile çalıştırılmıştır. Bulanıklık 0.2 NTU'nun altına kadar düşürülmüş, toz aktif karbon ilavesinin organik madde giderimini arttırdığı bulunmuştur.Toz aktif karbon ve ultrafiltrasyonun birlikte kullanımı, Kimyasal Oksijen İhtiyacı'nın (KOİ) % 41, Çözünmüş Organik Karbon'un (DOC) % 46 giderimini sağlamış, UV_{254} absorbans değerinde %57'lik bir azalışa neden olmuştur [46].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, yüzey sularından içilebilir su eldesi sağlayan portatif cihazlar için geleneksel ve alternatif teknolojilerin belirlenmesine yönelik literatür ve pazar araştırması yapılmıştır.Öncelikle, Amerika menşeili ÖKOH2O ve Grayl firmalarından ve İngiltere menşeili Lifesaver firmasından değerlendirmek üzere üç adet ticari filtrasyon şişesi temin edilmiştir. Literatür araştırmaları sonunda, aktif karbon ve ultrafiltre membranların içilebilir su eldesinde en sık kullanılan malzemeler olduğunu görülmüştür. Bu amaçla Elit Arıtım Sistemleri San. ve Tic. Ltd Şti.'den Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon ve Damla Kimya Mühendislik ve Mümessillik San. Tic. Ltd. Şti.'den CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon temin edilmiştir. Ultrafiltrasyon tekniğinin kullanıldığı çalışmalarda ise; Elit Arıtım Sistemleri San. ve Tic. Ltd Şti.'den tedarik edilen ultrafiltre membran ve ultrafiltre membrana sahip Lifesaver firmasından tedarik edilen filtrasyon şişesi kullanılmıştır. Ayrıca, yüzey sularının içme suyu kriterlerine getirilmesi için içerdiği mikroorganizmaların uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalar, kimyasal analizler ve mikrobiyal analizler olmak üzere iki ayrı grupta incelenmiştir.

3.1 Kimyasal Analizler için Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kimyasallar

- Hümik asit sodyum tuzu, saflık derecesi % 50-60 (hümik asit olarak), Alfa Aesar
- Deniz tuzu, S9883, Sigma- Aldrich
- Standart test tozu, ISO 12103 pt.1 A2 fine arizona simulant, Particle Technology
- Sodyum arsenat dibazik heptahidrat, saflık derecesi ≥ %98.0, Sigma-Aldrich
- Potasyum nitrat, 7757-79-1, Carlo Erba
- Bakır (II) nitrat trihidrat, 10031-43-3, Merck
- Sodyum nitrit, 7632-00-0, Carlo Erba
- Sodyum hipoklorit çözeltisi, %6-14 aktif klor, Merck
- Magnezyum sülfat heptahidrat,10034-98-8, Merck

- Sodyum hidroksit, 1N, ChemBio Laboratory Research
- Hidroklorik asit titrisol , 0.1 N, Merck
- LCK 353 Sülfat test küveti, Hach Lange
- LCK 341 Nitrit test küveti, Hach Lange
- LCK 342 Nitrit test küveti, Hach Lange
- LCK 340 Nitrat test küveti, Hach Lange

3.1.2 Hazırlanan Çözeltiler

Ticari şişelerin ve ticari aktif karbon filtrelerin performanslarının belirlenmesinde, arsenat, bakır ve sodyum hipoklorit stok çözeltileri hazırlanmıştır.

Arsenat Stok Çözeltisi: Aktif karbonla yürütülen arsenik filtrasyonu deneylerinde , sodyum arseat hepta hidrat ($Na_2O_4AsH.7H_2O$) kullanılarak, konsantrasyonu 0.15 ppm olan arsenat stok çözeltileri hazırlanmıştır.

Bakır Stok Çözeltisi : Aktif karbonla yürütülen bakır filtrasyonu deneylerinde, bakır (II) nitrat trihidrat kullanılarak konsantrasyonu 2.90 ppm olan stok çözeltiler hazırlanmıştır.

Sodyum Hipoklorit Stok Çözeltisi : Aktif karbonla yürütülen bakır filtrasyonu deneylerinde için, sodyum hipoklorit (NaOCI) çözeltisi kullanılarak konsantrasyonu 15-20 ppm arasında olan stok çözeltiler hazırlanmıştır.

Hidroklorik Asit Çözeltisi: pH ayarlamalarında kullanılmak üzere, Merck HCl titrisol kullanılarak 1L 0.1 N'lik çözeltisi hazırlanmıştır.

Sodyum Hidroksit Çözeltisi : pH ayarlamalarında kullanılmak üzere 0.1N NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. Bu amaçla, 1 N NaOH çözeltisinden 100 mL alınarak, saf su ile 1L hacme tamamlanmıştır.

Model Yüzey Suyu : WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyu temel alınarak yüzey sularında sık karşılaşılan iyonlar olan sülfat, nitrat, nitrit ve ağır metal olarak bakır T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan IV.sınıf su kalitesinde belirtilmiş olan değerlerde temel alınan model yüzey suyuna ilave edilmiş ve IV. sınıf su kalitesinde yeni bir Model Yüzey Suyu elde edilmiştir.

Çizelge 3.1: WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyu içeriği [14].

Parametre	Kaynak	Spesifikasyon
pH	Hidroklorik asit-Sodyum Hidroksit	9.0± 0.2
TOC (mg/L)	Hümik asit sodyum tuzu	15±5
TDS (mg/L)	Deniz tuzu	1500±500
Alkalinite (mg/L $CaCO_3$)	Sodyum bikarbonat	100±20
Bulanıklık (NTU)	ISO spec. A2 tozu	40±10
Nitrat (mg/L)	Potasyum nitrat	22
Nitrit (mg/L)	Sodyum nitrit	0.055
Sülfat (mg/L)	Magnezyum sülfat hepta hidrat	440

3.1.3. Kullanılan cihazlar

- Metler Toledo marka - S220-KIT pH/Ion Seven Compact model pH metre: pH ölçümleri için kullanılmıştır.
- HACH marka DR3900 model VIS Spektrofotometre: Renk, bakır, nitrat, nitrit ve konsantrasyonlarının ölçümü için kullanılmıştır.
- HACH marka 2100N model Türbidimetre: Bulanık ölçümü için kullanılmıştır.
- HACH marka HQ40d model Multimetre: İletkenlik ölçümleri için kullanılmıştır.
- Metrohm marka Titrino 916 Ti-Touch model titrasyon cihazı: Alkalinite ölçümleri için kullanılmıştır.
- Hanna marka HI96771 model Serbest Klor Cihazı: Serbest Klor konsantrasyonun belirlenmesi için kullanılmıştır.

- Perkin Elmer Lambda 35 model UV-Spektrofotometre cihazı: UV absorbans ölçümleri için kullanılmıştır.
- Merck MSQuant Arsenik Test Kiti: Arsenik konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanmıştır.
- Micromeritics marka ASAP 2420 model Hızlandırılmış Yüzey Alanı ve Porozimetre Cihazı : Aktif karbonların ve membranların yüzey alanı ve gözenek çapının belirlenmesinde kullanılmıştır.
- Bruker marka Tensor 27 Model Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi Cihazı (FTIR): Filtrasyon şişelerinde bulunan filtrelerin ve membranların malzemelerinin organik içeriğinin tanımlanmasında kullanılmıştır.
- Zeiss marka Supra 55 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılım Spektroskopi (SEM-EDS) Cihazı : Filtrasyon şişelerinde bulunan filtrelerin ve membranların elementel içeriğinin tanımlanmasında ve aktif karbonların tane boyutlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.2 Kimyasal Analizler İçin KullanılanYöntemler

3.2.1 Filtrasyon şişeleri

ÖKO Original, Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişeleri ile yürütülen deneylerde Bölüm 3.1.2 de anlatıldığı şekilde hazırlanan model yüzey suyu kullanılmıştır. Model yüzey suyunda filtrasyon öncesi ve sonrasında pH, alkalinite, iletkenlik, bulanıklık, nitrat, nitrit, bakır, klor, sülfat, renk ve UV_{254} absorbans ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca filtrasyon şişelerinin söylemlerinde belirttiği üzere, mikrobiyal etkinliğini test etmek amacıyla, *E.coli, S.aureus, P.aeruginosa, C. perfringens ve S. typhimurium* mikroorganizmaları kullanılarak mikrobiyal giderim testleri yapılmıştır. Şekil 3.1 ‘de ÖKO Original model filtrasyon şişesi, Şekil 3.2’de Lifesaver filtrasyon şişesi, Şekil 3.3’de Grayl filtrasyon şişeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : ÖKO Original filtrasyon şisesi.



Şekil 3.2: Lifesaver filtrasyon şişesi.



Şekil 3.3: Grayl filtrasyon şisesi**.**

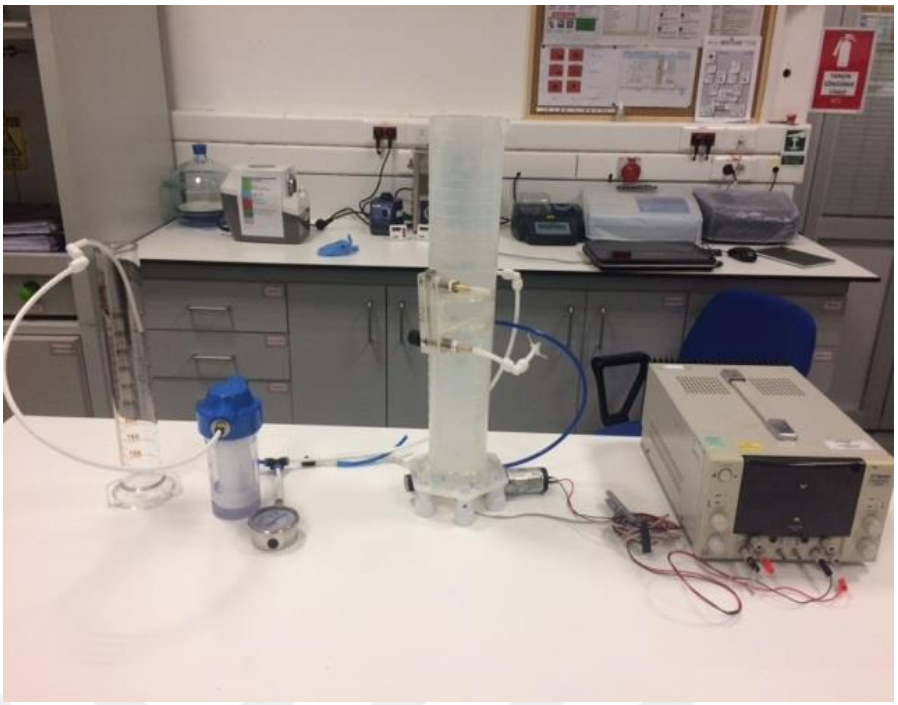
Filtrasyon şişelerine ait özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Filtrasyon şişelerinin özellikleri.

Şişe	ÖKO Original	Lifesaver	Grayl
Menşei	Amerika	Amerika	İngiltere
Teknoloji	PET, Alümina silikat ve aktif karbon	Ultrafiltrasyon ve aktif karbon (opsiyonel)	Gümüş katkılı zeolit ve tozlaştırılmış aktif karbon
Kapasite	378.5 L	4000 L	150 L
Fiyat	$24.95	$150	$59.50
Söylem	% 99.994 *E.coli*, %99.9999 *Cryptosporidium* ve *Giardia lamblia* kaldırır	Virüsleri log 4, bakterileri log 6, kistleri log 3 seviyesi kadar indirger. (Tat, koku ve kloru kaldırır)	Virüsleri ve bakterileri %99.9999, protozoaları %99.999 indirger. Ayrıca klor, benzen, arsenik ve kurşun gibi kimyasalları filtreler.

3.2.2 Aktif karbon deney düzeneği

Farklı menşeili aktif karbon kullanılan filtrasyon deneylerini gerçekleştirmek için bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği, güç kaynağı, stok çözeltinin bulunduğu ölçü kabı, 20 g aktif karbon içeren filtre haznesi ve numune toplama kabından oluşup Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Elit Arıtım Sistemleri San. ve Tic. Ltd Şti.'den temin edilen Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonla serbest klor, bakır ve arsenik gideriminde, debi, pH ve sıcaklık etkileri incelenmiştir.Belirlenen en iyi koşulda testler, Damla Kimya Mühendislik ve Mümessillik San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonla da tekrarlanmıştır.



Şekil 3.4 : Aktif karbon deney düzeneği.

Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonla bakır, arsenik ve serbest klor giderimi testlerine, debi etkisinin incelenmesiyle başlanmıştır.Tüm deneylerde başlangıç konsantrasyonu arsenik için 0.15 mg/L, bakır için 2.90 mg/L, serbest klor için 15-20 mg/L olan stok çözeltiler kullanılmıştır. Ortam sıcaklığında, 20 mL/dk, 50 mL/dk, 100 mL/dk, 200 mL/dk, 400 mL/dk akış debisi ayarlanarak sistemden 250 mL nunume toplanmış, deneyler 2 tekrarlı yapılmıştır. Her üç kimyasal için de filtrasyon öncesi ve sonrasında pH, konsantrasyon ölçülüp kaydedilmiş, % giderim hesaplanmıştır.

En uygun debi değeri belirlendikten sonra, yüzey suyu pH'ı 6-9 arasında değiştiğinden, 100 mL/dk debi sabit tutularak, ortam sıcaklığında, pH 6, 7, 8, ve 9'da deneyler yürütülerek, pH'ın bakır, arsenik ve serbest klor giderimindeki etkisi incelenmiştir. Her üç kimyasal için adsorpsiyonun en fazla olduğu pH değeri belirlenmiştir.

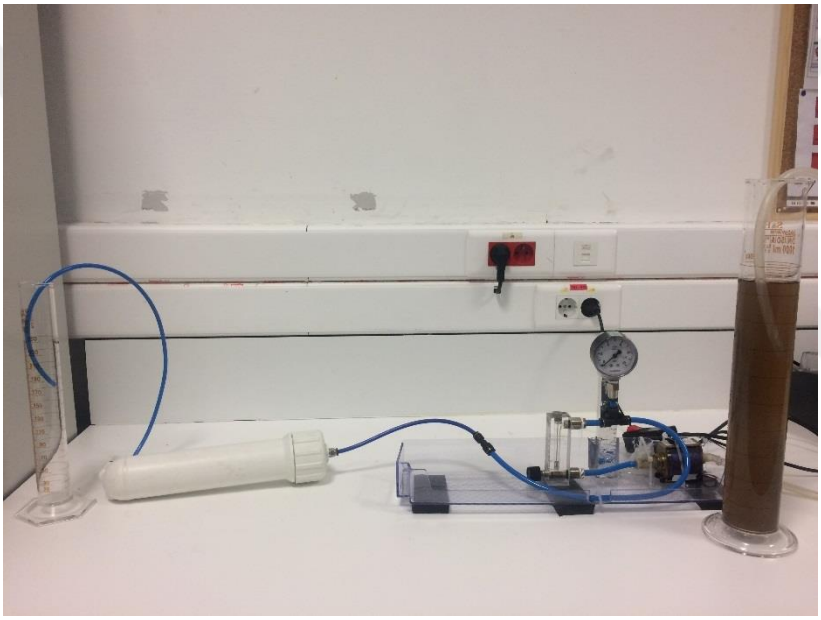
Belirlenen en uygun debi ve pH belirlendikten sonra, bakır, arsenik ve serbest klor gideriminde sıcaklığın etkisi incelenmiştir. 10 ^{o}C, 20 ^{o}C, 30 ^{o}C, ve 40 ^{o}C sıcaklıklarında deneyler yürütülerek, en yüksek giderimin sağlandığı sıcaklık tespit edilmiştir.

Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonda debi, pH, sıcaklık deneyleri sonuncunda; bakır, arsenik ve serbest klor gideriminde en iyi filtrasyon koşulları

belirlendikten sonra, bu koşullarda CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonun performansı incelenmiştir.

3.2.3 Ultrafiltrasyon deney düzeneği

Elit Arıtım Sistemleri San. ve Tic. Ltd Şti.'den tedarik edilen ultrafiltre membran ve ultrafiltre membrana sahip Lifesaver filtrasyon şisesi kullanılarak ultrafiltrasyon tekniği ile Toplam Organik Karbon (TOC), bulanıklık, renk giderimi incelenmiştir. Ayrıca, suyun mikrobiyal kalitesi *E.coli, S.aureus, P.aeruginosa, C. perfringens ve S. typhimurium* mikroorganizmaları kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 3.5'de Elit membranla oluşturulmuş deney düzeneği gösterilmiştir.



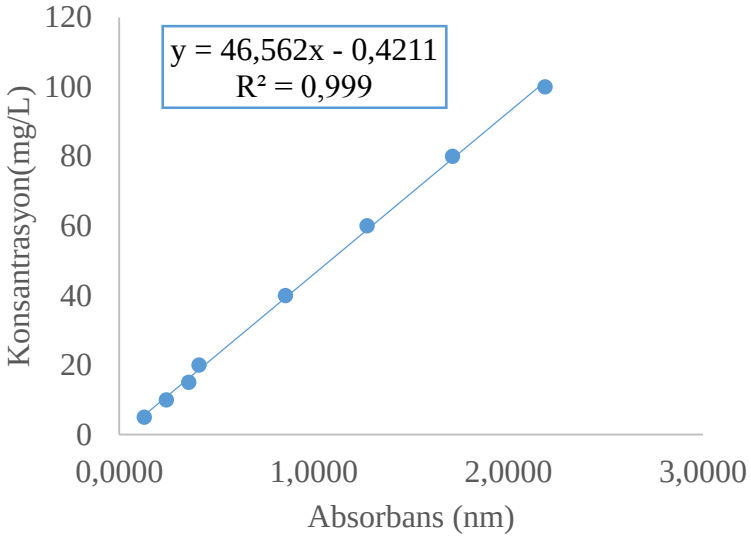
Şekil 3.5 : Ultrafiltrasyon deney düzeneği.

Şekil 3.5'te gösterilen ultrafiltrasyon deney düzeneği, stok çözelti tankı, pompa, ultrafiltre membran ve çözelti toplama kabından oluşmaktadır.

3.2.3.1. Ultrafiltrasyon ile toplam organik karbon giderimi

Yüzey sularında, Toplam Organik Karbon (TOC) oldukça önemli bir kalite parametresidir. UV_{254} absorbans değeri de, sularda organik kirliliğin belirlenmesinde bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Hümik asit, heterojen bir kimyasal yapıya sahip olduğundan sulardaki konsantrasyonu direk ölçülemez bu nedenle Toplam Organik Karbon (TOC) ya da 254 nm'deki ultraviyole absorbans değeri ölçülür. TOC, hümik asit konsantrasyonuna ilişkin daha kesin değer vermekle birlikte, UV_{254} değeri de

hümik asit aromatik içeriğini vermektedir [47, 48]. Farklı konsantrasyonlarda hümik asitli çözeltiler hazırlanarak, 254 nm'de UV absorbans değerleri ölçülmüş ve kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Şekil 3.6'da UV absorbans değerine bağlı hümik asit sodyum tuzu konsantrasyonu veren kalibrasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 3.6 : Hümik asit sodyum tuzu absorbans değerine bağlı konsantrasyon grafiği.

WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyunda bulunabilecek TOC konsantrasyonları (15±5 mg/L) temsil etmek üzere olmak üzere üç farklı konsantrasyonda hümik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltiler Lifesaver ve Elit membrandan filtre edilerek, ultrafiltrelerin toplam organik karbon giderimi belirlenmiştir. Denklem 3.1'de hümik asit sodyum tuzu konsantrasyon ve TOC arasındaki ilişki gösterilmiştir.

$$\text{TOC (mg/L)} = \frac{Konsantrasyon * 7 * Karbonun\ atom\ ağırlığı}{Humik\ asit\ sodyum\ tuzunun\ molekül\ ağırlığı} \qquad (3.1)$$

3.2.3.2. Ultrafiltrasyon ile bulanıklık ve renk giderimi

Düşük, orta ve yüksek konsantrasyonda olmak üzere üç farklı konsantrasyonda hazırlanan hümik asit çözeltileri iki farklı ultrafiltre membran kullanılarak filtre edilmiş, filtre malzemesinin ve çözelti konsantrasyonun bulanıklık ve renk giderimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3.2.4 Hibrit sistem

En iyi performans gösteren aktif karbon ve ultrafiltre membrandan oluşan hibrit bir sistem oluşturularak , II. Kalite ve IV. Kalite sınıfı model yüzey suyu hazırlanarak filtre edilmiş; su kalite parametrelerinden pH, iletkenlik, Toplam Çözünmüş Katı (TDS), nitrat, nitrit, sülfat, bakır ,UV_{254}, bulanıklık, renk giderimi incelenmiştir.

3.3 Mikrobiyal Analizler İçin Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler

Mikrobiyal analizler için**,** standart ATCC mikroorganizma suşları, mikroorganizmalara spesifik besiyerleri, IKA Vortex Genius vorteks karıştırıcı, bakteri konsantrasyonunu belirlemek amacıyla Mc Farland skalasına göre optik yoğunluk ölçen Densimat cihazı, mikroorganizma inkübasyonları için Memmert marka etüvler, mikroorganizma sayımları için Gerber Instruments koloni sayacı kullanılmıştır.

Mikroorganizmalar ve büyüme koşulları

E.coli (ATCC 25922), *S.aureus* (ATCC 6538), *P.aeruginosa* (ATCC 27853), *C. perfringens* (ATCC 13124) *ve S. typhimurium* (ATCC 14028) ticari olarak temin edilmiştir. Liyofilize haldeki mikroorganizma suşları, mikroorganizma stok kültürleri hazırlığına kadar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

- **Stok kültür hazırlanması*:*** +4 °C'de saklanan liyofilize bakteri alınarak toplam canlı sayımı besiyerleri ve seçici besiyerlerine klasik mikroorganizma analiz yöntemleri ile ekim yapılmıştır [49]. Bakteri kültürleri 37ºC'de 24 saat inkübe edildikten sonra kültürler steril bir çözelti içinde bulunan boncuklara aşılanmıştır (inokule edilmiştir).1 gün süresince 37ºC'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası steril tüpler içerisindeki çözelti çekilerek, içinde bakterilerle aşılanmış boncukların bulunduğu vidalı kapaklı tüpler -20 ºC'de taze kültür hazırlamak için saklanmıştır.
- **Taze bakteri kültürünün hazırlanması:** Test için taze bakteri kültürleri -20°C'deki stok kültürden çıkarılmış ve kültür ortam koşullarına alıştıktan sonra seçici besiyerlerine steril öze ile boncuk sürülerek geçişi yapılmıştır. Aşılamanın yapıldığı petri kaplarında mikroorganizmalar 37°C'de ~18 saat inkübasyona bırakılmıştır.

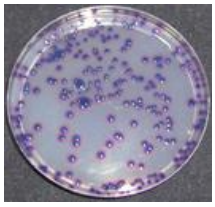
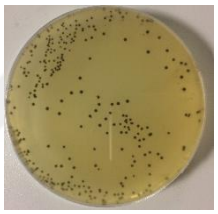
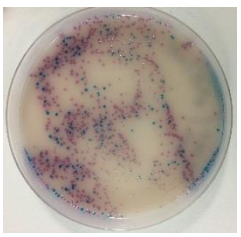
- **Mikroorganizma seçimi ve çözeltisinin hazırlanması*:*** Yüzey sularında bulunabilen ve içme suyunda bulunması insan sağlığını tehdit eden mikroorganizmalar ilgili standartlar incelenerek belirlenmiş ve Çizelge 3.3'de gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılacak mikroorganizmalar belirlenirken standartlar ve biyogüvenlik sınıfı-2 laboratuvar koşulları göz önüne alınmıştır. *E.coli, S.aureus, P.aeruginosa, C.perfringens,* ve *S.typhimurium* mikroorganizmaları deneysel çalışma için seçilmiştir. Kontrollü mikroorganizma çözeltileri hazırlamak için densimat cihazında her bir mikroorganizmanın optik yoğunluk değeri 9.6±0.2 olarak okunmuştur. Hazırlanan mikroorganizma çözeltileri steril bir tüpte karıştırılarak başlangıç mikroorganizma çözeltisi elde edilmiştir. Bu çözeltideki mikroorganizma konsantrasyonu 6 log (10^6 kob/mL) olarak ayarlanmış ve çözelti 300 mL steril su ile karıştırılarak filtrasyon deneysel çalışması için numune hazırlanmıştır. Filtrasyon öncesi sudaki mikrobiyal kirliliğin belirlenmesi için seçici besiyerlerine ekim yapılmıştır.

Çizelge 3.3: Standartlara göre giderilmesi gereken mikroorganizma türleri [29, 30,50].

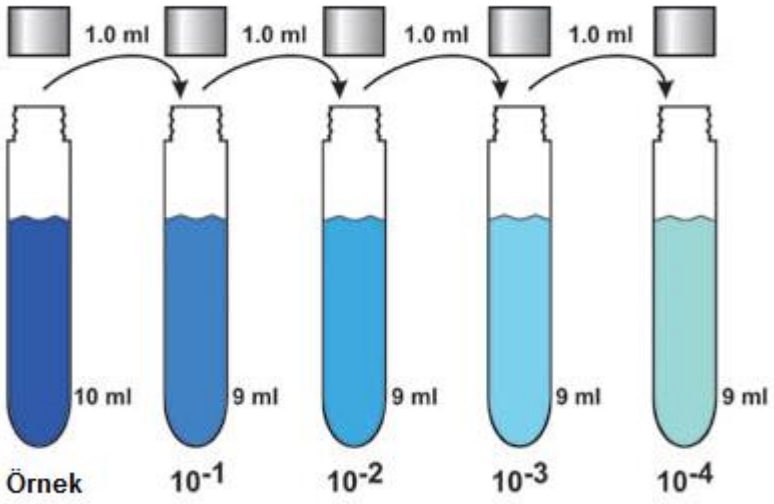
Standart	Mikroorganizma türü
NSF/ANSI 53	*Giardia, Crystosporidium, Entamoeba,Toxoplasma*
TSE 266	*E.coli, Enterococci, P. aueriginosa*
EPA	*C. perfringens,* Fekal & Total Koliformlar, *Enterococci, Giardia, P. aeruginosa, Salmonella, Pathogenic Staphylococci*

- **Besiyerleri :** Mikroorganizma aşılamaları için Merck, Biorad, Oxoid marka seçici besiyerleri ticari olarak temin edilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi hazırlanan mikroorganizma kültürlerinin gelişme koşulları Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4: Kullanılan mikroorganizmalar , inkübasyon koşulları ve seçici besiyeri ortamları.

Besiyeri Ortamı	İnkübasyon Koşulları	Mikroorganizma Türü	
Rapid E. Coli 2 Agar (Biorad)	24 saat -37 °C	*E.coli*	
Baird Parker Agar (Merck)	48 saat -37 °C	*S. aureus*	
Cetrimide Agar (Merck)	48 saat -37 °C	*P.aeruginosa*	
Tryptose Sulphite Cycloserine Agar (Oxoid)	24-48 saat- 37°C	*C. perfringens*	
Salmonella Chromogenic Medium (Oxoid)	24 saat- 37°C	*S.typhimurium*	

- **Seyreltme işlemi:** Mikroorganizmaların sayılabilir seviyeye getirelebilmesi amacıyla bir çözelti yardımıyla seyreltilmesi gerekmektedir. Seyreltme çözeltisi olarak steril fizyolojik tuz çözeltisi (FTS) kullanılmıştır. 9 mL steril FTS ile doldurulan tüpler hazırlanmıştır. Örnekten alınan1 mL sıvı , 9 mL FTS içeren tüpe ilave edilerek içerisindeki mikroorganizma seviyesinin 10 kat (10^{-1}) seyreltilmesi sağlanmıştır. Bu işlem yüksek mikroorganizma konsantrasyonları için ardışık olarak devam ettirilmiştir. Seyreltme işleminin adımları aşağıdaki Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Seyreltme işlemi [51].

- **Ekim işlemi*:*** Seyreltme işleminden sonra mikroorganizma gelişiminin gözlenmesi amacıyla seçici besiyeri ortamlarına ekim yapılmıştır. Katı besiyeri yüzeyine yapılan ekim yöntemine yayma plak yöntemi denir. Bu yöntemde sıvı numune doğrudan 0.1 mL hacminde besiyeri üzerine aktarılarak cam çubuk ile numunenin homojen şekilde yayılması sağlanmıştır. Dökme plak ekim yönteminde ise steril-boş petri kutusuna 1 mL sıvı numuneden aktarılmış ve üzerine ~45ºC'ye kadar soğumuş besiyeri dökülmüştür. Petri yavaşça karıştırılarak sıvı numune ile besiyerinin homojen karışması sağlanmıştır. Agar donunca petriler inkübasyon için etüve kaldırılmıştır. *E.coli* için dökme plak yöntemi kullanılmıştır.
- **Mikroorganizma sayısının belirlenmesi*:*** Mikroorganizma sayısı, petrilerde gelişen kolonilerin sayılmasıyla belirlenmiştir.. Sayım sonucu değerlendirilirken, petrideki mikroorganizma sayısı, seyreltme faktörü (1/seyreltme oranı) ve petri kutusuna ekim yapılan miktar (mL) formüle yerleştirilmiştir. Denklem 3.2' de

ilgili formül verilmiştir. Sayım sonuçları canlı mikroorganizma sayımlarını vermektedir.

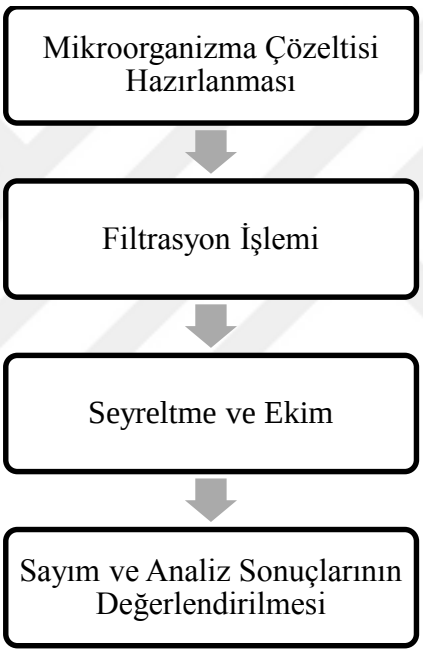
Mikroorganizma sayısı (kob)= a*b/c (3.2)

a= Petrideki mikroorganizma sayısı (adet)

b= Seyreltme Faktörü

c= Petri kutusuna ekilen miktar (mL)

Gerçekleştirilen mikrobiyal çalışmalara ait akım şeması Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Mikrobiyal analiz akım şeması.

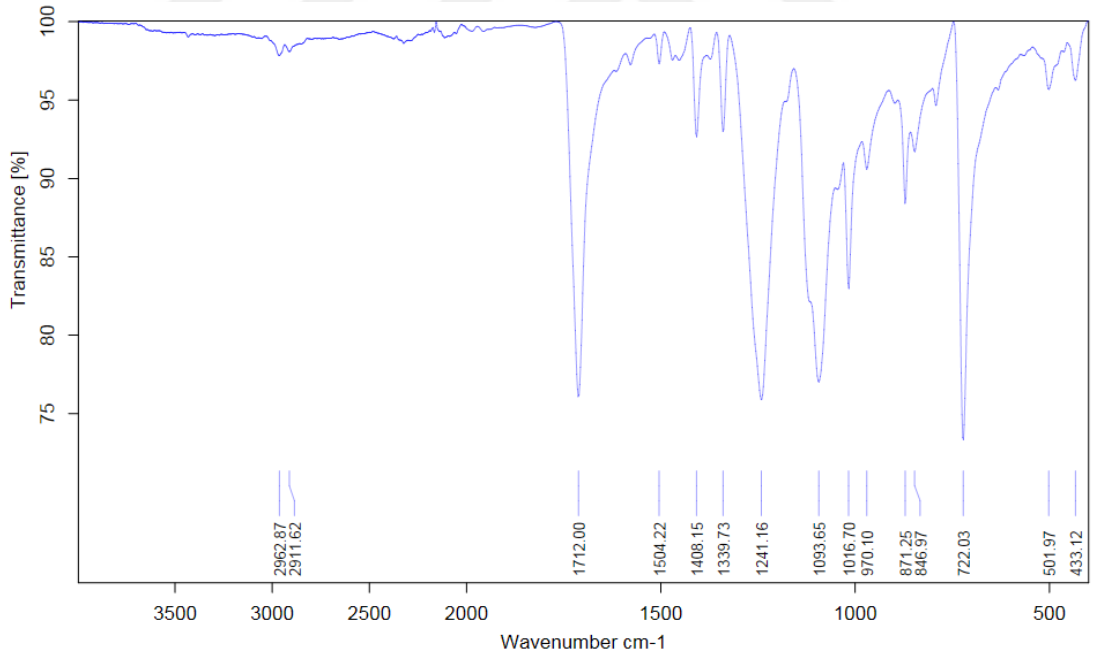
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Ticari Filtrasyon Şişelerinde Bulunan Filtrelerin Karakterizasyonu

ÖKO Original, Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişelerine ait filtrelerin malzeme içeriğinin belirlenmesi için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve SEM'in elementel analiz için kullanılan Enerji Dağılım Spektrometre özelliği (EDS) kullanılmıştır. Yüzey alanı ve gözenek çaplarının belirlenmesi için Brunauer-Emmett-Teller (BET) analizi yapılmıştır.

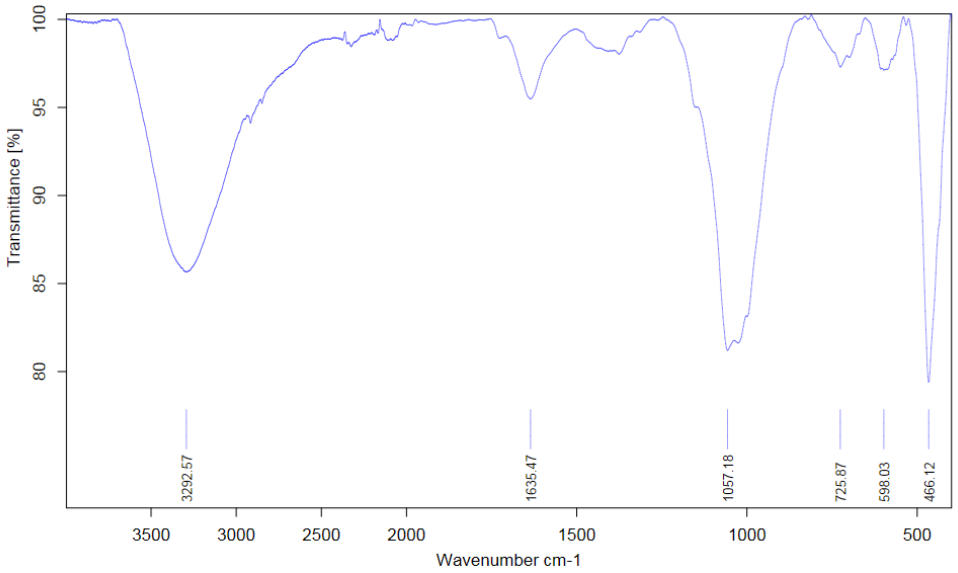
- **FTIR analizleri**

  ÖKO Original filtrasyona şişesine ait filtrenin dış ve iç katmanına ait FTIR analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : ÖKO Original filtre dış katman FTIR analizi.

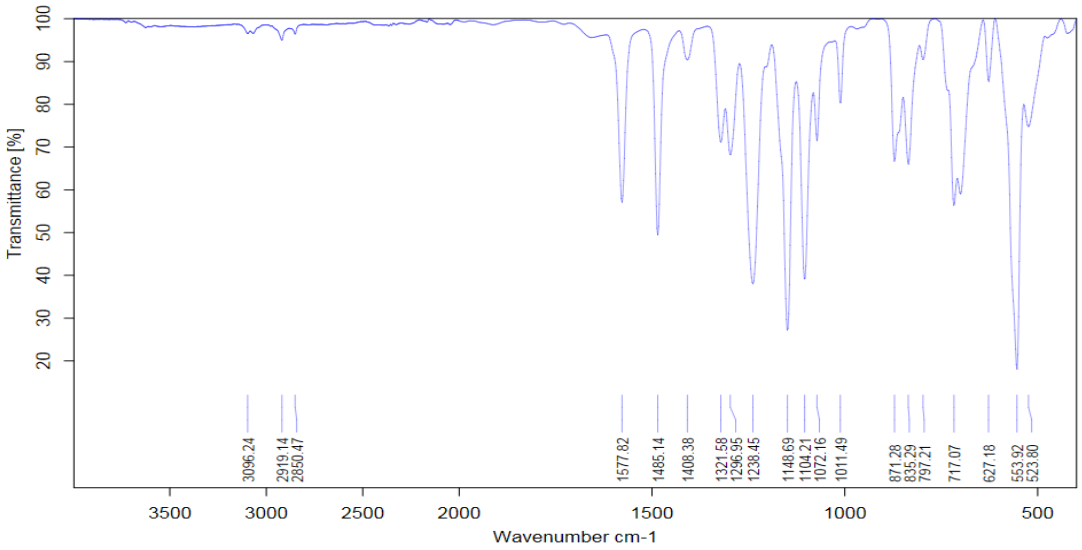
Şekil 4.1'de verilen ÖKO Original filtrenin dış katmanına ait FTIR analizi incelendiğinde, malzemenin, polietilen teraftalat (PET) esaslı malzeme ile uyuştuğu görülmektedir [52].



Şekil 4.2 : ÖKO Original filtre iç katman FTIR analizi.

Şekil 4.2'de verilen ÖKO Original filtrenin iç katmanına ait FTIR analizi incelendiğinde ise sodyum silikat bazlı olduğu görülmüştür [53].

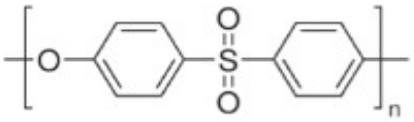
Şekil 4.3'de Lifesaver filtrasyon şişesinde bulunan ultrafiltre membranın FTIR analizi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Lifesaver ultrafiltrenin FTIR analizi.

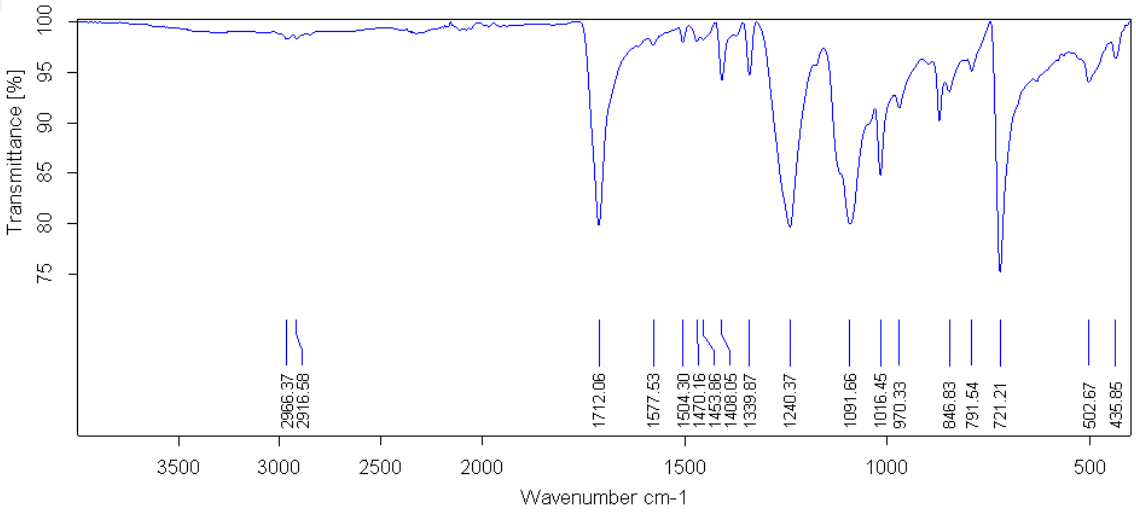
Şekil 4.3'de verilen Lifesaver ultrafiltre membrana ait FTIR analizi incelendiğinde, polieter sülfon (PES) molekülüne ait karakteristik pikler görülür. PES yapısı, bir benzene halkası, bir eter bağı ve sülfon yapısından oluşmaktadır. Şekil 4.4'de PES molekülünün kimyasal yapısı gösterilmiştir [55]. 3096.24 cm^{-1}'de benzene halkasında

bulunan C-H uzamaları, 1400 ve 1600 cm^{-1} arasında bulunan üç pik aromatik iskelet titreşimlerinden kaynaklanmaktadır.1321.58 cm^{-1} ve 1296.95 cm^{-1} C-O-C uzamaları, 1148.69 ve 1104.21 cm^{-1} de S=O uzamaları görülmektedir [54].



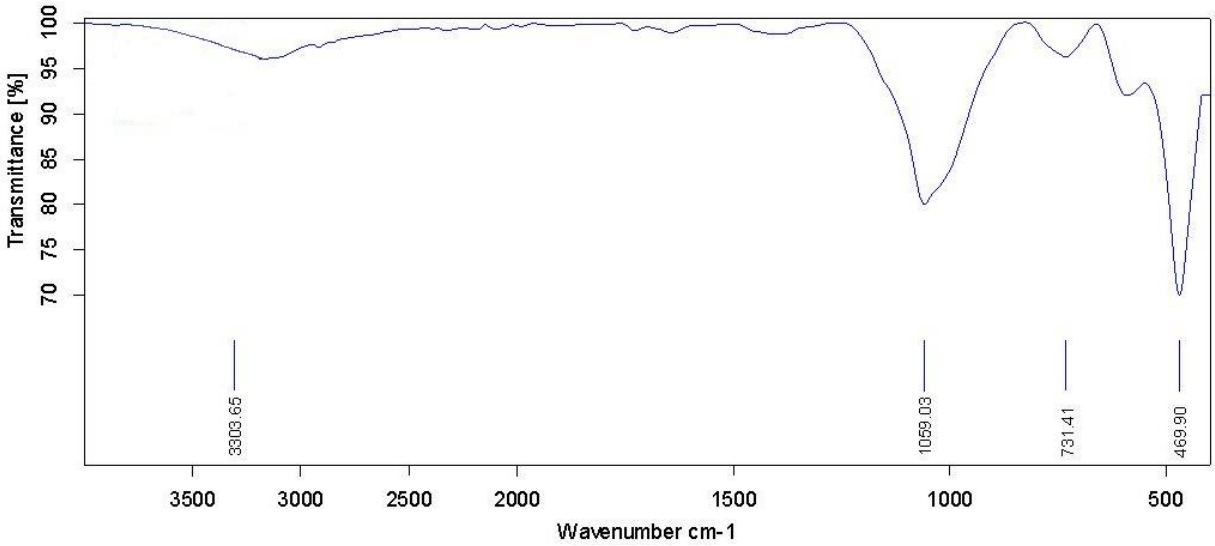
Şekil 4.4 : Polietersülfon kimyasal yapısı [54].

Grayl filtrasyon şişesine ait filtrenin dış ve iç katmanına ait FTIR analizi sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Grayl filtre dış katman FTIR analizi.

Grayl filtrenin dış katmanına ait FTIR analizi incelendiğinde, ÖKO Original filtre gibi PET malzemeden yapıldığı görülmüştür.

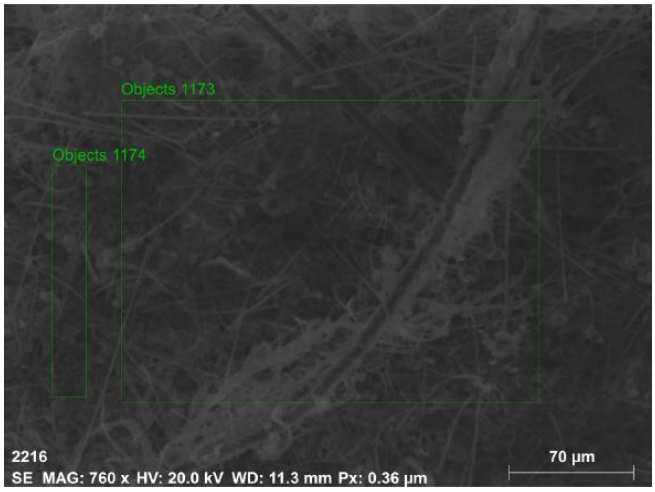


Şekil 4.6 : Grayl filtre iç katman FTIR analizi.

Şekil 4.2'de verilen ÖKO Original filtrenin iç katmanına ait FTIR analizi incelendiğinde ise ÖKO Original filtre iç katmanı gibi sodyum silikat bazlı olduğu belirlenmiştir.

- **SEM-EDS analizleri**

  ÖKO Original filtre iç katmana ait SEM görüntüsü ve EDS analizi sırasıyla Şekil 4.7 ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.



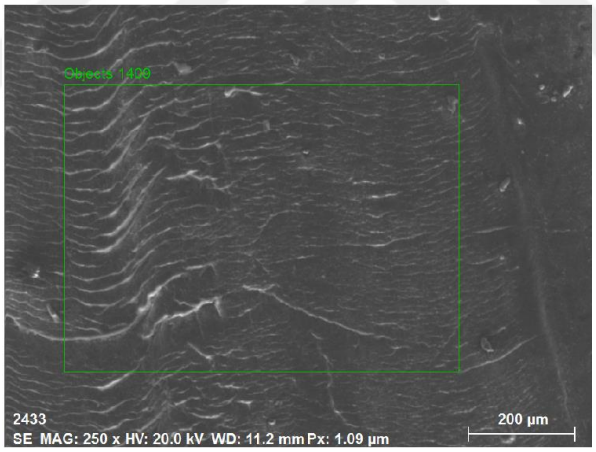
Şekil 4.7 : ÖKO Original filtre iç katman SEM görüntüsü.

Çizelge 4.1: ÖKO Original filtre iç katman EDS analizi.

Element	% Ağırlık
Oksijen (O).	45.66
Karbon (C)	36.21
Alüminyum (Al)	12.68
Silisyum (Si)	3.68
Sodyum (Na)	1.37
Potasyum (K)	0.16

ÖKO Original filtreye ait, FTIR ve SEM-EDS analizi birlikte değerlendirildiğinde, filtrenin PET esaslı malzeme arasına yerleştirilmiş aktif karbon ve alümina sodyum silikattan oluştuğu belirlenmiştir.

Lifesaver ultrafiltreye ait SEM görüntüsü ve EDS analizi sırasıyla Şekil 4.8 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.



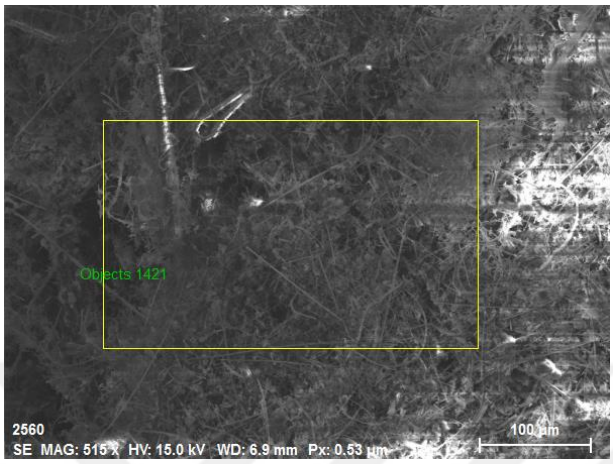
Şekil 4.8 : Lifesaver ultrafiltre SEM görüntüsü.

Çizelge 4.2 : Lifesaver ultrafiltre EDS analizi.

Element	% Ağırlık
Karbon (C)	60.51
Oksijen (O)	26.07
Kükürt (S)	13.43

Lifesaver ultrafiltreye ait, FTIR ve SEM-EDS analizi birlikte değerlendirildiğinde, PES malzemeden yapıldığı belirlenmiştir.

Grayl filtre iç katmana ait SEM görüntüsü ve EDS analizi sırasıyla Şekil 4.9 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.9 : Grayl filtre iç katman SEM görüntüsü.

Çizelge 4.3: Grayl filtre iç katman EDS analizi.

Element	% Ağırlık
Karbon (C)	27.72
Oksijen (O)	16.38
Silisyum (Si)	6.56
Oksijen (O)	47.44
Sodyum (Na)	1.90

Grayl filtreye ait FTIR ve SEM-EDS analizi birlikte değerlendirildiğinde, PET esaslı malzeme arasına yerleştirilmiş aktif karbon ve sodyum alüminyum silikat yapısı gözlenmiştir.

- **BET analizleri**

ÖKO Original, Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişelerine ait filtrelerin BET analizi yapılarak, filtrelere ait yüzey alanı ve gözenek çapı belirlenmiştir. Çizelge 4.4'de BET analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Filtrelere ait BET analiz sonuçları.

Filtre	Yüzey Alanı (m^2/g)	Gözenek çapı (nm)
ÖKO Original	264.485	1.2786
Lifesaver	17.011	0.8024
Grayl	207.158	1.1880

ÖKO Original ve Grayl filtrelerin Lifesaver filtreye kıyasla daha fazla yüzey alanına sahip olmaları yapılarında aktif karbon bulundurmalarından kaynaklanmaktadır.

4.2 Ticari Filtrasyon Şişeleri Performans Sonuçları

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yüzeysel Su Kalite Yönetmeliği'nde belirtilen su kalite sınıflarına göre çok kirlenmiş (IV. Sınıf) model yüzey suyu hazırlanmıştır. Hazırlanan model yüzey suyu ÖKO Original, Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişeleri ile filtre edilmiştir. Çizelge 4.5'de model yüzey suyularına ait spesifikasyonlar, WHO ve TSE tarafından belirlenmiş içilebilir limit değerler ve filtrasyondan sonra ulaşılan değerler verilmiştir.

Çizelge 4.5: Ticari filtrasyon şişeleri performans sonuçları[1].

	pH	İletkenlik mS/cm	TDS mg/L	Sıcaklık ºC	Nitrat mg/L	Nitrit mg/L	Sülfat mg/L	Klor mg/L	Bakır mg/L	Renk Pt-Co	Bulanıklık NTU	UV_{254} nm
Limit	6.5-9.5	2.50	1500		50	0.5	250	250	2	20	5	
IV. Sınıf model su	9.11	2.52	1612	20	100.5	0.069	420	484	3.31	1035	40.3	0.7519
ÖKO Original	7.69	2.50	1600	20.5	96.9	1.21	404	458	0.099	11	0.638	0.0112
Lifesaver	8.32	2.32	1517	20.5	93.4	1.16	383	421	0.235	35	0.831	0.0047
Grayl	7.79	2.50	1600	20.3	97.4	1.19	416	472	0.095	11	1.984	0.0240

[1] Deneyler 3 tekrarlı yapılmıştır.

Çizelge 4.5 ‘e göre; her üç şişede içilebilir limite uygun pH ve iletkenlikte su sağlamaktadır. Toplam Çözünmüş Katı (TDS) değerleri incelendiğinde ise, ÖKO Original ve Grayl filtrasyon şişelerinin etkin sonuç vermediği, Lifesaver’ın TDS’i daha fazla düşürdüğü ancak içilebilir limite indiremediği görülmektedir.

Nitrat, sülfat, nitrit ve klor giderimlerine bakıldığında, üç filtrasyon şişesi de nitrat, sülfat, nitrit ve klor konsantrasyonlarını içilebilir limite indirgeyememişlerdir. Ancak sülfat ve klor gideriminde ultrafiltrasyon teknolojisine sahip Lifesaver’ın diğer şişelere göre perfomansı daha yüksektir.

Nitrit ise model suya konulan konsantrasyonun oldukça üzerinde bir konsantrasyonda ölçülmüştür. Bunun nedeni ise, Tan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile açıklanabilir. Fulvik ve hümik asit gibi organik asitler nitrifikasyonu lineer bir biçimde artırmaktadır. Yüzey suyu içerdiği hümik asit sodyum tuzundan dolayı nitrifikasyonu hızlandırmış ve nitrit konsantrasyonunun yaklaşık 20 katına çıkmasına neden olmuştur [56]. Nitrit giderimleri incelendiğinde, her üç filtrasyon şisesinin de başarısız olduğu görülmüştür.

Bakır gideriminde, filtrasyon şişelerinin hepsi oldukça başarılı olup %90’ın üzerinde bir giderim sağlayarak, bakır konsantrasyonunu içilebilir limitin oldukça altında bir değere düşürmüşlerdir.

Toplam karbon giderimi için UV_{254} absorbans değerleri incelenirse, her üç şişeninde karbon gideriminde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. ÖKO Original % 98.5, Lifesaver % 99, Grayl ise %97 karbon giderimi sağlamıştır.

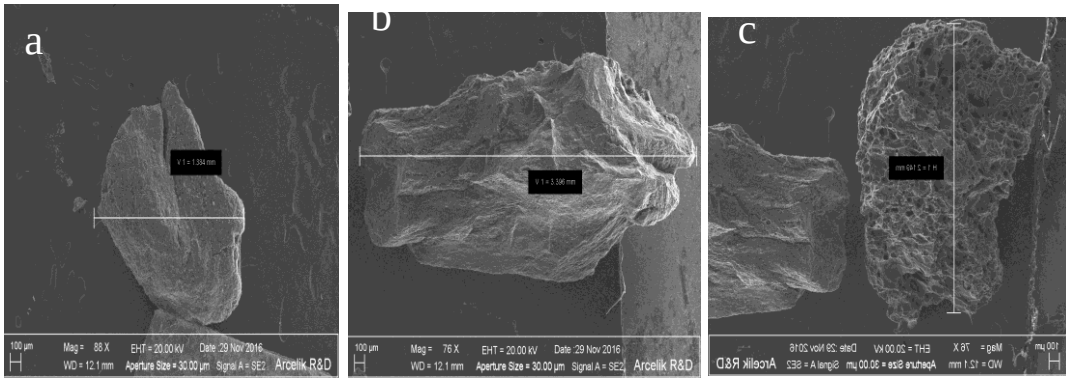
Renk ve bulanıklık giderimleri ele aldığında, bulanıklık gideriminde her üç şişeninde bulanıklık değerini içilebilir limitin oldukça altına düşürdüğü görülmektedir. ÖKO Original ve Grayl içilebilir limite uygun renkte su sağlarken, Lifesaver renk giderimi içilebilir limit üzerinde kalmıştır.

4.3 Aktif Karbonların Karakterizasyonu

Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka ve CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonlara BET analizi yapılarak yüzey alanı ve gözenek çapı, SEM analizi yapılarak partikül boyutu belirlenmiştir. Filtracarb® RTO 8 x 30 US ve CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonlara ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun Hindistan cevizi kabuğu bazlı, CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon kömür bazlı olduğu bilinmektedir. Aktif karbonlara ait özellikler Çizelge 4.6'de verilmiştir.

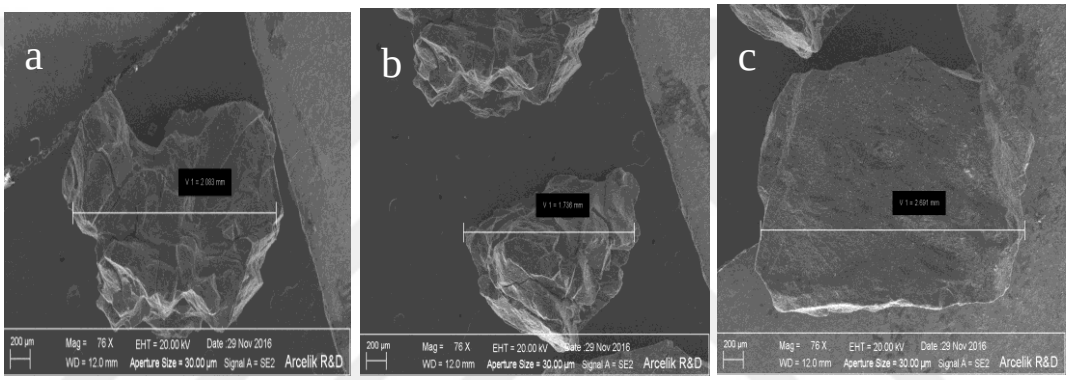
Çizelge 4.6 : Aktif karbon özellikleri [57,58].

	Filtracarb RT0 8x30 US	CarboTech DGF A 8x30/55
Tedarik Edilen Firma	Elit Arıtım	Damla Kimya
Tip	Hindistan cevizi kabuğu	kömür bazlı
Nem İçeriği	%10	%5
Partikül Boyutu (mm)	2.309	2.170
Sertlik	%99	% 90
Yığın Yoğunluk (g/mL)	0.4-0.5	0.44-0.5
pH	9-11	8-10
Kül İçeriği	4%	10%
İyot Numarası (mg/g)	850	850 min
Yüzey Alanı (m^2/g)	949	868
Gözenek Çapı (nm)	1.22816	1.17214



Şekil 4.10 : Filtracarb® RTO 8 x 30 US aktif karbon SEM görüntüleri.

a. 1.384 mm b.2.149 mm c.3.396 mm



Şekil 4.11: CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon SEM görüntüleri.

a.2.083 mm b.1.736 mm c.2.691 mm

Aktif karbonların partikül boyutu belirlenirken, SEM ile analiz edilerek, üç partikülün tane boyutu ölçülmüş ve ortalaması alınarak Çizelge 4.4'de belirtilmiştir.

4.4. Aktif Karbonların Filtrasyon Performans Sonuçları

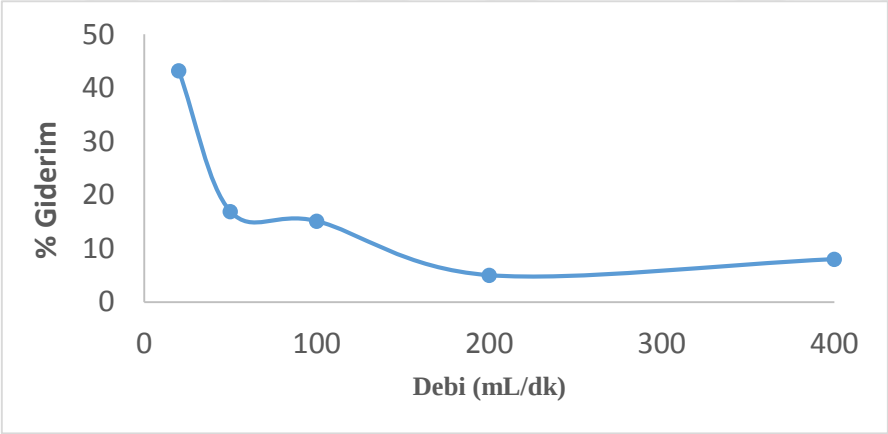
4.4.1 Debi etkisi

Filtrasyon işleminde Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbonun kullanıldığı deneylerde, filtrasyon debisi 20 mL/dk, 50 mL/dk, 100 mL/dk, 200 mL/dk, 400 mL/dk olacak şekilde sistem çalıştırılmış, debinin bakır, serbest klor ve arsenik giderimleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, aktif karbon filtrasyon performansını daha kesin belirlemek amacıyla iyonlar arası seçiciliğin önüne geçmek için Bölüm 3.1.2' de belirtildiği gibi hazırlanan bakır, arsenat ve sodyum hipoklorit stok çözeltileri kullanılmıştır. Çizelge 4.7'de bakıra ait pH, sıcaklık ve filtrasyon

sonrası konsantrasyon ve % giderim verilmiştir. Şekil 4.12'de ise farklı debilerde bakırın % giderim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine filtrasyon debisinin etkisi.

Debi (mL/dk)	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	%Giderim
Stok	20	2.9	
20	20	0.281	90
50	20	0.606	79
100	20	1.58	46
200	20	1.82	37
400	20	2.10	28

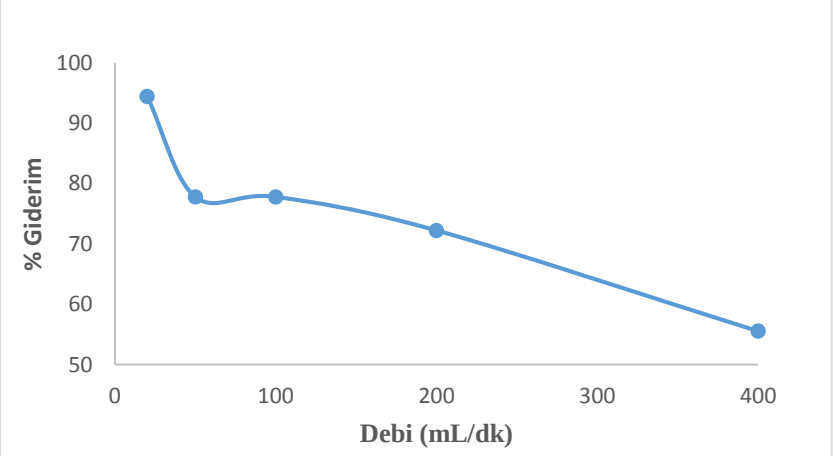


Şekil 4.12 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde bakırın % giderim değerleri.

Serbest klor giderimi üzerine debi etkisinin incelendiği deney sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.13'te ise farklı debilerde serbest klorun % giderim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.8: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine filtrasyon debisinin etkisi.

Debi (mL/dk)	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	%Giderim
Stok	20	18	
20	20	1	94
50	20	4	78
100	20	4	78
200	20	5	72
400	20	8	56

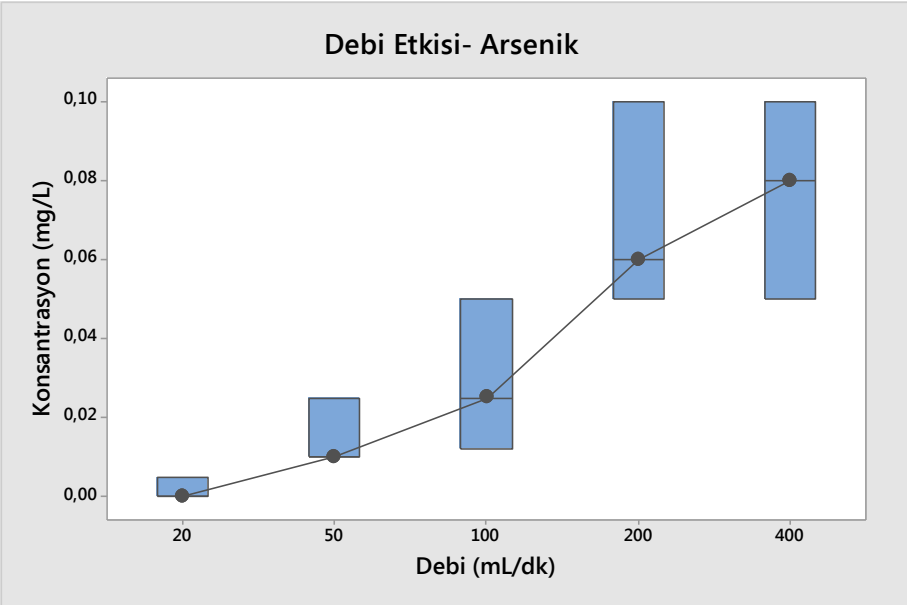


Şekil 4.13 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde serbest klorun % giderim değerleri.

Arsenik giderimine debi etkisinin incelendiği deney sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.14'de ise debiye bağlı arsenik konsantrasyonu görülmektedir. Şekilde 4.14'ten görüldüğü gibi debi arttıkça arsenik konsantrasyonu artmaktadır. Arsenik konsantrasyonu Merck MSQuant Arsenik Test Kiti kullanılarak görsel olarak değerlendirilip ara değerler belirlenmiştir. Şekil 4.15'te Merck MSQuant Arsenik Test Kiti ve filtrasyon debisinin arsenik giderimi üzerine etkisi renk farkından kolayca görülmektedir.

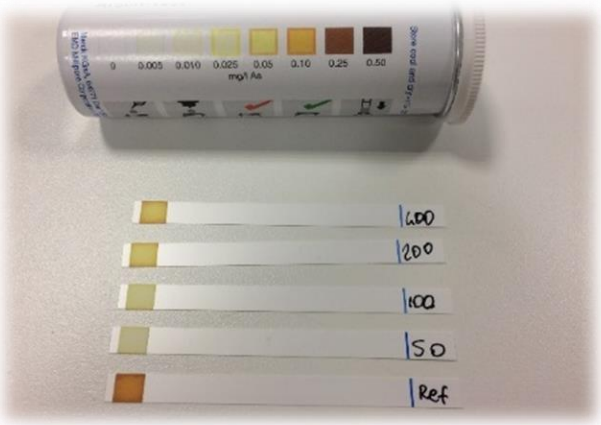
Çizelge 4.9 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde arsenik giderimine filtrasyon debisinin etkisi.

Debi (mL/dk)	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon(ppm)
Stok	20	0.10-0.25
50	20	0.01
100	20	0.010-0.025
200	20	0.05-0.10
400	20	0.05-0.10



Şekil 4.14 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı debilerde arsenik konsantrasyon değerleri.

Bakır, serbest klor ve arsenik giderimi üzerine filtrasyon debisinin etkisinin incelendiği deney sonuçları değerlendirildiğinde, debi düştükçe temas süresi arttığı için % giderimin arttığı görülmüştür. En etkin giderim 20 mL/dk debide görülmüş olsa da, çalışmada portatif bir içme suyu cihazı tasarlanması amaçlandığından , müşterinin sağlıklı içilebilir suya mümkün olan en kısa sürede ulaşmasını sağlamak amacıyla en uygun debi 100 mL/dk olarak seçilmiştir ve bundan sonraki parametrelerin incelenmesinde, akış debisi 100 mL/dk olarak alınmıştır.



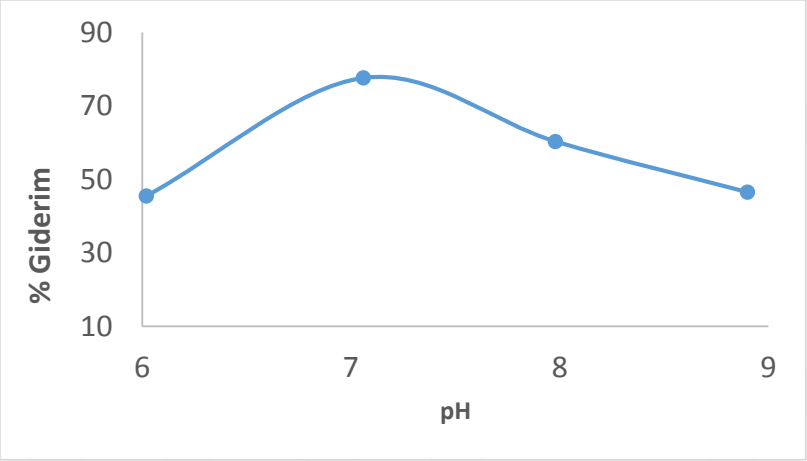
Şekil 4.15 : Merck MSQuant arsenik test kiti ile arsenik konsantrasyon değerlendirmesi.

4.4.2 pH etkisi

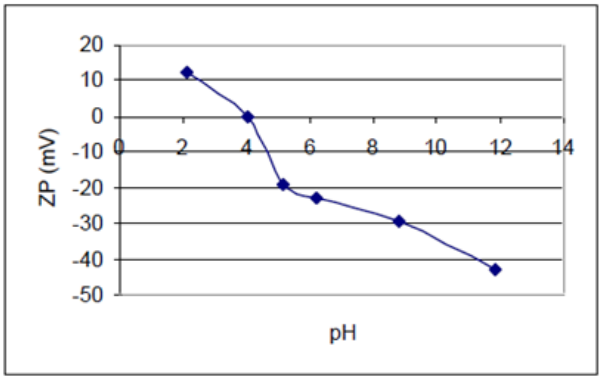
Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbonun kullanıldığı filtrasyon deneylerinde, pH'ı 6,7, 8, 9 olan bakır, arsenat ve sodyum hipoklorit çözeltileri hazırlanmış ve100 mL/dk debide filtrasyon işlemi gerçekleştirilerek pH'ın bakır, serbest klor ve arsenik giderimleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.10'da bakır gideriminin belirlenmesi için yapılan filtrasyon deneyine ait, filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri verilmiştir. Şekil 4.16'da ise farklı pH değerlerinde hazırlanmış bakır stok çözeltilerinden bakır giderimine ait sonuçlar verilmiştir. Şekil 4.16'dan görüldüğü gibi, pH 6'dan 7 ye geçişte bakır adsorpsiyonu önemli ölçüde artar. Bunun nedeni adsorban ve bakır iyonları arasındaki elektrostatik çekiminin artmasıyla açıklanabilir. Şekil 4.17'de aktif karbona ait zeta potansiyel grafiği verilmiştir. Aktif karbon yüzeyi pH 4'de nötr, üzerindeki değerlerinde ise negatif yüklüdür. Bu nedenle bakır gibi pozitif yüklü iyonları pH 4 üzerine çıktığında daha iyi adsorplama kapasitesine sahiptir.Ancak pH 7'den sonra iyonların hareketliliği azaldığından adsorpsiyonda aynı hızla bir artış görülmez [59].

Çizelge 4.10: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine çözelti pH'ının etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
100	6	18.5	2.90	6.49	18.4	1.58	46
100	7	18.7	2.90	6.74	19	0.648	78
100	8	17.4	2.90	6.90	19	1.15	60
100	9	18.4	2.90	7.13	18.9	1.55	47



Şekil 4.16 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda bakırın % giderim değerleri.

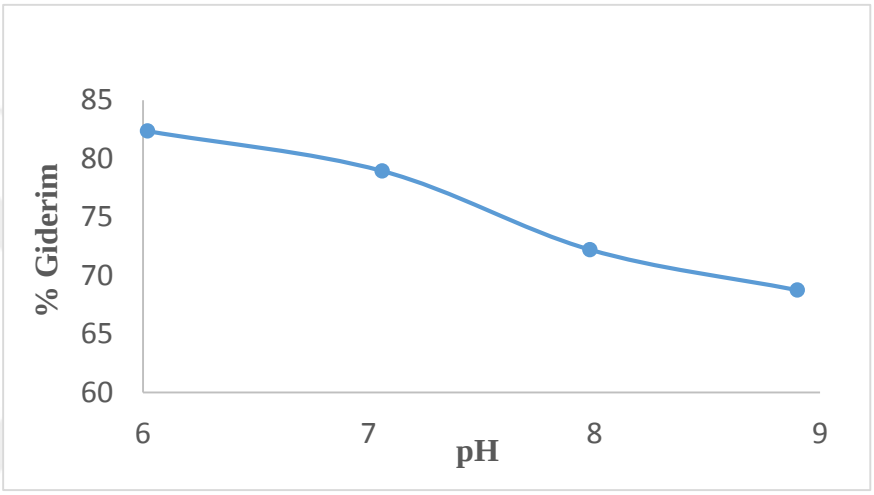


Şekil 4.17: Aktif karbon zeta potansiyeli [12].

Çizelge 4.11'de serbest klor gideriminin belirlenmesi için yapılan filtrasyon deneyine ait, filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri verilmiştir. Şekil 4.18'de ise serbest klor giderimi üzerine pH'ın etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.11: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine çözelti pH'ının etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
100	6	20.3	17	8.16	20.3	3	82
100	7	20.2	19	8.95	20.6	4	79
100	8	20.2	18	9.10	20.3	5	72
100	9	20.1	16	9.22	20.1	5	69



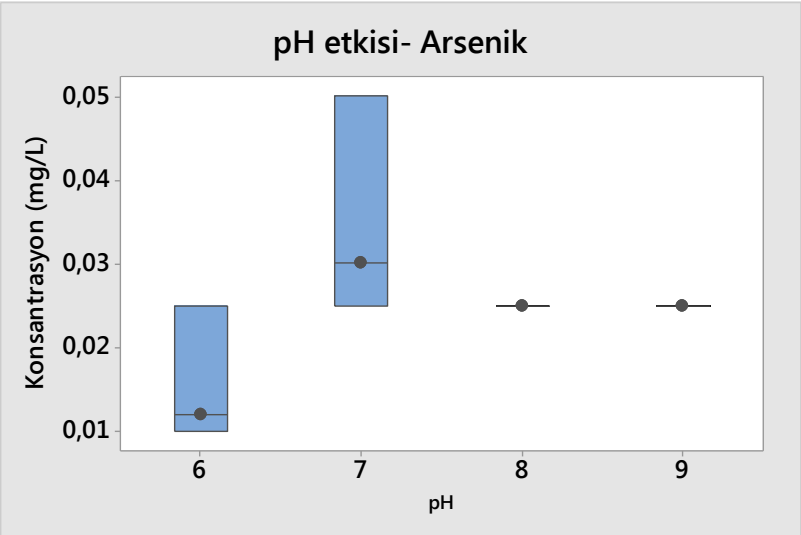
Şekil 4.18 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda serbest klorun % giderim değerleri.

Şekil 4.18'den görüldüğü gibi, pH arttıkça yüzey suyundan serbest klor giderimi azalmaktadır. Aynı zamanda, çalışılan tüm pH değerlerinde, serbest klor miktarı WHO standardında belirtilen içilebilir limitin altına düşmüştür.

Çizelge 4.12 'de ise yüzey suyundan arsenik giderimi için yapılan filtrasyon sonrası elde edilen sonuçlar, filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri ile verilmiştir. Şekil 4.19'da ise arsenik giderimi üzerine pH'ın etkisi gösterilmiştir.

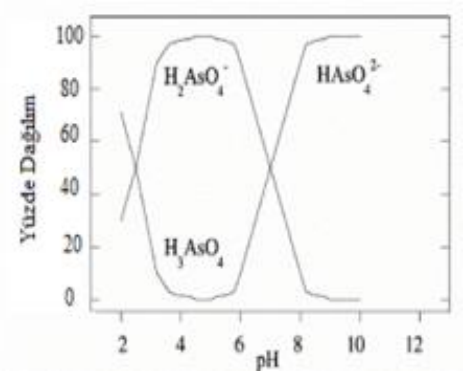
Çizelge 4.12 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde arsenik giderimine çözelti pH'ının etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası		
	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)
100	6	20.3	17	6.21	20.6	0.010-0.025
100	7	20.2	19	7.51	20.6	0.025-0.050
100	8	20.2	18	7.02	21.5	0.025
100	9	20.1	16	7.38	20.8	0.025



Şekil 4.19: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı pH'larda arsenik konsantrasyon değerleri.

Şekil 4.20'de Arsenat türlerinin pH'a bağlı dağılımı gösterilmiştir. pH > 7 olduğu durumda, $HAsO_4^-$ anyonu elektron vererek $HAsO_4^{2-}$ 'ye yükseltgenir.



Şekil 4.20 : Arsenat türlerinin pH'a bağlı dağılımı [60].

Şekil 4.20'de pH 6'dan 7'ye çıktığında arsenik konsantrasyonunda artış başka bir deyişle aktif karbon adsorplama kapasitesinde azalış görülür. Bunun nedeni; pH > 7 olduğu durumda, hem adsorpsiyonun yüzeyinin negatif yüklü, hemde absorplanan iyonların negatif yükü arttığı için moleküller arası çekim kuvvetinin azalmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, çalışılan tüm pH'larda arsenik konsantrasyonu içilebilir limit değerin altına düşürülmüştür.

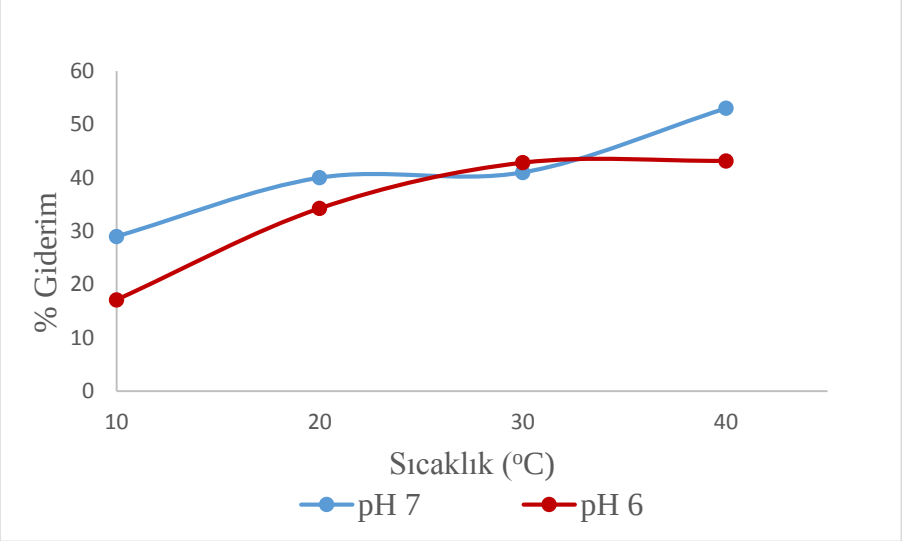
Tüm pH etkisinin incelendiği deneyler değerlendirildiğinde, bakır gideriminin en fazla olduğu pH değerinin 7 olduğu belirlenmiştir. Serbest klor için ise pH 6 ve 7 'de giderimler birbirine oldukça yakındır. Arsenik giderimi için ise en uygun pH'ın 6 olduğu görülmüştür.

4.4.3 Sıcaklık etkisi

Bakır, serbest klor ve arsenik giderimi için Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbonun kullanıldığı filtrasyon işlemlerine, sıcaklık etkisini incelemek amacıyla farklı sıcaklıklarda filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, debi 100 mL/dk'da pH 6 ve pH 7'de olmak üzere, sıcaklıklar 10ºC , 20 ºC, 30 ºC, ve 40 ºC olarak değiştirilmiştir. Çizelge 4.13'te bakır giderimine ait sonuçlar filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri ile verilmiştir. ve Şekil 4.21'de ise bakır giderimine sıcaklık etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.13: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde bakır giderimine çözelti sıcaklığı etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
	pH	Sıcaklık (ºC)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (ºC)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
100	7	10	2.90	5.97	17	2.07	29
100	7	20	2.90	5.92	21	1.75	40
100	7	30	2.90	5.96	32	1.72	41
100	7	40	2.90	5.98	36	1.37	53
100	6	10	2.90	6.75	17	2.42	17
100	6	20	2.90	6.49	21	1.92	34
100	6	30	2.90	6.39	26	1.67	42
100	6	40	2.90	6.23	30	1.66	43



Şekil 4.21 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda bakır % giderim değerleri.

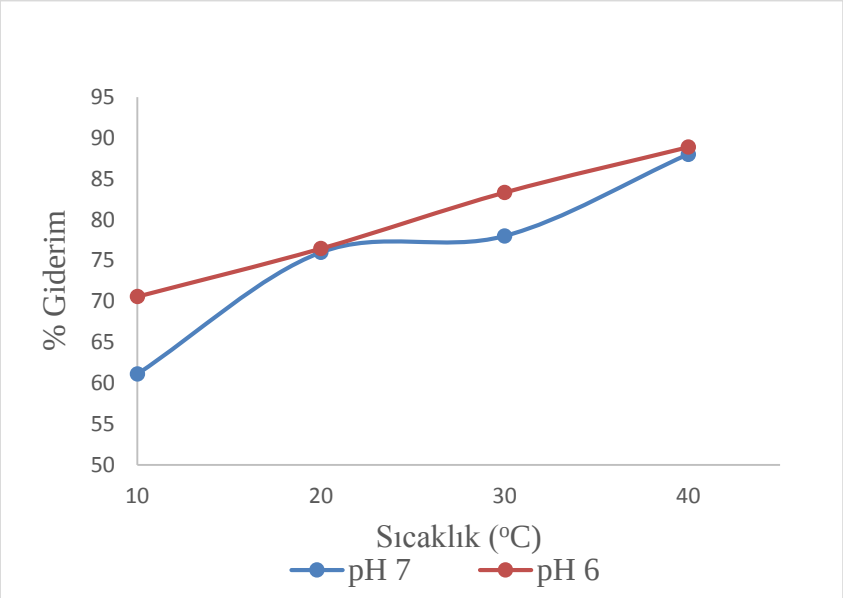
Şekil 4.21'den görüleceği gibi, sıcaklık arttıkça bakır giderimi de artmaktadır. Normal şartlarda, adsorpsiyon ekzotermik olduğu için sıcaklıkla düşmesi beklenir. Ancak bazen tersi durumlarla karşı karşıya kalınabilir. Baskaran ve arkadaşları bitkisel bazlı aktif *karbon Sorgum Vulgaris Dust* (SAC) kullanarak bakır giderimi yaptıkları bir çalışmada, adsorpsiyonun 30ºC-60ºC arasında sıcaklıkla arttığını ortaya koymuşlardır. Bunun nedenini, sıcaklıkla adsorban yüzeyinde yeni aktif bölgeler oluşması ve difüzyonun artması ile açıklamışlardır [61]. Ayrıca, Çizelge 4.10'dan görüldüğü gibi bakır konsantrasyonu yalnızca 10 ºC'de içilebilir limit değerin üzerinde kalmıştır.

Beklenildiği gibi , pH 7'de yürütülen sıcaklık deneylerinde bakır giderimi daha fazladır. Ancak sıcaklık 20ºC'ye ulaştığında giderim yüzdeleri birbirine yaklaşmakta, 30 ºC'de ise yaklaşık olarak eşitlenmektedir. pH'ın etkisi düşük sıcaklık (10ºC) ve yüksek sıcaklıkta (40 ºC) belirgin olarak görülmektedir.

Çizelge 4.14'de serbest klor giderimine ait sonuçlar filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri ile verilmiştir. Şekil 4.23'de ise serbest klor giderimine sıcaklık etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.14: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde serbest klor giderimine çözelti sıcaklığı etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
100	7	10	18	7.50	17.3	7	61
100	7	20	18	7.48	20.2	4	78
100	7	30	17	7.21	29.2	4	76
100	7	40	17	7.48	36.0	2	88
100	6	10	17	7.04	18.1	5	71
100	6	20	17	7.16	19.3	4	76
100	6	30	18	6.76	23.4	3	83
100	6	40	18	7.13	26.8	2	89



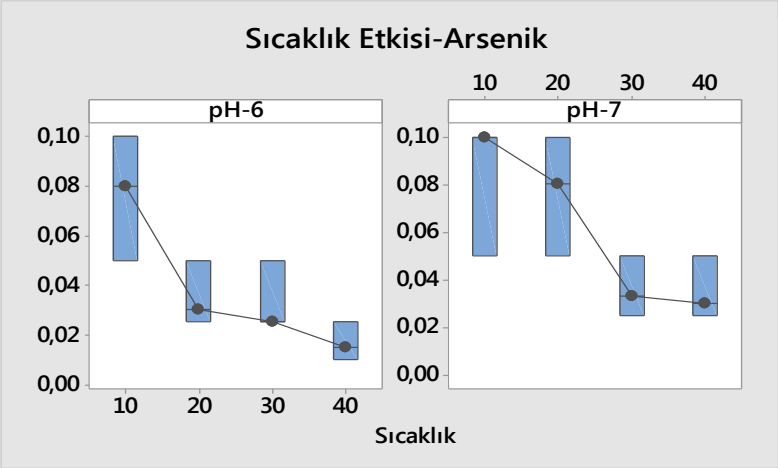
Şekil 4.22 : Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda serbest klor % giderim değerleri.

Şekil 4.22'den sıcaklık artışına paralel olarak serbest klor giderimin arttığı görülmüştür. Beklenildiği gibi, pH 6'da giderim pH 7'ye göre biraz daha fazladır. Bu fark düşük sıcaklıkta belirgin bir şekilde görülmektedir. Ancak sıcaklık arttıkça, aradaki fark azalmış 40 °C'ye çıkıldığında her iki pH değerinde de giderimin eşit olduğu görülmüştür. Serbest klor değeri yalnızca pH 7, 10 °C sıcaklık değerinde içilibilir limitin üzerindedir.

Çizelge 4.15'te arsenik giderimine ait sonuçlar filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası pH, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri ile verilmiştir. Şekil 4.23'de ise arsenik giderimine sıcaklık etkisi gösterilmiştir.

Çizelge 4.15: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon arsenik giderimine çözelti sıcaklığı etkisi.

Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası		
	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)
100	7	10	0.10-0.25	6.64	16.3	0.10
100	7	20	0.10-0.25	6.55	20.4	0.05-0.10
100	7	30	0.10-0.25	6.44	25.8	0.010-0.025
100	7	40	0.10-0.25	6.24	30.6	0.010-0.025
100	6	10	0.10-0.25	6.07	17.9	0.05-0.10
100	6	20	0.10-0.25	6.18	20.5	0.05-0.10
100	6	30	0.10-0.25	5.66	23	0.025
100	6	40	0.10-0.025	5.99	31	0.010-0.025



Şekil 4.23: Filtracarb RT0 8x30 US ticari aktif karbon kullanılan filtrasyon işleminde farklı sıcaklıklarda arsenik konsantrasyonu değerleri.

Şekil 4.23'den görüldüğü üzere, sıcaklıkla arsenik konsantrasyonu azalmaktadır yani arsenik giderimi artmaktadır. pH 6 da arsenik gideriminin düşük sıcaklıkta, pH 7'ye göre daha yüksek olduğu görülür. Ancak sıcaklık arttıkça her iki pH değerinde de arsenik giderimleri birbirine yaklaşmaktadır.

4.4.4 En iyi filtrasyon koşulları

Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon kullanılarak yürütülen deneyler sonunda, bakır, serbest klor ve arsenik giderimin en fazla olduğu filtrasyon debisi, pH ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Belirlenen en iyi koşullarda, Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun ve CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonun filtrasyon performansı incelenerek aktif karbonlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.16 'da Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun, Çizelge 4.17'de ise CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonun filtrasyon performansları gösterilmiştir.

Çizelge 4.16: En iyi koşullarda Filtracarb® RTO 8 x 30 US aktif karbonun filtrasyon performansı.

Kimyasal	Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
		pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
Bakır	20	7	40	2.90	7.52	27.15	0.503	83
Serbest klor	20	6	40	16	6.57	24.75	2	88
Arsenik	20	6	40	0.10-0.25	6.77	24.8	0-0.005	-

Çizelge 4.17: En iyi koşullarda CarboTech DGFA 8x30/55 aktif karbonun filtrasyon performansı.

Kimyasal	Debi (mL/dk)	Filtrasyon öncesi			Filtrasyon sonrası			
		pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)	Konsantrasyon (ppm)	% Giderim
Bakır	20	7	40	2.90	6.8	26.1	0.492	83
Serbest klor	20	6	40	16	6.6	24.75	2	88
Arsenik	20	6	40	0.10-0.25	6.6	27.5	0.10	-

En iyi koşullar belirlenerek yürütülen deneyler sonunda, Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun bakır, serbest klor gideriminde, CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonun performansı aynıdır. Ancak arsenik gideriminde, Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon ile CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon performansları birbirlerinden oldukça farklıdır. Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon daha iyi performans göstermiştir. Bunun nedeni de, Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonun daha geniş yüzey alanına sahip olup, adsorplama kapasitesinin daha yüksek olmasıyla açıklanabilir.

4.5 Ultrafiltre Membranların Karakterizasyonu

Ultrafiltre membranlar kullanılarak yürütülen deneylerde, Lifesaver firmasından tedarik edilen ultrafiltreye sahip filtrasyon şişesi ve Elit arıtımdan tedarik edilen ultrafiltre membran kullanılmıştır. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te sırasıyla PES ve PP membranlar gösterilmiştir.

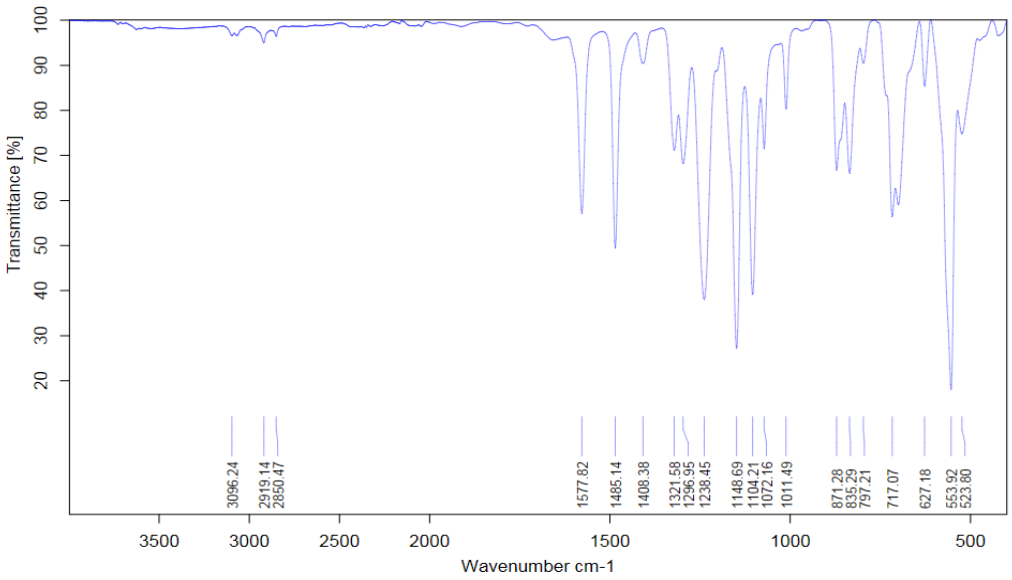


Şekil 4.24 : Lifesaver (PES) ultrafiltre membran.



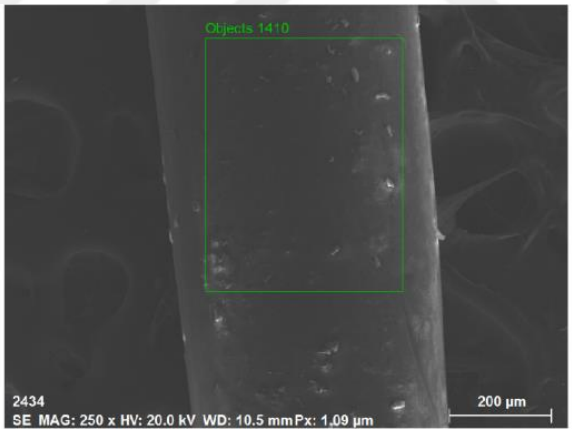
Şekil 4.25 : Elit (PP) ultrafiltre membran.

Lifesaver ultrafiltreye ait FTIR analizi ve SEM görüntüleri daha önce Şekil 4.3'de ve 4.8'de gösterilmiştir. Elit ultrafiltreye ait FTIR ve EDS analiz sonuçları Şekil 4.26 Çizelge 4.18'de, SEM görüntüsü ise Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26 : Elit membran FTIR analizi.

Şekil 4.26 'da verilen Elit membrana ait FTIR analizi incelendiğinde, 2919.14 cm^{-1} ve 2850.14 cm^{-1}'de CH_3 gerilmeleri ,1485.14 cm^{-1} ise CH_2 titreşimleri görülmektedir [62].



Şekil 4.27 : Elit membran SEM görüntüsü.

Çizelge 4.18: Elit membran EDS analizi.

Element	% Ağırlık
Karbon (C)	94.13
Oksijen (O)	7.67

Elit membrana ait FTIR ve SEM-EDS analizleri birlikte değerlendirildiğinde, membranın PP'den yapılmış olduğu belirlenmiştir.

Lifesaver ve elit membrana BET analizi yapılarak membranların yüzey alanları ve gözenek çapları belirlenmiş ve Çizelge 4.19'de verilmiştir.

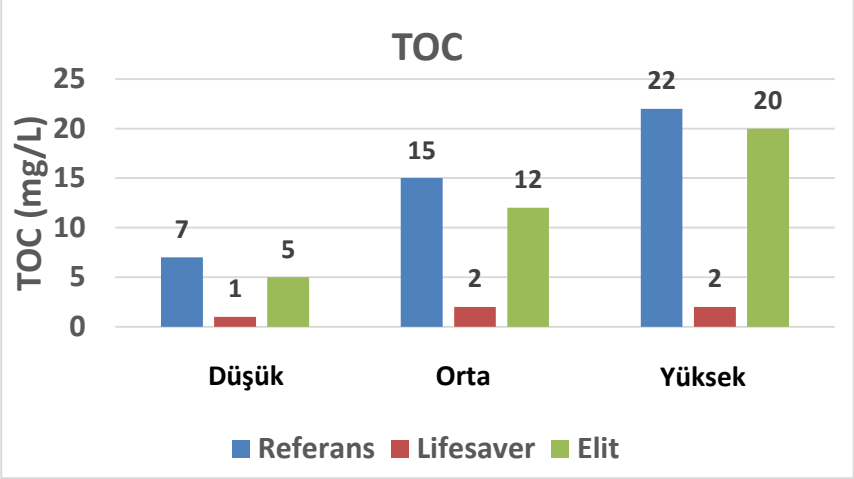
Çizelge 4.19: Membranların özellikleri.

Ultrafiltre	Malzeme	Yüzey Alanı (m^2/g)	Gözenek çapı (nm)
Lifesaver	PES	17.0117	0.8024
Elit	PP	40.5236	0.3431

4.6 Ultrafiltre Membranların Performans Sonuçları

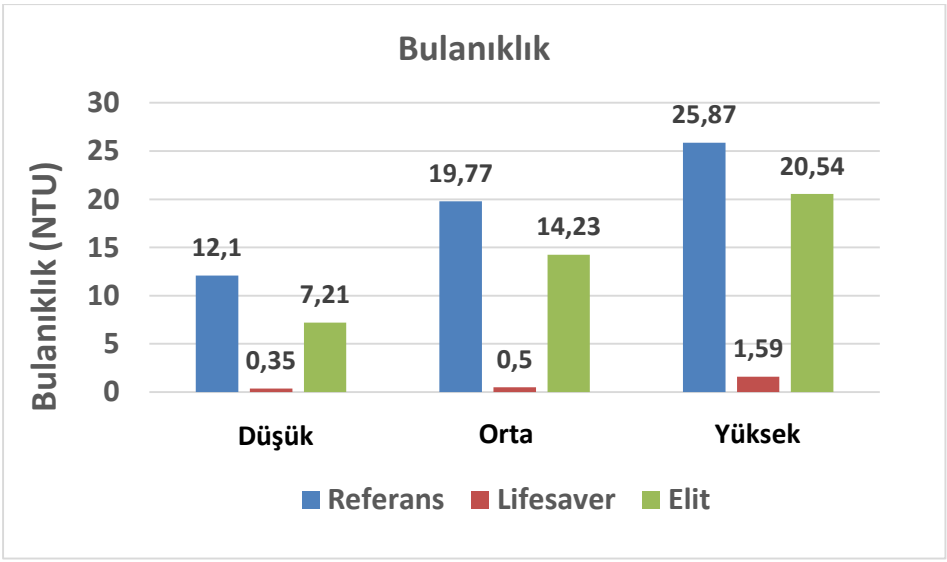
Ultrafiltre membranlarınların TOC, bulanıklık ve renk giderim performanslarına konsantrasyon ve ultrafiltre malzemesinin etkisinin incelendiği bu deneyde, WHO tarafından belirlenen model yüzey suyunda bulunabilecek TOC miktarı (15±5 mg/L) göz önüne alınarak, TOC değeri düşük, orta ve yüksek olacak şekilde üç farklı hümik asit çözeltisi hazırlanmıştır.

Şekil 4.28'de TOC, Şekil 4.29'da bulanıklık ve Şekil 4.30'da renk giderimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.28: Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun TOC giderimine etkisi.

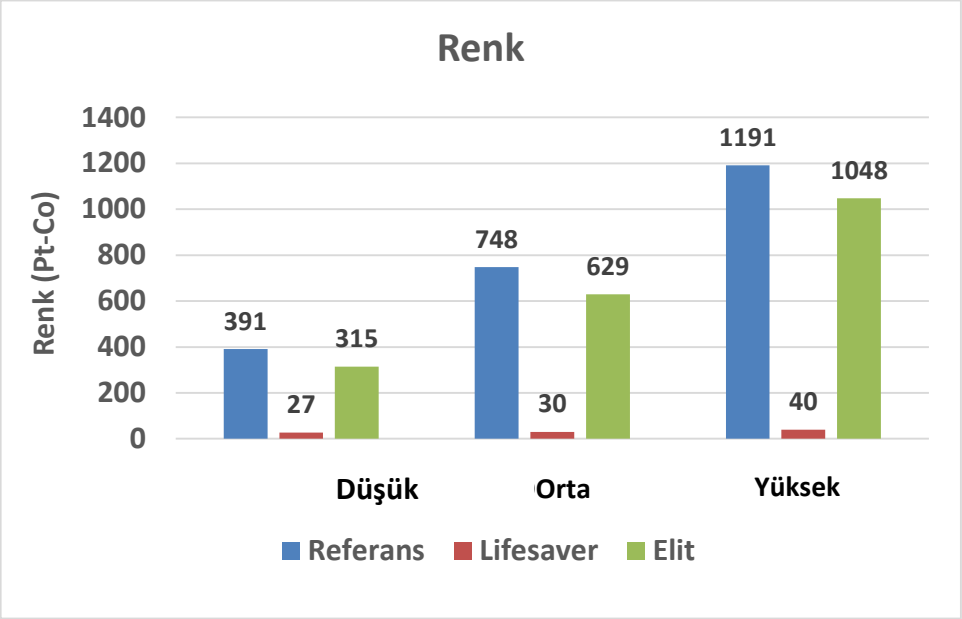
Ultrafiltre membranlarla TOC giderimi incelendiğinde, Lifesaver membranın her üç konsantrasyonda da TOC değeri Kanada Halk Sağlığı Regülasyonu'nda belirtilen 2.5 mg/L'nin altına düşürdüğü belirlenmiştir. TOC giderimi için içilebilir su limit değeri yalnızca Kanada Halk Sağlığı Regülasyonun'da belirtildiğinden çalışmada karşılaştırma bu değerle yapılmıştır. Elit membran ise düşük hümik asit konsantrasyonlu çözeltide bile TOC değerini içilebilir limite indirememiştir



Şekil 4.29 : Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun bulanıklık giderimine etkisi.

Ultrafiltre membranlarla bulanıklık giderimi incelendiğinde, Lifesaver membranın her üç konsantrasyonda da bulanıklılığı içilebilir limit olan 5 NTU'nun oldukça altına

indirdiği, Elit membranın ise bulanıklılığı hiçbir konsantrasyonda gideremediği görülmüştür.

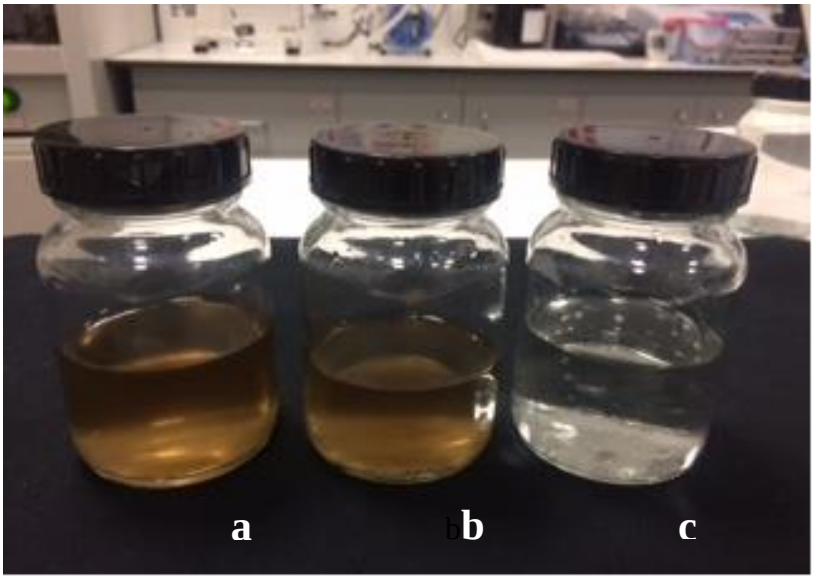


Şekil 4.30: Lifesaver (PES) ve Elit (PP) membran kullanılan ultrafiltrasyon işleminde membran malzemesinin ve çözelti konsantrasyonunun bulanıklık giderimine etkisi.

Ultrafiltre membranlarla renk gideriminin incelendiği deneylerden, her iki membranın da renk değerini içilebilir limit değer olan 20 Pt-Co'ya indirgeyemediği görülmüştür. Ancak Lifesaver membran, Elit membrana kıyasla çok daha iyi bir performans göstermiştir.

4.7 Hibrit Sistem Performans Sonuçları

Aktif karbon ve ultrafiltrasyon deneyleri sonunda, performansı daha yüksek olan Filtracarb RTO 8X30 US marka aktif karbon ve Lifesaver membran kullanılarak hibrit bir sistem oluşturulmuştur. WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyu temel alınarak, yüzey sularında sık karşılaşılan iyonlar olan sülfat, nitrat, nitrit ve ağır metal olarak bakır Yüzey Suları Kalite Yönetmeliği II.sınıf ve IV.sınıf su kalitesinde belirtilmiş olan değerlerde model yüzey suyuna ilave edilerek yeni bir yüzey suyu hazırlanıştır. Oluşturulan model su hibrit sistemden geçirilmiştir. Çizelge 4.20'de hibrit sistem performans sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.31'de model yüzey suyunun başlangıç ve hibrit sistem kullanılarak filtre edildikten sonraki sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.31 : Model yüzey suyu ve hibrit sistemden geçen su a. Model yüzey suyu b. Aktif karbon filtre sonrası model su c. Hibrit sistemden geçen su

Çizelge 4.20: Hibrit sistem performans sonuçları[2]

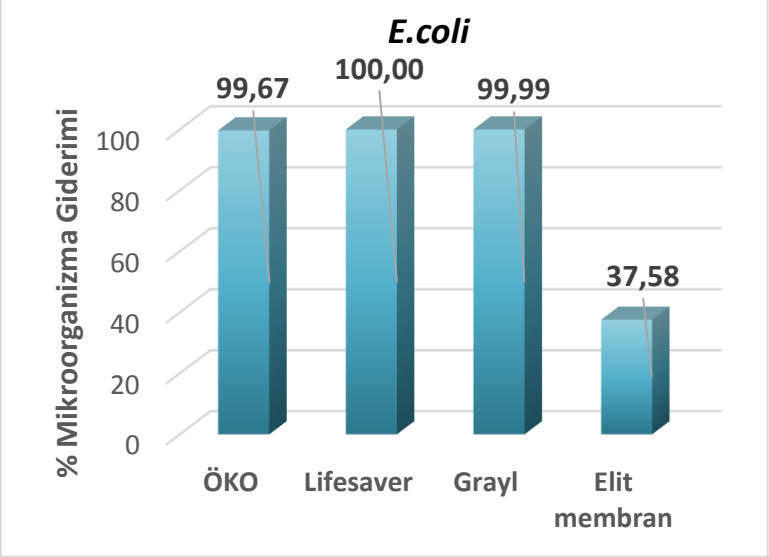
	pH	İletkenlik mS/cm	TDS mg/L	Sıcaklık °C	Nitrat mg/L	Nitrit mg/L	Sülfat mg/L	Bakır mg/L	Renk Pt-Co	Bulanıklık NTU	UV_{254} nm
Limit	6.5-9.5	2.5	1500		50	0.5	250	2	20	5	
II.Kalite Model Su	9.22	1.45	925	17.1	48.3	0.38	235	1.12	683	37.6	0.5529
Ultrafiltrasyon	7.33	1.33	848	20.4	35.9	0.15	212	0.197	14	0.394	0.0657
Hibrit Sistem	8.03	1.35	864	20.3	27.8	0.15	214.5	0.145	9	0.349	0.0528
IV.Kalite Model Su	9.11	2.52	1612	19.7	100.5	4.24	420	3.31	1035	40.3	0.8654
Ultrafiltrasyon	8.32	2.37	1516	20.4	92.9	3.81	383	0.234	35	0.830	0.0996
Hibrit Sistem	8.87	2.32	1486	20.6	59.7	2.41	386.5	0.075	20	0.493	0.0806

[2] Deneyler 3 tekrarlı yapılmıştır.

Çizelge 4.20'den da görülebileceği gibi az kirlenmiş yüzey sularında, nitrat, nitrit, sülfat ve bakır konsantrasyonları içilebilir su limit değerinin altındadır. Az kirlenmiş yüzey sularının hem ultrafiltrasyonla hem de hibrit sistemle filtre edilmesi sonucu içilebilir su standardına uygun su elde edilmektedir. Çok kirlenmiş yüzey sularında ise, nitrat, nitrit ve sülfat hala problem yaratan iyonlardır. Ancak ultrafiltrasyon ile çok kirlenmiş yüzey sularından içilebilir limite uygun renkte su elde edilemezken, hibrit sistemle içilebilir su standardına uygun renkte su elde edilmektedir. Aynı zamanda hibrit sistemin oluşturulmasıyla bakır konsantrasyonu, bulanıklık ve UV_{254} değerleri ultrafiltrasyona göre daha çok indirgenmiş böylece su kalitesi iyileştirilmiştir.

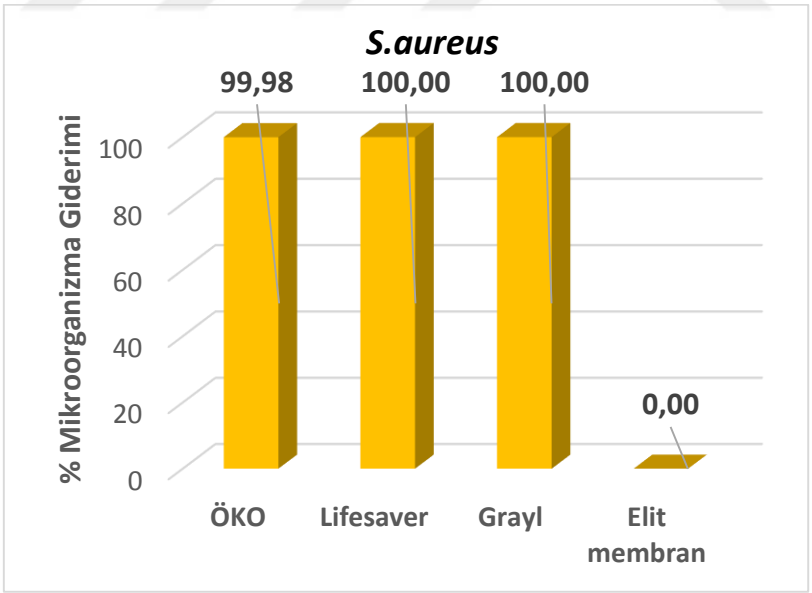
4.8 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Yüzey sularının içme suyu kriterlerine getirilmesi için içerdiği mikroorganizmaların standart ve regülasyona göre tamamen uzaklaştırılması ve hijyenik su eldesi sağlaması gerekmektedir. Bölüm 3.3.1'de anlatıldığı gibi hazırlanan kontrollü mikroorganizma çözeltileri temin edilen ticari filtrasyon şişeleri ve ultrafiltre membran kullanılarak filtre edilmiştir. Şekil 4.32'de *E.coli,* Şekil 4.33'de *S.auerus*, Şekil 4.34'te *P.aureginosa*, Şekil 4.35'te *S.typhimurium* ve Şekil 4.36'da *C.perfingens* giderimi % olarak verilmiştir.



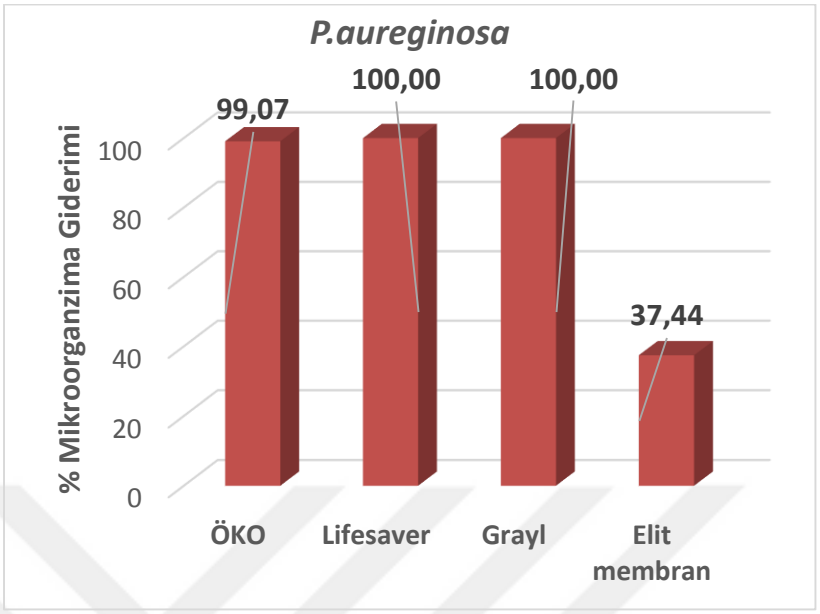
Şekil 4.32: Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *E.coli* giderimi
(Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~ 10^6 kob/mL
Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe;)

Şekil 4.32'den görüldüğü gibi, Lifesaver filtrasyon şişesi *E.coli*'yi tamamen uzaklaştırmaktadır. Lifesaver'dan sonra sırasıyla Grayl ve ÖKO Original filtrasyon şişeleri gelmektedir. Elit membranın performansı ise üç filtrasyon şişesine kıyasla oldukça kötüdür.



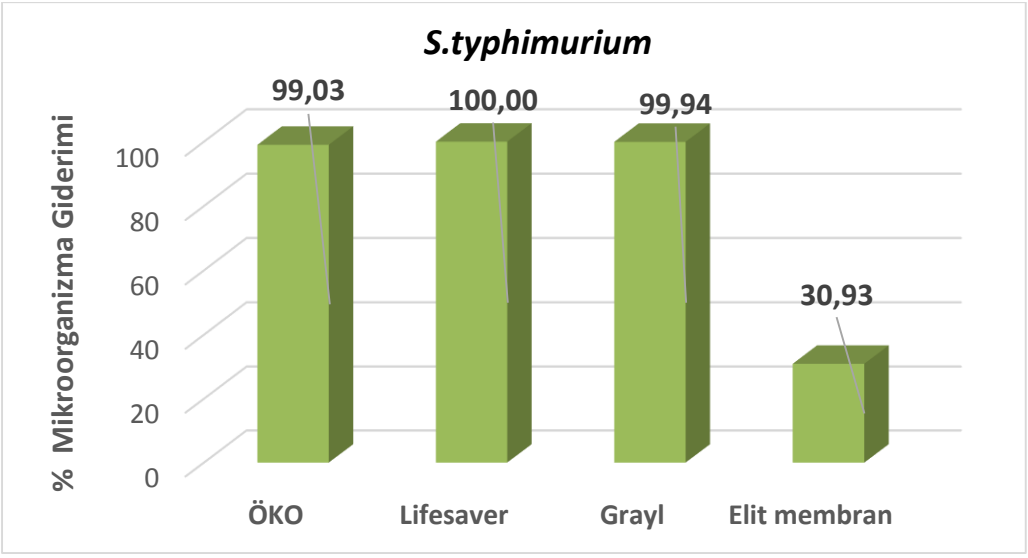
Şekil 4.33: Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *S.aureus* giderimi
(Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~ 10^6 kob/mL
Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe;)

Şekil 4.33'den görüldüğü gibi, *S.aureus* gideriminde Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişeleri % 100 giderim sağlarken, Elit membran ise hiç gideremeyiştir.



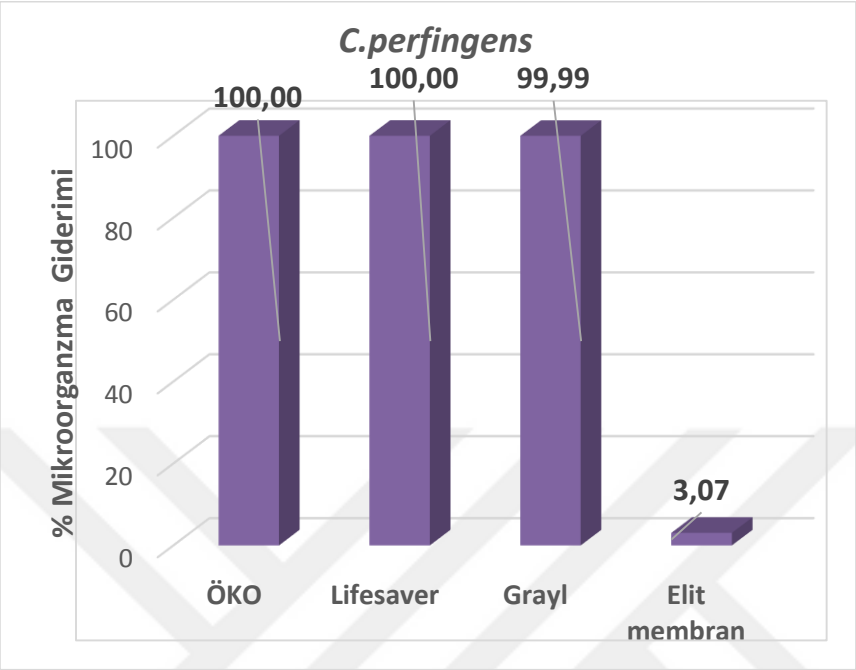
Şekil 4.34 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *P.aureginosa* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu: ~ 10^6 kob/mL Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe)

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi, *S.aureus* gideriminde Lifesaver ve Grayl filtrasyon şişeleri % 100 giderim sağlamıştır. ÖKO Original filtrasyon şişesi % 99.07 giderimle onları takip ederken, Elit membran % giderimi her üç şişenin de oldukça altında kalmıştır.



Şekil 4.35 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *S.typhimurium* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu:~ 10^6 kob/mL Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe)

S.typhimurium % giderim değerleri incelendiğinde, Lifesaver filtrasyon şişesinin %100 giderim sağladığı belirlenmiştir. S. *typhimurium* gideriminde Lifesaver'ı sırasıyla Grayl, ÖKO Original ve Elit membran takip etmektedir.



Şekil 4.36 : Kontrollü mikroorganizma çözeltisinden *C.perfingens* giderimi (Sıcaklık: 23 ± 2 ºC; Başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu: ~ 10^6 kob/mL Filtrenen su hacmi : 300 mL/şişe)

C.perfingens % giderimleri incelendiğinde, Lifesaver ve ÖKO Original filtrasyon şişelerinin % 100 giderim sağladığı belirlenmiştir. Grayl bu şişeleri takip ederken, Elit membran performansının üç şişeye göre yine oldukça kötü olduğu görülmüştür.

5. VARGILAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ağır metal ve arsenik gibi kimyasallarla ve mikrobiyolojik olarak kirletilmiş yüzey sularından içilebilir su eldesi sağlayan portatif cihazlar için geleneksel ve alternatif teknolojilerin belirlenmesine yönelik literatür ve pazar araştırması yapılmıştır. Bu amaçla Amerika pazarından ÖKO Original, Grayl ve İngiltere pazarından Lifesaver filtrasyon şişeleri temin edilerek performansları değerlendirilmiştir.

Nitrat, nitrit, klor ve sülfat gibi kimyasallar, Yüzeysel Su Kalite Yönetmeliği'nde belirtilen su kalite sınıflarına göre çok kirlenmiş (IV. Sınıf) model yüzey suyunda belirtilen konsantrasyonlarda, WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyuna ilave edilmiştir.Hazırlanan çok kirlenmiş yüzey suları filtrasyon şişelerinden filtre edilerek, şişelerin performansları karşılaştırılmıştır. Her üç şişe de, nitrat, nitrit, klor ve sülfat gideriminde başarılı değildir. Şişeler pH, bulanıklık, bakır, karbon gideriminde etkin performans göstermişlerdir. Toplam karbon giderimi için UV_{254} absorbans değerleri incelenip, her üç şişeninde karbon gideriminde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. ÖKO Original karbon gideriminin % 98.5, Lifesaver'ın ise % 99, Grayl'in ise %97 olduğu belirlenmiştir. Ancak renk gideriminde Lifesaver içme suyu standardına uygun su üretememektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, su filtrasyonunda en sık aktif karbon ve ultrafiltrasyonun kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle, kömür ve Hindistan cevizi kabuğundan yapılmış iki tip aktif karbon tedarik edilerek, aktif karbonun arsenik, bakır ve serbest klor giderim performansı debi, pH, ve sıcaklık gibi parametreler göz önüne alınarak incelenmiştir. Hindistan cevizi kabuğundan yapılmış aktif karbonla yürütülen filtrasyon deneylerinde debi etkisi incelendiğinde, 20 mL/dk 'da en etkin performans gözlenmiştir.Debi değeri arttıkça, filtrasyon performansı kötüleşmektedir. Ancak çalışmada portatif bir içme suyu cihazı tasarlanması istenildiğinden ve müşterinin sağlıklı içilebilir suya mümkün olan en kısa sürede ulaşmasını sağlamak

amacıyla en uygun debi 100 mL/dk olarak seçilmiştir. pH etkisinin incelendiği deneylerde, bakır gideriminin en fazla olduğu pH'ın 7 olduğu belirlenmiştir. Serbest klor için ise pH 6 ve 7'de giderimler birbirine oldukça yakın olarak bulunmuştur. Arsenik giderimi için ise en uygun pH'ın 6 olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm pH değerlerinde bakır, serbest klor, arsenik giderimi başarılı olup, konsantrasyonlar içme suyu standardına uygun olarak bulunmuştur. Sıcaklık parametresinin incelendiği deneylerde 10^{o}C'de bakır, arsenik ve serbest klor giderim performansının oldukça kötü olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça, adsorpsiyon artarak maksimum giderim 40 ^{o}C'de görülmüştür. 10 ^{o}C hariç, diğer sıcaklıklarda bakır, serbest klor ve arsenik konsantrasyonu içme suyu standardında belirtilen limit değerin altına düşmüştür.

Debi, pH ve sıcaklık etkisi Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonla incelenerek, bakır arsenik, ve serbest klor için en iyi giderimin sağlandığı koşullar belirlenmiştir. Belirlenen en iyi koşullarda Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka ve CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbon kullanılarak filtrasyon deneyleri yürütülmüş ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bakır ve serbest klor giderimi her iki marka aktif karbonla aynıdır ancak arsenik Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbonla tamamen giderilirken, CarboTech DGFA 8x30/55 marka aktif karbonla ancak %33 oaranında giderilebilmiştir. Bu nedenle su filtrasyon çalışmalarında, daha geniş yüzey alanına sahip Hindistan ceviziği kabuğundan yapılmış Filtracarb® RTO 8 x 30 US marka aktif karbon kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Aktif karbon performansının daha iyi belirlenmesi için, farklı başlangıç konsantrasyonlarında arsenik, bakır ve serbest klor çözeltileri ile çalışılabilir. 10^{o}C ve altındaki yüzey sularının filtrasyonunda bu sistem başarısız olduğu için, portatif bir cihaz tasarlandığında, cihaza bir termal çift ve ısıtıcı eklenebilir.

Ultrafiltrasyon teknolojisi kullanılarak içme suyu eldesi için, PES ultrafiltre membrana sahip Lifesaver filtrasyon şişesi ve PP ultrafiltreye sahip Elit membran kullanılmıştır. Ultrafiltrasyonla TOC, renk ve bulanıklık giderimleri düşük, orta ve yüksek konsantrasyonda hazırlanmış 3 farklı hümik asit çözeltisi ile test edilmiştir. TOC ve bulanıklık gideriminde Lifesaver oldukça başarılı iken, renkte % 97 renk giderimi sağlasa da içme suyu standardına uygun su üretememiştir. Elit membran ise TOC, bulanıklık ve renk giderimlerinde etkili bir performans gösterememiştir. Bunun nedeni, hidrofobik bir malzeme olan PP'den yapılmasıyla açıklanabilir.

Aktif karbon ve ultrafiltrasyon deneyleri sonunda, performansı daha yüksek olan Filtracarb RTO 8X30 US marka aktif karbon ve Lifesaver membran kullanılarak hibrit bir sistem oluşturulmuştur. WHO tarafından belirlenmiş model yüzey suyu baz alınarak, yüzey sularında sık karşılaşılan iyonlar olan sülfat, nitrat, nitrit ve ağır metal olarak bakır Yüzey Suları Kalite Yönetmeliği II.sınıf ve IV.sınıf su kalitesinde belirtilmiş olan değerlerde model yüzey suyuna ilave edilmiştir. Oluşturulan model su hibrit sistemden geçirilmiştir. II. Sınıf yüzey sularında nitrat, nitrit, sülfat ve bakır konsantrasyonları içilebilir limitin altında olarak elde edilmiştir. IV. Sınıf yüzey sularında ise nitrat, nitrit, sülfat ve bakır önemli kirletici parametreler arasındadır. Ultrafiltrasyon ve aktif karbonla oluşturulmuş hibrit bir sistemde nitrat, nitrit ve sülfat giderimi sağlanamadığı belirlenmiştir. Ancak hibrit sistemde renk değeri içilebilir limite uygun hale getirilmiştir. Aynı zamanda, bakır, bulanıklık, UV_{254} değerleri daha da indirgenerek su kalitesi iyileştirilmiştir.

Ticari şişelerin ve membranların mikroorganizma giderim performansları *E.coli, S.aureus, P.aeruginosa, C. perfringens ve S. typhimurium* mikroorganizmalarını içeren kontrollü mikroorganizma çözeltisi (~10^6 kob /mL) kullanılarak belirlenmiştir. Lifesaver tüm mikroorganizmaları tamamen indirgemiştir. Elit membran ise tüm şişeler arasında en kötü performansı göstermiştir. *E.coli* ve *P.aeruginosa*'yı ancak %37 oaranında giderebilmiştir. Lifesaver'dan sonra en etkin performans Grayl'e aittir. *C. perfringens* gideriminde Lifesaver gibi ÖKO Original da %100 giderim sağlamıştır.

Yapılan araştırma ve deneysel çalışmalar sonunda, piyasa da bulunan filtrasyon şişelerinin nitrat, nitrit, sülfat gibi inorganik kirleticilerle çok kirletilmiş yüzey sularını filtre etmede başarısız olduğu görülmüştür. Ancak filtrasyon şişeleri organik kirlilik ve partiküler gideriminde başarılıdır. Mikrobiyal kirliliğin gideriminde ise zeolit kullanılan filtrasyon şişelerine göre PES ultrafiltreye sahip şişelerin daha etkili olduğu görülmüştür.

Günümüzde, portatif bir cihaza adapte olarak nitrat, nitrit, sülfat gibi kirleticileri giderecek teknoloji mevcut değildir. Bu kirleticiler ancak ters osmoz sistemleri kullanılarak giderilmektedir. Ancak gelişen teknolojiyle beraber bu kirleticileri de ortadan kaldıracak yeni malzemeler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Sun, F.,Chen, M.,Chen, J.,**(2011). Integrated Management of Source Water Quantity and Quality for Human Health in a Changing World, *Encyclopedia of Environmental Health*, 254-262.

[2]**Url-1<**http://www.ankaradegillefkosa.org/ulkemizde-su-ve-yapmamizgerekenler-salih -ersangil/>, erişim tarihi:15.11.2016

[3]**Url-2**<http://www.worstpolluted.org/projects_reports/display/57,erişim tarihi: 15.11.2016

[4] **WHO ve UNICEF** (2015). Progress on Sanitation and Drinking Water, Report, *World Health Organization and United Nations Children's Fund*, Geneva.

[5] **Güler, Ç.,** (2016). Su Kalitesi. Erişim adresi http://docplayer.biz.tr/198005-Cevre-sagligi-temel-kaynak-dizisi-no-43-su-kalitesi-prof-dr-cagatay-guler-zakir-cobanoglu-birinci-baski.html

[6] **Oğuz, T.C.,** (2015). *İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri* (Uzmanlık Tezi). T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

[7] **Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği,(2012).*T.C Resmi Gazete,*28443, 30 Kasım 2012.**

[8] **Gray, N.F.**, (2008). *Drinking Water Quality – Problems and Solutions.*(2nd edition). New York: Cambridge University Press

[9] **National Primary Drinking Water Regulations (t.y) *Enviromental Proctection Agency-EPA***

[10]**Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı.** (2014), Antalya :*Suda Aranan Parametreler Anlamı, Kaynağı, Sağlık Etkisi* [Powertpoint sunum]. Erişim: http://www.slideserve.com/pisces/suda-aranan-parametreler-anlam-kayna-sa-l-k-etkileri

[11] **Salmani, M.H, Ehrampoush, M.H., Sheikhalishahi, S., Dehravi, M**.(2012), Removing Copper From Contamined Water Using Activated Carbon Sorbent by Continuous Flow, *Journal of Health Resources*, 1(1), 11-18

[12] **Erdoğan, Y.A,** (2005). *Atıksulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik* Giderimi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] **Maeng, M., Choi, Euiso., Dockko, Seok.,**(2015). Reduction Of Organic Matter in Drinkng Water Using a hybrid system combined with a rock bofilter and membrane in developing countries, *International Biodeterioration& Biodegration,*102, 223-230

[14] **WHO**,(2011). Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva.

[15] **Olson, B.H, Clark, D.L, Milner, B.B, Stewart, M.H**, (1991). Total Coliform Detection in Drinking Water :Comporision of membrane filtration with colicert and coliquik, *Applied and Environmental Microbiology*, 57(5),1535-1539.

[16] **Kıvanç,M., Kunduhoğlu, B., Atik, S., B. Malkoçoğlu,** (1996). Eskişehir içme ve kullanma sularının bakteriyolojik kirliliği. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 19,19-21.

[17] **Kostyla,C.,Bain, R., Cronk, R., Bartram, J**.,(2015). Seasonal variation of fecal contamination in drinking water sources in developing countries: A systematic review, *Science of Total Environment*, 514, 333-343

[18] **Razzolini, M.T.P, Lauretto, M.S., Hachich,E.M., Sato,M.I.Z, Nardocci, A.C.,** (2015). *Giardia* and Cryptosporidium infection risk by simultaneous exposure to drinking water, *Microbial Risk Analysis*, 1-6

[19] **EPA,** (2005). Filtration Facts, *Water Health Series*, 816-K-05-002.

[20] **Saygın, P.** (2003). *Evsel Koşullarda Kirlenmiş Suların Tekrar Kullanılabilirliği İçin Farklı Dezenfeksiyon Yöntemlerinin İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[21] **Renton, J.I**., (t.y). *Types of Spread of Bacterial Infections and Bacterial Agents Causing Water Related Diseases*, erişim: Kasım 28, 2016, http://ubclfs-wmc.landfood.ubc.ca/webapp/WID/course/water-human-health-6/microbial-issues-25/

[22] **Suların Analiz Parametreleri**, (2011). *Çevre Sağlığı*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 850CK0011.

[23] **Url-3** http://www.alkalisu.org/alkalisuileyasamvespor.html, erişim tarihi: 27.02.2017

[23] **EPA**, (1999).,Total Dissolved Solids (TDS): EPA Method 160.1 (Gravimetric dried at 180 deg. C).

[25] **Atekwanaa, Eliot A.; Atekwanaa, Estella A.; Roweb, Rebecca S.; Werkema Jr., D. Dale; Legalld, Franklyn D.**,(2004). The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon, *Journal of Applied Geophysics*. **56** (4): 281–294

[26] **EPA**, (2013).General requirements for filtration and disinfection of surface water sources, 3745-81-71.

[27] **Public Health Engineering Guideline: Small Water Systems Design- Surface Water Sources** ,(2010). *Northern Health*

[28] **EPA**, (2006)., Point-of-Use and Point-of-Entry Treatment Options for Small Drinking Water Systems, 815-R-06-010.

[29] **Url-4**, < http://www.nsf.org/services/by-industry/water-wastewater/residential-water-treatment/residential-drinking-water-treatment-standards>, erişim tarihi: 28.11.2016.

[30] **TS266**,(2005). Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, *Türk Standartları Enstitüsü*.

[31] **WHO**, (2006).Guideliness for Drinking-Water Quality, *World Health Organization*, Geneva.

[32] **Stoeckli H. F., Kraehenbuehl F.** (1984), The External Surface of Microporous Carbons, derived from Adsorption and Immersion Studies, *Carbon*, 22, 297.

[33] **Kadlec,O.** (1979). The Characterization of Porous Solids, *Proceeding Swiss-British Symp. SCI,* London.

[34] **Jaroniec M., Choma J.**,(1986), Materials Chem. Phys. 15, 521

[35] **Sharma, D.C., Forster C.F., (**1993). Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat, *Water Research*, **27**, 1201-1208

[36] **Attaphan,A., Sattler, M.L**., (2013). A Comparison of Bituminous Coal-Based and Coconut Shell-Based Activated Carbon for Removal of Trace Hazardous Air Pollutants in Landfill Gas, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*,6,331-337

[37] **Chen, J.P., Wu S.N., Chong K.H., (**2003). Surface Modification of a Granular Activated Carbon by Citric Acid for Enhancement of Copper Adsorption, *Carbon*, 10, 1979-1986.

[38] **Orha, C., Pode, R., Manea,F., Lazau,C., Bandas**, **C**.,(2016).Titanium Dioxide-Modified Activated Carbon Foradvanced Drinking Water Treatment, *Process Safety and Environmental Protection*.

[39] **Mise, R.S., Divriyani, I**.,(2013). Arsenic Removal from Water Using Activated Carbon Derived from Peltophorum Pterocarpum (Copper Rod), International Journal of Research in Engineering and Technolog

[40]**Url-5**<http://www.tigg.com/Library/Why-are-Activated-Carbons-Different.pdf>, erişim tarihi: 18.12.2016

[41]**Url-6**<http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_089b/0901b8038089bac7.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/795-00078.pdf&fromPage=GetDoc>,erişim tarihi: 29.11.2016

[42] **Tansel B, Sager J, Rector T, Garland J, Strayer R.F, Levine L, Roberts M, Hummerick M, Bauer J.,** (2006).,Significance of Hydrated Radius and Hydration Shells on Ionic Permeability During Nanofiltration in Dead End and Cross Flow Modes, *Separation and Purification Technology*, 51(1), 40-47.

[43]**Vigneswaran S, Ngo HH, Singh Chaudhary D, Hung YT**.,(2004)., Physicochemical Treatment Processes for Water Reuse, *Physicochemical Treatment Processes*, New Jersey.

[44] **Yukosa, A.,**(1998)., Drinking Water Production By Coagulation-Microfiltration And Adsorption-Ultrafiltration, *Water Science And Technology*, 37,10, 135-146.

[45] **Serrano, F.R., Perez, J.I.,Gomez, M.A.,** (2016). Comparative Study Of İn-Line Coagulation And/Or Ozonization Pre-Treatment For Drinking-Water Production With Spiral-Wound Ultrafiltration Membranes, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*,105, 21-29.

[46] **Xia, S.J., Liu, N.Y., Li.X., Yao, J.J.,**(2007). Drinking Water Production By Ultrafiltration Of Songhuajiang River With PAC Adsorption, *Journal of Enviromenal Science,* 19(5):536-9.

[47] **Saulys, A., Zagorskis A**.,(2012)., Determination of Organic Matter by UV Adsorption and Ground Water, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(2), 163-167.

[48] **Rodrigues, A., Brito, A., Janknecht,P., Proença, M.F., Nogueria,R.,** (2008)., Quantification of humic acids in surface water: effects of divalent cations, pH and filtration, Journal of Environmental Monitoring, 11, 377-382.

[49] **Halkman, A. K.** (2005). Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları, Başak Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara.

[50]**EPA**,(2001). Parameters of Water Quality Interpretation and Standards, Environmental Protection Agency, Ireland.

[51] **Url-7** http://biofilmbook.hypertextbookshop.com/public_version/ contents/appendices/appendix002/pages/page007.html, erişim tarihi:10.03.2017

[52] **Takenaka,K., Miyazaki, A., Setsuhara,Y**.,(2014). Molecular-structure variation of organic materials irradiated with atmospheric pressure plasma, *Journal of Physics: Conference Series 518 (2014) 012018*

[53] **Carrasco, M.T., Paloma, J.G., Puertas, F.,** (2014). Sodium Silicate Solutions From Dissolution Of Glass Wastes. Statistical Analysis *Mater. Construcc.* 64, 314.Erişim:http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1470/1706

[54] **Moarefian,A., Golestani, H.A., Bahmanpour, H.,**(2014). Removal of Amoxicillin from wastewater by self-made Polyethersulfone membrane using nanofiltration, *Journal of Environmental Health Science and Engineering,* 12(1):127.

[55] **Qu, P.,Tang, H., Gao, Y.,Zhang, L., Wang, S.**,(2010). Polyetheresulfone Composite Membrane Blended With Cellulose Fibrils, ***Bioresouces***, 5(4),2323-2336.

[56] **Tan, K.H., Falcon-Lopez, R.A.**,(2008). Effect of fulvic and humic acids on nitrification, Part1: In vitro producton of nitrite and nitrate, *Journal: Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(8), 835-853

[57] **Technical Data Sheet**, CarboTech DGFA 8x30/55, Carbotech AC GmbH.

[58] **Technical Data Sheet**, (2015).,Filtracarb® RT0 8 x 30 US, CPL Carbon Link.

[59] **Dowlatshahi, S., Torbati, A.R.H., Loloei, Mahshid.**,(2014).Adsorption of copper, lead and cadmium from aqueous solutions by activated carbon prepared from saffron leaves, *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 1(1),37-44.

[60] **Lin, T.S., Wu, J.K.**, (2001)., Adsorption of Arsenite and Arsenate within Activated Alumina Grains: Equilibrium and Kinetics, *Water Research*, **35**, 8, 2049-2057

[61] **Baskaran, P.K., Venkatraman, B.R., Hema,M. Arivoli, S**.,(2010). Adsorption studies of copper ion by low cost activated carbon, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2(5),642-655.

[62] **Devasahayam, S., Sahajwalla, V., Sng, M.,** (2013). Investigation into Failure in Mining Wire Ropes—Effect of Crystallinity, *Journal of Organic Polymer Materials*, 3 (2), 30105,7.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Büşra Karaman

Doğum Tarihi ve Yeri : 08.05.1990 Üsküdar

E-posta : karamanbus@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (ÇAP programı)