KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUSURLUK İÇME SUYU ARITMA TESİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ: KİMYASAL KOAGÜLASYON İLE DEMİR VE MANGAN GİDERİMİ

DİLARA AKTUĞ

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SUSURLUK İÇME SUYU ARITMA TESİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ: KİMYASAL KOAGÜLASYON İLE DEMİR VE MANGAN GİDERİMİ

DİLARA AKTUĞ

Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN		
Danışman,	**Kocaeli Üniv.**	**.....**
Prof. Dr. Nevim GENÇ		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniv.**	**.....**
Prof. Dr. Hüseyin Cengiz YATMAZ		
Jüri Üyesi,	**Gebze Teknik Üniv.**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih:21.09.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/altyapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ……... tarafından ……. no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)
Dilara AKTUĞ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslimetmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
(İmza)
Dilara AKTUĞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET. ix
ABSTRACT x
1.GİRİŞ 1
2.LİTERATÜR BİLGİSİ 3
2.1. İçme Suyu 4
2.1.1. İçme Suyu Kaynakları 4
2.1.2. İçme Suyu Özellikleri 6
2.1.2.1. İçme Suyu Fiziksel Özellikleri 6
2.1.2.2. İçme Suyu Kimyasal Özellikleri 8
2.1.2.3. İçme Suyu Mikrobiyolojik Özellikleri 10
2.1.3. İçme suyu Sınır Değerleri 11
2.1.4. İçme Suyunda Demir ve Mangan 15
2.1.4.1. Demir ve Mangan Genel Özellikleri 15
2.1.4.2. Demir ve Mangan Kaynakları 18
2.1.4.3. Demir ve Mangan Zararları 21
2.2. İçme Suyu Arıtım Yöntemleri 23
2.2.1.Konvansiyonel Arıtım Yöntemleri 23
2.2.1.1.Havalandırma 23
2.2.1.2.Koagülasyon-Flokülasyon 24
2.2.1.3.Hızlı ve Yavaş Karıştırma 27
2.2.1.4.Çöktürme 27
2.2.1.5.Filtrasyon 28
2.2.1.6.Dezenfeksiyon 30
2.2.1.7.İyon Değiştirme 30
2.2.2.Diğer Teknolojiler 31
2.2.2.1.UV ile Arıtım 31
2.2.2.2.Ozonlama 32
2.2.2.3.Membran Filtrasyon 36

2.2.2.4.Adsorbsiyon 41
2.2.2.5.Hipokloröz ile Dezenfeksiyon 43
3.MATERYAL-METOD 44
3.1. Çataldağ Göleti Hamsu Karakterizasyou 44
3.2. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi 45
3.3. Kullanılan Kimyasallar, Cihazlar ve Ekipmanlar 49
3.4. Deneysel Tasarım Yöntemi 54
3.4.1. Taguchi Metodu 54
3.4.2. Varyans Analizi 56
3.4.3. Cevap Yüzey Yöntemi 57
3.5. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Demir ve Mangan Arıtımında Deneysel Tasarım 58
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 61
4.1. Ön Çalışmalar 61
4.2. Diğer Analiz Sonuçlar 64
4.3. Çamur Deneyleri 69
4.4. Performans Değerlendirmesi ve Yapılacak İyileştirmeler 70
5.SONUÇ VE ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 74
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 91
ÖZGEÇMİŞ 92

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, benden desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgi ve birikimini benimle paylaşan, hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN'a,

Lisans hayatıma başladığım ilk gün tanıştığım, eğitim ve öğretim sürecimde, lisans tez çalışmalarım ve yüksek lisans tez çalışmalarımın tamamında, iş hayatımda dahil olmak üzere; iş hayatından, çalışmalarından ve ailesinden vakit ayırıp gece gündüz demeden her türlü desteği sağlayan değerli hocam Y. Çevre Müh. Ali Oğuzhan Narcı'ya,

Tez çalışmamda benden yardım ve desteklerini esgirmeyen BASKİ Genel Müdürü İzzet GÜNAL'a, daire başkanı Ayşın ŞİRVANCI'ya, şube müdürü Birol KOCATAŞ'a,

İlkokuldan beri çalışmalarıma ve hayatıma kattıkları için amcam Dr.Şafak MAT'a, ilerlediğim bu yolda bana benden çok inan ve güvenen Rana SARIHAN ve ailesine,

Eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman bana destek olan, iyi bir eğitim almam için bütün olanaklarını sonuna kadar kullanan bütün zor zamanlarımda yanımda olan annem Ayşe AKTUĞ, babam İlker AKTUĞ, kız kardeşim Melisa AKTUĞ, ananem Remziye GÜZELCEOĞLU, teyzem Aylin GÜZELCEOĞLU'na, bedenen artık yanımda olmasa bile ruhen her zaman yanımda olduğuna inandığım bitanecik dedem Üzeyir GÜZELCEOĞLU'na sevgi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül - 2022 Dilara AKTUĞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Su kaynaklarının yeryüzündeki potansiyel dağılımı 1
Şekil 2.1. (a) Demir, (b) Mangan.....16
Şekil 2.2. Ozon jeneratörüyle O_3 oluşturmada korona akımı 34
Şekil 2.3. Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi 37
Şekil 2.4. (a) Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması, (b) Yatay Yönlü Membran Su Akış Şeması 37
Şekil 2.5. Doğal Ozmos İşlemi 40
Şekil 2.6. Ters Ozmos Sistemi.....40
Şekil 3.1. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi.....46
Şekil 3.2. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması 46
Şekil 3.3. Jar Testi Düzeneği 50
Şekil 3.4. Hach Lange HQ40d Multi marka analizör 51
Şekil 3.5. Türbidimetre cihazı Hach Lange 2100N 51
Şekil 3.6. (a) Saf Su Cihazı nükleon marka, (b) Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı WN-H320, (c) Hassas Terazi Radwag marka, (d) Otomatik Pipetler Brand marka 52
Şekil 3.7. Jar Testi Düzeneği 54
Şekil 4.1. 0.045 Mg/L Polielektrolit İlavesi ile Optimum Pac-S/Cl, Alüminyum Sülfat/Cl, Demir (III) Klorür/Cl Dozlarında Bulanıklık, Demir ve Mangan Çıkış Değerleri 62
Şekil 4.2. 0.045 Mg/L Polielektrolit İlavesi ile Optimum Pac-S/Hipokloröz, Alüminyum Sülfat/Hipokloröz, Demir (III) Klorür/Hipokloröz Dozlarında Bulanıklık, Demir ve Mangan Çıkış Değerleri 63
Şekil 4.3. Cevap Yüzey Yöntemi Modeli ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması.....66
Şekil 4.4. Koagülasyon- Flokülasyon ile Arıtılmış Suyun Bulanıklık, Demir ve Mangan Gideriminin Ph ve Karıştırma Hızı Bağımsız Değişkenlerinin Mangan Giderimi Üzerine Etkisi 67
Şekil 4.5. (a) Arıtılmış suyun ilk hali, (b) Arıtılmış suyun yarım saat sonraki hali.....69

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. TS 266 VE İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik karşılaştırması 11
Tablo 2.2. TSE, WHO, USEPA VE EC standartları 14
Tablo 2.3. Ulusal ve Uluslararası Standartlarda İçme sularındaki Demir ve Mangan Değerleri 17
Tablo 2.4. Çeşitli Koagülant, Koagülant Yardımcıları ve Ph Ayarlamada Kullanılan Kimyasallar..... 25
Tablo 2.5. Ozon Gazının Temel Özellikleri 33
Tablo 2.6. Ozon Besleme Noktalarının Seçimi 34
Tablo 2.7. Hipokloröz asitin pH değişikliklerine göre değişimi 43
Tablo 3.1. Çataldağ Göleti Hamsu ve Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Karakterizasyonu ve Kullanılan Yöntemler 44
Tablo 3.2. Kullanılan Kimyasalların Temin Edildiği Firmalar ve Konsantrasyon Değerleri 49
Tablo 3.3. Düşük aralıktaki Hipokloröz için Taguchi L9 (34) deney tasarımı parametre ve seviyeleri 58
Tablo 3.4. Yüksek aralıktaki Hipokloröz için Taguchi L9 (3^4) deney tasarımı parametre ve seviyeleri 59
Tablo 3.5. Düşük aralıktaki hipokloröz için Demir ve mangan giderimi ortogonal dizin tasarımına karşılık gelen Taguchi deneysel tasarım tablosu 59
Tablo 3.6. Yüksek aralıktaki hipokloröz için Demir ve mangan giderimi için ortogonal dizin tasarımına karşılık gelen Taguchi deneysel tasarım tablosu 60
Tablo 4.1. Pac-s/Cl, alüminyum sülfat/Cl, demir (III) klorür/Cl Optimum Dozlarının Belirlenmesi (Polielektrolit: 0.045 mg/L) 61
Tablo 4.2. Pac-s/hipokloröz, alüminyum sülfat/ hipokloröz, demir (III) klorür/ hipokloröz Optimum Dozlarının Belirlenmesi (Polielektrolit: 0.045 mg/L) 62
Tablo 4.3. Koagülasyon- flokülasyon ile arıtılmış suyun demir ve mangan değerleri..... 64
Tablo 4.4. Koagülasyon- flokülasyon ile arıtılmış suyun bulanıklık,demir ve mangan % giderim verimleri..... 65
Tablo 4.5. Koagülasyon- Flokülasyon ile Arıtılmış Suyun Bulanıklık, Demir ve Mangan Giderimi ANOVA Analizi..... 65
Tablo 4.6. Model tahmin ve doğrulama deney sonuçları 68
Tablo 4.7. Doğrulama deney sonuçları ve 5 nolu deney seti tekrar sonuçları karşılaştırması..... 68
Tablo 4.8. Demir ve mangan giderimi için ortogonal dizin tasarımı sonucunda ortaya çıkan çamur yüzdeleri..... 69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ca	: Kalsiyum
Cl	: Klor
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
N	: Azot
NH_3	: Amonyak
NO_2	: Nitrit
NO_3	: Nitrat

Kısaltmalar

DSİ	: Devlet Su İşleri
EC	: Avrupa Birliği
USEPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
İAT	: İçme Suyu Arıtma Tesisi
Pac-s	: Polialimünyum Klorür Sülfat
TS	: Türk Standartları
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

SUSURLUK İÇMESUYU ARITMA TESİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ: KİMYASAL KOAGÜLASYON İLE DEMİR VE MANGAN GİDERİMİ

ÖZET

İçme suyunun, sağlıklı ve güvenilir şekilde son tüketiciye ulaşabilmesi için, tüm içme suyu kaynaklarından gelen kirleticilerin doğru tespit edilmesi, tespit edilen kirletici miktarları göz önüne alınarak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Susurluk İçme Suyu Arıtma tesisi ham su kaynağı olarak Çataldağ Göleti'ni kullanmaktadır. Çataldağ Gölet'inin yapısı, etrafında yapılan tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile havzanın jeolojik ve jeopolitik yapısı, mevsimsel olarak değişim gösteren su miktarı ve kalitesi gibi birçok unsur suyun karakteristik yapısını etkilemektedir. Bu tez çalışmasında mevcut Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Performans değerlendirmesinin yapılması planlanmaktadır. Göletten yılın belirli aylarında çekilen suda zaman zaman demir (Fe), mangan (Mn) ve bulanıklık değerleri tesis kapasitesinin üstüne çıkmaktadır. Taguchi deneysel tasarımı kullanılarak reaksiyon süresi (15, 120, 360 dak), pH(3, 7, 11), karıştırma hızı (100, 160, 220), hipokloröz (0,03, 0,05, 0,07) parametrelerinin demir, mangan ve bulanıklık giderimi üzerine etkisi incelenmiştir. Optimum koşullarda yürütülen deneyler sonucu arıtılmış demir, mangan ve bulanıklık giderim verimi hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Giderim, Kirletici, Performans Değerlendirmesi, Sınır Değerler, Taguchi Deney Tasarımı.

PERFORMANCE ASSESSMENT IMPROVEMENT OF SUSURLUK DRINKING WATER TREATMENT PLANT: IRON AND MANGAN REMOVAL BY CHEMICAL COAGULATION

ABSTRACT

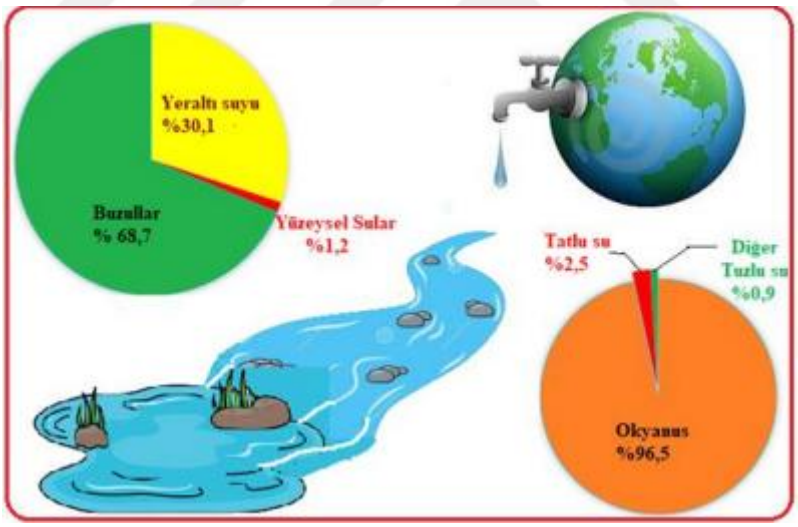
In order for the drinking water to reach the consumer in a healthy and reliable manner, the pollutants from all drinking water sources must be correctly identified and appropriate methods must be applied by considering the detected pollutant amounts. Susurluk Drinking Water Treatment Plant uses Çataldağ Pond as a raw water source. Many factors such as the structure of Çataldağ Pond, the agricultural and livestock activities around the pond, the geological and geopolitical structure of basin, the seasonally changing amount and quality of water affect the characteristic structure of the water. In this thesis, it is planned to evaluate the current performance of Susurluk Drinking Water Treatment Plant. Iron(Fe), manganese(Mn) and turbidity values in the water drawn from the pond in certain months of the year exceed the plant capacity. The effects of parameters such as reaction time (15, 120, 360 dak), pH(3,7,11), stirring speed(100, 160, 220 rpm), hypochlorous(0.03, 0.05, 0.07) on removal of iron, manganese and turbidity were determined by using Taguchi experimental design. As a result of the experiments carried out under optimum conditions, removal efficiency of iron, manganese and turbidity were calculated.

Keywords: Limit Values, Performance Evaluation, Pollutant, Removal, Taguchi Experimental Design.

1. GİRİŞ

Günümüz şartları göz önünde bulundurulduğunda su en değerli doğal kaynaktır. Ülkemizde de tüm evrende olduğu gibi suya gün geçtikçe artarak ihtiyaç duyulmaktadır. Gün geçtikçe artan endüstrileşme ve nüfus artışı kullanma ve içme suyuna olan ihtiyacı arttırmakta ve beraberinde su kaynaklarının tüketiminin hızlanması suya verilen önemin artması kavranmaktadır. Dünya 'da olduğu gibi ülkemizin de bir problemi olan yeterli miktarda kullanma ve içme suyu tedarik edilememesidir.

Yaşamın devamlılığı için gerekli olan en önemli faktör sudur. Yer kabuğunun dörtte üçü sular ile çevrilidir. Fakat dörtte üçlük kısmın %97'si tuzlu sulu, yalnızca %3'ü tatlı su kaynağıdır ve bununda çoğunluğunu da yer altı suları ve buzullar kapsamaktadır (Gedikoğlu, 2021).



Şekil 1.1. Su kaynaklarının yeryüzündeki potansiyel dağılımı (Arslan, 2021)

Ülkemizde ve Dünya 'da hızla artan nüfus ve endüstrileşme, gelişen teknoloji beraberinde su ihtiyacı, çevre ve su kirliliğini getirmektedir (Altundal, 2021). Bir insan vücudunun %65- %70'ini su oluşturmaktadır. Canlılığın devamlılığı için suya ihtiyaç duyulmaktadır dolayısıyla susuz bir yaşam düşünülmesi imkansızdır. Fizyolojik olarak yetişkin bir bireyin günlük su tüketimi 2.5 litredir. Bu ihtiyacın bir kısmını vücut kendisi sağlarken büyük bir kısmını dışarıdan hazır olarak almaktadır. Yetişkin bir

bireyin su ihtiyaçlarının %15'i metabolizma reaksiyonlarından, %35'i yiyeceklerden, %50'si içeceklerden karşılanmaktadır. Su olmadan bir insan ancak 7 gün yaşamına devam edebilmektedir. Dolayısıyla yaşamın devam edebilmesi suyun vücuda devamlı olarak alınması gerekmektedir (Demirkıran, 2011).

Hayatın devamlılığı için vazgeçilmez bir kaynak olan suyun Dünya'da belirli bir miktarda olması sebebiyle tatlı su kaynaklarındaki kirliliğin giderimi ve maliyetli göz önünde bulundurularak İTASHY belirtilen sınır değerlerini sağladığında içme suyu olarak kullanılması gerekmektedir (Gedikoğlu,2021).

İçme ve kullanım suyu olarak kullanılacak ham su; konvansiyonel arıtım yöntemleri olan havalandırma, koagülasyon-flokülasyon, karıştırma, çöktürme, filtrasyon, iyon değiştirme ve dezenfeksiyon yöntemleriyle yeni nesil teknolojiler olan adsorbsiyon, ozonlama ve UV ile arıtım gibi çeşitli arıtma yöntemleri kullanılarak sağlanmaktadır.

Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde dönemsel olarak yaşanan demir ve mangan ham su da yükselmesi sonucunda çıkış suyunda demir ve mangan konsantrasyonlarının sınır değerlerinin üzerinde olması sebebiyle ilçe genelinde çamaşırlarda, duşa kabinlerde lekeler oluşmasına, plastik endüstrisi, kâğıt endüstrisi, meşrubat endüstrisi vb. endüstrilerde kullanılmasıyla renk, tat ve görüntüde değişikliklere neden olması ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluklar oluşturmasıyla şikayetlere de neden olmaktadır.

İçme ve kullanım sularındaki en büyük problemlerden bazıları da bulanıklık, demir ve mangan parametreleridir. Bulanıklık, demir ve mangan giderimi üzerine birçok bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi demir, mangan ve bulanıklık giderimi için oksitleyici ve koagülantlar yardımıyla koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle arıtım yapılarak giderim araştırılacaktır. Giderim için optimum kimyasallar belirlenecek ve ardından oksitleyici, süre, pH ve hız olmak üzere dört parametre değiştirilerek giderim verimleri incelenecektir. Deney planı için Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılacak ve giderim verimlerinin optimizasyonu için yüzey yanıt yöntemi kullanılacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

Son dönemlerde hızla artış gösteren endüstrileşme, nüfus ve değişen ihtiyaçlar nedeniyle içme ve kullanma suyuna duyulan ihtiyaç her gün geçen gün artmaktadır. Suyun kalitesi ve miktarı gelişmişliğin bir kriteri olarak görülmektedir. Dolayısıyla yaşamın devamlılığı için ihtiyaç duyduğumuz suyun bulunması, depolanması, taşınması ve kullanımın uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

İçme suyunun, sağlıklı ve güvenilir şekilde son tüketiciye ulaşabilmesi için, tüm içme suyu kaynaklarından gelen kirleticilerin doğru tespit edilmesi, tespit edilen kirletici miktarları göz önüne alınarak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, son yıllarda azalan su kaynakları ile birlikte sucul sistemlerde meydana gelen kirlenme seviyelerindeki artış mevcut arıtma tesislerinde iyileştirmelerin yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında mevcut Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Performans değerlendirmesinin yapılmıştır. Göletten yılın belirli aylarında çekilen suda zaman zaman demir (Fe) ve mangan (Mn) değerleri sırasıyla 5,5 mg/L ve 4,5 mg/L değerlerinin üzerine çıkmaktadır. Yüksek değerliklerde demir ve mangan içeren ham suyun içme suyu olarak kullanılabilmesi için "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te belirtilen sınır değerlere (Fe= 0,200 mg/L, Mn= 0,050 mg/L) indirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, arıtılmış sudaki yüksek değerliklere sahip demir ve mangan, suda bulanıklığa da neden olmaktadır.

Tesiste mevcutta bulunan kaskatlı havalandırma sistemi demir ve mangan giderimi için yeterli olmamaktadır. İçme ve kullanım suyu olarak kullanılacak çıkış suyunda demir ve mangan konsantrasyonlarının yüksek olması tesiste problemlere neden olmakla birlikte, ilçe genelinde çamaşırlarda, duşa kabinlerde lekeler oluşmasına, plastik endüstrisi, kâğıt endüstrisi, meşrubat endüstrisi vb. endüstrilerde kullanılmasıyla renk, tat ve görüntüde değişikliklere neden olması ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluklar oluşturmasıyla şikayetlere de neden olmaktadır.

Bu nedenler dikkate alındığında, bu çalışmada Çataldağ Göleti' nden alınan ham suyun arıtımında farklı koagülantlar kullanılarak demir, mangan ve bulanıklık giderim

performansları üzerinden değerlendirme yapılarak en uygun kimyasal koagülasyon prosesi tespit edilerek tesisteki kimyasal koagülasyon sürecinin iyileştirilmesi için alternatif bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Bu çalışmada tesis yetkililerinin proses işletme şartlarını değiştirmeye izin vermemesinden dolayı kullanılan kimyasal madde ve/veya maddelerin kombinasyon ve miktarları üzerinden deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Çataldağ Gölet'inden gelen, Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi girişinden alınan su numuneleri kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)' ne göre, Çataldağ Göleti sıcaklık (^{0}C), çözünmüş oksijen (mg/L), klorür (mg/L), sülfat (mg/L), amonyum azotu (mg/L), toplam çözünmüş katı (mg/L), demir (mg/L), mangan (mg/L), ve fekal koliform (CFU/100mL su) açısından I. Sınıf; nitrit azotu (mg/L), nitrat azotu (mg/L) ve fosfat (mg/L) açısından ise II. Sınıf Su Kalitesi' ne sahiptir. Kuşkusuz suyun bileşimi mevsimlere göre değişiklikler göstermekte olup Çataldağ Göleti' nde temin edilen su 2 km'lik isale hattı ile Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi girişine iletilmektedir.

2.1. İçme Suyu

2.1.1. İçme Suyu Kaynakları

Su, yaşam formları için en temel ihtiyaçtır. İnsan vücudunun yaklaşık %70'i sudan oluşmaktadır. Dünyanın ise %70'i sularla kaplıdır. Buna rağmen yerkürede bulunan suların %97,5'ini okyanuslardaki tuzlu sular, %2,5'ini ise tatlı sular oluşturmaktadır. Tatlı suyun büyük bir kısmı kutuplarda bulunmaktadır. Ulaşabildiğimiz temiz su kaynakları ise dünyadaki toplam tatlı su potansiyelinin %0,10'unu oluşturmaktadır. (URL-40)

Dünyada bulunan toplam su hacmi 1,4 milyar km^3 'tür (Tan, 2022). Tatlı suyun; %68,7'sini buzullar, %30'unu yeraltı suları, %0,8'ini donmuş tabaka, %0,4'ünü yüzey suları oluşturmaktadır.

Yüzey sularının ise; %67,4'ünü tatlı su gölleri, %8,5'ini sulak araziler, %12,2'sini toprak nemi, %9,5'ini atmosfer, %1,6'sını nehirler, %0,8'ini hayvanlar ve bitkiler oluşturmaktadır (Aksu, 2019).

İçme ve kullanma suyu kaynaklarının yeryüzünde çok az olması sebebiyle korunması ve geri kazanımın yapılması gerekmektedir (Tan,2022).

Suları, kaynakları göz önüne alınarak yeraltı suları ve yüzeysel sular olarak iki kategoride inceleyebiliriz (Aksu, 2019).

Yeraltı Suları; yeraltı suları, dünya genelinde ana içme suyu kaynaklarından biridir. Sanayide kullanılan suyunun %40'ı ve sulama suyunun %20'si yeraltı sularından oluşmaktadır. Akiferin dağlık veya engebeli arazilerde yüzeye çıkmasıyla oluşturduğu kaynaklar suları, sondaj ve kuyu suları yeraltı sularıdır (Katsanou ve Karapanagioti, 2017).

Yeraltı sularının içinde barındırdıkları çözünmüş oksijen miktarı düşüktür. Bu yüzden suda çoğunlukla demir ve mangan gibi havayla yükseltgenen metaller yüksek miktarda bulunur. Yeraltı suları, yüzeysel sulara göre daha temizdir. Suyun kalitesi mevsimler değiştikçe büyük değişimler göstermez (Aksu, 2019).

Yüzeysel Sular; yüzeysel sular, göl, nehir, akarsu ve denizlerde biriken sulardır. Topografya ve iklim koşulları gibi etkenler su miktarında değişime neden olmaktadır (Aksu, 2019).

Yüzeysel suların hacmi, havzanın büyüklüğüne, yağış miktarına, toprak tipine, zeminin eğimine ve bunların yanında arazi kullanımı bitki örtüsüne de bağlıdır. Kentsel besleme sistemlerinde genellikle yüzeysel sular kullanılır (Katsanou ve Karapanagioti, 2017).

Endüstriyel ve evsel atık sular, yüzeysel suları kirletir. Bu yüzden yüzeysel sularda, istenmeyen metaller ve organik maddeler gibi kirleticiler yüksek miktarlarda bulunabilir (Aksu, 2019).

2.1.2. İçme Suyu Özellikleri

Su, insanlar için fizyolojik bir ihtiyaç olması dışında; sağlıklı ve hijyenik bir yaşam için gereklidir (Çalık ve diğ., 2004). Bunun yanında endüstriyel ve ekonomik gelişim ve kalkınmanın temel öğesidir (Şimşek, 2011). Suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri su kalitesini etkiler. Suyun kalitesi bu özelliklere bağlı olarak artar veya azalır.

2.1.2.1. İçme Suyu Fiziksel Özellikleri

Sıcaklık; suyun önemli bir fiziksel özelliğidir. Sudaki süreçlerin düzenleyicisi konumundadır. Ortamdaki moleküllerin hareketi ve kimyasal tepkimelerin hızı sıcaklığa bağlıdır. Oksijenin suda çözünebilirliği de sıcaklıkla ilişkilidir. Sıcak sularda bulunan oksijen miktarı az olduğu için ortamdaki canlılar bu durumdan olumsuz etkilenmektedir (Şimşek, 2011). Mevsim şartlarına bağlı olarak değişen hava sıcaklığıyla beraber yer üstü sularının sıcaklığında değişim meydana gelir. Yeraltı sularında ise bu değişim beklenmez. Eğer bir değişim gözleniyorsa yer üstü sularının karıştığı söylenebilir (Aksu, 2019).

Renk; suda yaşayan bitkisel ve diğer mikroorganizmalar ve bu organizmaların ölmesi veya bozulmasıyla suyun rengi değişebilir (Şimşek, 2011). Endüstriyel atıklardan kaynaklanan kirlenme sonucu da suda renk değişikliği gözlemlenebilir. Renk, pH ile de ilişkilidir. Suyun pH'ı arttıkça renk de artar (Aksu, 2019). Demir ve mangan elementleri suyun renginde değişiklik oluşturur. Demir metali suyun rengini kahverengi-kırmızı yaparken mangan ise siyah renk yapar (Hansu, 2021). Tat ve koku da suyun rengi ile bağlantılıdır (Tan, 2022). Suyun rengi ışık geçirgenliğini de etkileyebilir. Renk yoğunlaştıkça geçirgenlik azalır. Azalan geçirgenlik yüzünden güneş ışığının suyun alt seviyelerine ulaşamaması, ortamda gerçekleşen fotosentezi engeller. Bu durum da ortamdaki canlıların solunum faaliyetlerini olumsuz etkiler. Artan su rengi, ortamdaki canlıların görüşünü kısıtladığı için avlanma yetenekleri ve beslenmelerinde de olumsuzluklar ortaya çıkarır (Şimşek, 2011).

Tat ve Koku; birbirleriyle bağlantılıdır. Tat, çoğunlukla kokuyu oluşturan sebeplerden dolayı değişiklik gösterir (Şimşek, 2011). Yeraltı sularında bulunan oksijen miktarının

azlığı, Fe ve Mn elementlerinin fazlalığı tat ve koku değişimine neden olabilir. Hidrojen sülfür (H_2S), yeraltı sularında koku oluşumuna en fazla sebep olan bileşiktir. Kullanılan su kaynağı yer üstü suları ise tat ve koku problemi, yeraltı sularına göre daha fazladır. Aktinomisetler, algler ve başka diğer mikroorganizmaların bozunması yer üstü sularında tat ve koku sorununu oluşturmaktadır (Aksu, 2019).

pH; suyun asitlik veya bazlık derecesinin ve suda bulunan hidrojen iyonlarının konsantrasyonunu gösteren bir ölçü birimidir (Singh ve diğ., 2003). Nötr olarak adlandırılan suların pH'ı 7'dir. Asidik karakterli sularda pH 7'nin altındadır ve H^+ iyonu konsantrasyonunun artışı pH değerini düşürür. Bazik karakterli sularda ise pH 7'nin üzerine çıkar ve OH^- iyonu konsantrasyonu artar. pH değeri 6,5-8,5 aralığında olan içme sularının kullanımı uygundur. Suyun pH'ı 6,5'ten küçük ise korozif etki gösterir, 9,5'ten büyük ise suya sabun benzeri bir kayganlık verir. Sucul ortamdaki canlıların yaşamlarını tehdit edecek bir durum oluşmaması için suyun pH derecesi 6,5-8,5 aralığında olmalıdır (Şimşek, 2011). Suda bulunan kirletici maddelerin zehir etkisi, pH'ın yükselmesi ile birlikte artar (Dayıoğlu ve diğ., 2004).

Bulanıklık; toplam askıda katı madde olarak da bilinen bulanıklık, suyun ışık geçirgenliğiyle bağlantılıdır. Bulanıklık, suyun ışık geçirgenliğini düşürür. Bulanıklığa neden olan maddelerin su yüzeyinde bulunan kısmı, güneş ışığını absorblar ve suyun sıcaklığının artmasına neden olur (Tan, 2022). İçme suyu için bulanıklık önemli bir özelliktir. İçme suları berrak olmalıdır (Şimşek, 2011). Bulanıklık, askıda katı madde miktarına, bu maddelerin absorbe yeteneğine, cinslerine ve şekillerine göre değişim göstermektedir (Aksu, 2019). Bulanık sularda bulunan katı maddelerin gözeneklerine bakterilerin yerleşmesiyle su patojenik hale gelebilir (Dayıoğlu ve diğ, 2004).

Elektriksel İletkenlik; suda çözünmüş halde olan katı maddelerin ölçüsü olan elektriksel iletkenlik, suyun akımı iletme derecesi olarak da tanımlanır. İletkenlik sıcaklıkla beraber değiştiği için bulunan ölçüm değerleri 25°C baz alınarak belirlenir. Elektriksel iletkenliğin çok yüksek olması suların korozif özellik barındırmasına neden olur (Şimşek, 2011). Elektriksel iletkenliğin birimi Siemens/metre (S/m)'dir. Sıcaklık ve iletkenlik birbiriyle doğru orantılıdır. Sıcaklığın yükselmesiyle artan iyonlaşma hızı, iletkenlik değerlerini de arttırmaktadır. Saf suyun yapısında anorganik madde bulunmadığı için elektriksel direnci yoktur (Hansu, 2021).

2.1.2.2. İçme Suyu Kimyasal Özellikleri

Sertlik; sabunun köpürmeye olan direnci olarak tanımlanabilir. Sertlik derecesini belirtmek için farklı birimler kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılan birim Fransız sertlik derecesidir (Şimşek, 2011). Suda sertliğin oluşmasına neden olan tuzlar kalsiyum ve magnezyumdur. Su, toprak ve kayalarda bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzlarını çözerek bunları kendi yapısına katar (Singh ve diğ,. 2003). Yumuşak su içilen bölgelerde, sert su içilen bölgelere kıyasla kalp damar hastalıklarından kaynaklanan ölüm oranı daha fazladır. Sert su içilen bölgelerde bu oranın düşük olmasının suda bulunan magnezyum miktarından mı yoksa kalsiyum miktarından mı kaynaklandığına dair kanıtlar yetersizdir (Şimşek, 2011).

Azot; hücre protoplazmasının bileşenlerinden biri olan azot, makrobesin elementleri arasında fosfordan sonraki en önemli elementtir. Azot, doğada bir döngü halindedir (Şimşek, 2011). Sularda genel olarak bulunan bir kirleticidir (Yarma, 2017). Suyun kirliliğine etki eden önemli azotlu bileşikler; amonyak, nitrit ve nitrattır (Şimşek, 2011). Suda bulunan bakteriler tarafından besin olarak kullanılır (Yarma, 2017).

Nitrit; amonyağın yükseltgenmesiyle oluşur. Yükseltgenme sırasında sudaki çözünmüş oksijen oranını düşürür. Yer üstü sularında bulunma miktarı azdır. İçme sularında istenmeyen bir maddedir (Şimşek,2011). Suda nitrit olması içerisinde gözle görünmeyecek kadar küçük canlıların varlığının bir göstergesidir (Yarma, 2017). Sudaki nitrit, kuyular ya da kaynaklara dışkı suyunun karıştığını gösterir (Fakir, 2017). Suda bulunan nitrit miktarının bilinmesi bu yüzden son derece önem arz etmektedir. Kan zehirlenmelerine neden olduğu için dezenfeksiyon yöntemleri ile giderimi sağlanmalıdır.

Nitrat; azotun nitrit oluştuktan sonraki yükseltgenmesiyle oluşan nitrat, suda çok kolay çözünür. Evsel ve endüstriyel atıklar ve gübreler sudaki nitrat miktarını arttırmaktadır (Yarma, 2017). Nitrat, bitkiler için önem arz eden bir besindir (Oğuz,2015). Kirlilik olarak değerlendirildiğinde belirli bir miktardan sonrası zararlı kabul edilmiştir (Fakir, 2012). Suda bulunan yüksek miktarlardaki nitrat, mide kanserine sebep olabilir (Singh ve diğ,. 2003). Yetişkinler için zararsız kabul edilen nitrat, 6 ay ve öncesi bebekler için ciddi sorunlar teşkil etmektedir (Fakir, 2012).

Amonyak; suda iyonize olmamış halde bulunur. Eğer amonyak iyonize olmuşsa amonyuma dönüşür (Şimşek, 2011). Sıcaklığın artması ve oksijen miktarının azalması amonyağın zehirlilik etkisinde artış gözlenir (Dayıoğlu ve diğ., 2004). Bazı hayvanlara besin olarak, gıda endüstrisinde ve temizlik malzemelerinde kullanılır. Vücuda fazla miktarda alınan amonyak asit – baz dengesini değiştirmekte ve çeşitli sorunlara sebep olmaktadır. Arıtımı için iyon değiştirme ve klorlama yöntemleri kullanılır (Yarma, 2017).

Çözünmüş Oksijen; su kalitesinin değerlendirilmesinde önemli olan biri de çözünmüş oksijendir (Kalaycı, 2019). Atmosfer sudaki çözünmüş oksijen miktarını değiştiren en önemli etmendir (Arslan, 2021). Suda çözünürlüğü az olan oksijen, atmosfer basıncı ve sıcaklıkla paralel olarak değişim gösterir (Gedikoğlu, 2021). Suda bulunan çözünmüş oksijen miktarı, sıcaklık, şebekede meydana gelen biyolojik ve kimyasal süreçler ve yapılan arıtma ile değişim göstermektedir (Oğuz, 2015).

Demir; doğada ve doğal sularda bulunan bir kirleticidir. Suda (+2) ve (+3) değerlikli iyonlar olarak varlığını göstermektedir. Yeraltı sularında (+2) değerlikli olarak bulunur ve suda çözünebilir. (+2) değerlikli demir, oksijen ile karşılaştığında (+3) değerlikli çözünmez forma geçerek çökelir ve suyun rengini değiştirir. Sudaki demir miktarının 0,3 mg/L ‘den daha çok olması suda istenmeyen canlı oluşması, lezzetinin değişmesi ve suyu aktarmada kullanılan borularda tıkanmalara neden olur (Yarma, 2017). Çamaşırhanelerde, tekstil ve kâğıt sanayisinde kullanılmakta olan sularda, leke yaptığı için istenen bir madde değildir (Şimşek, 2011). Şebekede demir bakterilerinin oluşumuna ve şebeke borularında tortu oluşmasına sebep olur (Oğuz, 2015).

Mangan; dünyada en fazla bulunan metallerden biri olan Mangan, demir gibi doğada ve doğal sularda bulunan bir kirleticidir (Yarma, 2017). Çoğunlukla demir ile birlikte bulunur (Eroğlu ve Şahiner, 2019). Su da 0,5 mg/L’den fazla bulunması halinde suyun tadını bozar. Çökelmeyen mangan için filtrasyon ve oksidasyon yöntemi kullanılırken, çökebilen mangan için sadece filtrasyon yöntemi uygulanabilir (Yarma, 2017). Suda yüksek konsantrasyonlarda bulunuyorsa çamaşırlarda ve borularda leke, düşük konsantrasyonlarda bulunuyorsa borularda birikme oluşumuna sebep olur (Oğuz, 2015).

Alüminyum; doğada element halinde bulunur (Oğuz, 2015). Düşük ve yüksek pH değerlerinde çözünürlüğünde artış gözlenir (Şimşek, 2011). Alüminyum çözünür ve çözünmez olmak üzere iki formda bulunur. Fazla miktarda bulunan alüminyum suya mavi renk verir ve böbrek hastalıklarına sebep olur (Gedikoğlu, 2021). Gıda paketlemede, uçak yapımında ve alaşımların üretilmesinde alüminyum kullanılmaktadır (Oğuz, 2015).

Kalsiyum; suyun sertliğini belirleyen önemli tuzlardan biridir. Jips, karbonatlar, dolomit ve anhidrit mineralleri kalsiyum kaynaklarıdır. Sulama sularından bulunan kalsiyum, toprağın geçirgenliği için faydalıdır (Şimşek, 2011). Toprak yapısına göre kalsiyum miktarı farklılık gösterir. Kalsiyum kemik yapısı için faydalıyken böbreklerde taş yaptığından vücuda alınan miktarı son derece önemlidir (Yarma, 2017).

Magnezyum; kalsiyum gibi suyun bulunduğu toprak yapısına bağlı olarak farklılık gösterir. Fazlası suyun tadını acılaştırır. İnsan bünyesine fazla alınması halinde ise göz ve bağırsak problemlerine neden olur (Yarma, 2017). Magnezyum, metabolik fonksiyonlar için çok büyük öneme sahip elementlerden biridir. Kanda bulunan magnezyum miktarı az olduğunda damar kası içerisine daha fazla kalsiyum girişi olur. Bu da damar kaslarının daha da kasılmasına ve yüksek tansiyona neden olur (Singh ve diğ, 2003).

2.1.2.3. İçme Suyu Mikrobiyolojik Özellikleri

Suyun içme ve kullanma suyu olarak kullanılabilirliğine karar verirken fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dikkate alınmasının yanında mikrobiyolojik olarak değerlendirilmesinin de yapılması gerekmektedir. Suda insan sağlığını olumsuz etkileyen parazitler, virüsler ve bakteriler bulunmaktadır (Fakir, 2012). Su ile bulaşan hastalıklar toplum genelini kolayca ve hızlı bir şekilde etkilediği için su kaynaklı hastalıklar, toplumun sağlığını tehdit eder. Suda bulunan bakteriler, az gelişmiş ülkelerdeki ölüm ve hastalıkların başlıca sebeplerinden biridir (Şimşek, 2011). Fekal-oral enfeksiyon zincirinin önemli bir halkası, içme suyudur. Suda varlığını gösteren mikroorganizmaları üç grupta değerlendirebiliriz.

1. Doğal olarak suda bulunan mikroorganizmalar: Vibrio, Spirillum, Chromobacter ve Micrococcus bazı türleridir. İdeal üreme sıcaklıkları 25°C ve altıdır.
2. Toprak kökenli mikroorganizmalar: Toprağın yağmurla yıkanması sonucu suya karışırlar. Örnek olarak Streptomyces ve Bacillus verilebilir. Doğal sulardaki mikroorganizmalar gibi üreme sıcaklıkları 25°C ve altıdır.
3. Hayvan ve insan kökenli mikroorganizmalar: Streptococcus faecalis, Clostridium perfringens, E. coli ve diğer bağırsak patojenleridir (Fakir, 2012).

UV ile dezenfeksiyon ve klorlama, suda bulunan patojen mikroorganizmaları temizlemede kullanılabilir ancak işlem sırasında kullanılan normal klor dozu, mikroorganizmalar yumurta evresindeyken etki etmez (Aksu, 2019).

2.1.3. İçme suyu Sınır Değerleri

İçme suyu kaynaklarının gün geçtikçe azalması sebebiyle bu kaynakların denetlenmesi ve kirliliğinin kontrol edilmesi bütün insanlığı etkilemektedir. Dünya 'nın çeşitli yerlerin içme suyu içerisindeki kirletici maddelerin sınır değerleri farklılık gösterebilirken, ülkemizde üst sınır değerlerinde olağanüstü farklılıklar görülmese de bulunan yerin jeolojik konumu, suyun alındığı noktadan kaynaklı kirletici farklılıkları meydana çıkabilir. Ülkemizde içme suyu sınır değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte ve TS266 standardında belirtilmiştir (Yarma, 2017).

Türkiye'de içme suyu olarak tüketilecek suyun sınır değerlerini belirlemek amacıyla kullanılan iki tane parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte ve TS266 standardıdır. Bu parametrelerde izin verilen ve tavsiye edilen değerler tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. TS 266 VE İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik karşılaştırması

TS 266				İnsanı Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik	
		Tavsiye	İzin Verilen	Parametre	Parametrik
Parametre	Birim	Edilen			Değer/100 ml
		Değer	Maks. Değer		

Tablo 2.1. (Devam) TS 266 VE İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik karşılaştırması

Organoleptik (Duyusal) Parametreler				
Görünüm		Berrak- Renksiz		Tüketiciye kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişiklik yok.
Koku		Kokusuz		Tüketiciye kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişiklik yok.
Fiziko Kimyasal Parametreler				
Sıcaklık	°C	12	25	-
pH		6.5	6.5	6.5-9.5
Renk	Pt-Co	1	20	Tüketiciye kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişiklik yok.
Bulanıklık	NTU	5	25	Tüketiciye kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişiklik yok.
İletkenlik	µs/cm	400	2000	20 °C'de µs/cm
Klorür	mg/l	25	600	mg/L
Serbest Klor	mg/l	0.1	0.5	
Sülfat	mg/l	25	250	mg/L
Kalsiyum	mg/l	100	200	
Magnezyum	mg/l	30	50	
Sertlik	mg/l		50	
Sodyum	mg/l	20	175	mg/L
Potasyum	mg/l	10	12	
Alüminyum	mg/l	0,05	0.2	µg/L
Toplam Çözünmüş Madde	mg/l		1500	
Nitrat	mg/l	25	50	mg/L
Nitrit	mg/l		0.1	mg/L
Amonyum	mg/l	0,05	0,5	
Kjeldahl Azotu	mg/l		1	

Tablo 2.1. (Devam) TS 266 VE İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik karşılaştırması

Bor	µg/l	1000	2000	mg/L
Demir	µg/l	50	200	µg/L
Mangan	µg/l	20	50	µg/L
Bakır	µg/l	100	3000	mg/L
Çinko	µg/l	100	5000	
Fosfor	µg/l	400	5000	
Florür	µg/l		1500	mg/L
Baryum	µg/l	100	300	
Gümüş	µg/l		10	
Toksik Madde				
Arsenik	µg/l	50	50	µg/L
Kadmiyum	µg/l	5	5	µg/L
Siyanur	µg/l	50	50	µg/L
Krom	µg/l	50	50	µg/L
Civa	µg/l	1	1	µg/L
Nikel	µg/l	50	50	µg/L
Kuşun	µg/l	50	50	µg/L
Antimon	µg/l	10	10	µg/L
Selenyum	µg/l		10	µg/L
Mikrobiyolojik	Parametreler			
Toplam Koliform	ad/100 ml			Ad/100 ml
T. Bakteri	Ad/ml	100	500	-
Radyoaktivite				
Alfa Aktivitesi	Bq/l	0.037	0.037	-
Beta Akt.	Bq/l	0.37	0.37	-

Ülkemizde içme suyu olarak kullanacağımız suyun sınır değerlerini belirlemek maksadıyla kullandığımız İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte ve TS266 standartlarını kıyasladığımızda renk, koku, bulanıklık ve görünümü anormal bir durum olmadığı ve tüketicinin kabul edilebilir gördüğü durum söz konusudur. Fiziko kimyasal parametrelerde; Sodyum, Nitrit, Alüminyum, İletkenlik sınır değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte daha yüksektir. Nikel, Arsenik, Klorür, Bor ve Kurşun sınır değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte daha düşüktür. Magnezyum, Kalsiyum, Sertlik, Serbest Klor, Potasyum, Amonyum,

Toplam Çözünmüş Madde, Çinko, Alfa, Kjeldahl Azotu, Baryum, Beta Aktivitesi ve Gümüş sınır değerleri ise sadece TS 266 standardında yer verilmiştir (Yarma, 2017).

Dünya'da da içme suyundaki kirletici miktarlarını kontrol edilmesi için belirlenmiş parametreler vardır. Dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu sınır değerleri; Who, Türkiye 'de kabul edilen sınır değerleri; TSE, Avrupa'da kabul gören sınır değerleri; EC, Amerika'da kabul edilen sınır değerleri; USEPA olarak belirtilmektedir (Tablo2.2.) (Yarma, 2017).

Tablo 2.2. TSE, WHO, USEPA VE EC standartları (Yarma, 2017).

Parametre	TSE 266	WHO (1999)	USEPA (2002)	EC (1998)
Bulanıklık	25	5	1	1
Sertlik (CaCO3 olarak)	-	500	-	-
Birincil Standartlar (Mikrobiyolojik), EMS/100 mL				
Koliform Bakteri	<1	0	<1	0
Serbest Klor	0.5	5	-	-
Birincil Standartlar (Dezenfeksiyon yan ürünleri), µg/L				
T. Trihalometanlar	-	460	80	100
Bromat	-	25	10	10
Birincil Standartlar (İnorganik kimyasallar), mg/L				
Nitrat	50	50	45	50
Florür	1.5	1.5	0.7-2.4	1.5
Alüminyum	0.2	0.2	0.2	0.2
Arsenik	0.05	0.05	0.05	0.01
Baryum	0.3	0.7	1	-
Krom(toplam)	0.05	0.05	0.05	0.05
Kurşun	0.05	0.05	0.05	0.01
Civa	0.001	0.001	0.002	0.001
Selenyum	0.01	0.01	0.01	0.01
Gümüş	0.01	-	0.05	-
Antimon	0.01	0.005	0.006	0.005
Berilyum	--	-	0,004	-
Birincil Standartlar (Radyolojik), pCi/L				

Tablo 2.2. (Devam) TSE, WHO, USEPA VE EC standartları (Yarma, 2017).

Gross Alfa	1	2.7	1.5	-
Gross Beta	10	27	50	-
İkincil Standartlar (Estetik)(mg/L)				
T. Çözünmüş Madde	1500	1000	500	-
Renk(birim)	20	15	15	-
pH	6.5-9.2	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.5
Deterjanlar	0.2	-	0.5	-
Klorür	600	250	250	250
Sülfat	250	250	250	250
Bakır	3	-	1	2
Demir	0.2	-	0.3	0.2
Mangan	0.05	0.5	0.05	0.05
Çinko	5	-	5	-
İlave Parametreler, mg/L				
Kalsiyum	200	-	-	-
Magnezyum	50	-	-	-
Potasyum	12	-		
Sodyum	175	200	-	200
Amonyum	0.5	1.5	-	1.5

WHO, EC, TSE, USEPA sınır değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 2.2.); Antimon, Toplam Çözünmüş Madde, bulanıklık, Renk, Bromür ve Klorür sınır değerleri karşılaştırıldığında TSE standart değeri en yüksektir. Bromat, Toplam Trihalometanlar, Mangan, Gross Alfa, Serbest Klor ve Sodyum sınır değerlerine bakıldığında en yüksek değerliklerini WHO kabul etmiştir. Gross Beta, Kadmiyum, Baryum metallerinin en yüksek sınır değerlerini USEPA sınır değerinde kabul edilmiştir. İçme suyu sınır değerleri, insan sağlığına zarar vermeyecek ve arıtımı yapılabilecek temel sınır değerleri belirlenmiştir (Yarma, 2017).

2.1.4. İçme Suyunda Demir ve Mangan

2.1.4.1. Demir ve Mangan Genel Özellikleri

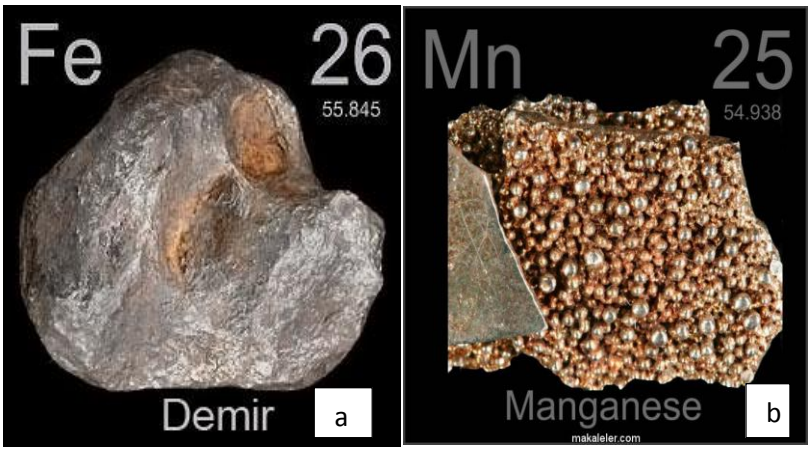
Kaya türlerinin büyük bir çoğunluğunda mangan ve demir elementine rastlanır. Demir ve mangan elementine azda olsa tüm canlılar ihtiyaç duyar ve genel olarak suda bu iki

elemente rastlanır. Demir ve mangan elementinin konsantrasyonu yüzey sularında oldukça yüksektir (Zakerı, 2019)

Dünya'da Alüminyum metalinden sonra yer kabuğunun yaklaşık olarak %5'inde demir metali bulunmaktadır. Yer kabuğunda fazla bulunan demir metaline doğal sularda nadir rastlanmaktadır (Hansu, 2021). Demir çözünen demir (II) ve çözünemeyen demir (III) iyonları olmak üzere iki formda bulunur. Demir iyonları içerisinde sülfür ve oksijen bulunan bileşiklerle reaksiyona girerek hidroksit, sülfit, oksit ve karbonatları oluştururlar (Oğuz, 2015).

Demir metalinin simgesi Fe'dir. Periyodik cetvelinin 8B grubunda yer alan demir elementinin atom numarası 26'dır ve atom ağırlığı 55,845 g/mol 'dür (Demir ,2019). Demirin özgül ağırlığı 7.86 (25 °C'de), kaynama noktası 3000 °C ve erime noktası 1535 °C'dir (Kahraman, 2007). Yumuşak bir yapıya sahip olan demir griye yakın tonlarda veya beyaz renkte, manyetik yapıya sahip metaldir. Dört farklı demir izotopu bulunan demir metali doğada bu izotopların bir araya gelmesiyle oluşur: Fe-58(%33), Fe-57 (%2,19), Fe-56(%91,66) ve Fe-54 (%5,82) (Demir ,2019).

Dünya üzerinde kendiliğinden bulunan elementlerden olan demirin başlıca formları; Hematit (Fe_2O_4), limonit ($Fe_2O_3.3H_2O$), magnetit (Fe_2O_3), pirit (FeS_2) ve siderit ($FeCO_3$) 'tir (Akgiray ,2003).



Şekil 2.1. (a) Demir, (b) Mangan

Dünya mangan metalinin miktarı yaklaşık olarak %2,10'dur ve demirle beraber bulunur (Oğuz, 2015). Mangan çözünen mangan (II) ve çözünemeyen mangan (IV) iyonları olmak üzere iki formda bulunur. İki değerlikli formda bulunan mangan, daha çok yer altı sularında bulunur. İki değerliğe sahip mangan oksijene maruz kaldığında dört değerliğe sahip mangana formuna geçer (Yardımumar, 2001).

Mangan metalinin simgesi Mn'dir ve gümüş grisi renkli bir geçiş elementidir. Periyodik cetvelin 7B grubunda yer alır. Mangan elementinin atom numarası 25, atom ağırlığı 54,93 g/mol, yoğunluğu 7,43 g/cm³, kaynama noktası 2150 °C ve ergime noktası 1246 °C'dir. Isıyı ve elektriği iletmelerinin yanı sıra kırılgan ve sert yapıdadırlar. Doğada serbest halde bulunmaz. Çoğunlukla demirle beraber mineraller içerisinde yer alır. Demirle kimyasal olarak benzerlik gösterir. Demir gibi hava ve oksijen ile yanar, birçok elementle tepkimeye girerek bileşik oluşturur ve nemli ortamlarda paslanır (Eroğlu ve Şahiner, 2019).

Yer kabuğunda var olan başlıca mangan cevherleri; rodonit ($MnSiO_3$), manganit ($Mn_2O_3H_2O$), pirolusit (MnO_2), mangan spat ($MnCO_3$) ve hausmannit (Mn_3O_4) 'tir (Özgün, 2007).

İçme sularında demir ve mangan için izin verilen maksimum değerler tablo 2.3. 'de gösterilmiştir (Yardımumar, 2001).

Tablo 2.3. Ulusal ve Uluslararası Standartlarda İçme sularındaki Demir ve Mangan Değerleri

	Demir Sınır Değerleri (mg/L)	**Mangan Sınır Değerleri (mg/L)**
Türk Standartları (TS266)	0.2	0.05
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	-	0.5
Avrupa Birliği (EC)	0.2	0.05
ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA)	0.3	0.05
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik	0.2	0.05

Mangan giderimi arıtma tesislerinde öncelik verilmelidir çünkü mangan konsantrasyon değeri 0,05 mg/L'nin altına düştüğünde çoğu zaman demir konsantrasyon değeri 0,3 mg/l 'nin altına düşmektedir (Akgiray ,2003).

2.1.4.2. Demir ve Mangan Kaynakları

Mangan ve demir, oksijensiz ya da eser miktarda oksijenli derin kuyularda kendiliğinden var olan metalik elementlerdir. Doğal mangan ve demir, demir sülfür, demir açısından zengin kil mineralleri ve amfibol gibi mangan ve demir bulunduran minerallerin deformasyonuyla oluşur. Yer altı sularındaki demir ve mangan organik madde miktarı zengin olan topraktan gelmektedir. Mangan ve demir depo sızıntısı, asit madeni drenajı, endüstriyel prosesler ve endüstriyel atık maddeler gibi antropojenik kaynaklarda bulunabilir. Yer altı sularındaki pompa parçaları, kuyu muhafazaları, depolama tankları ve boruları da birer mangan ve demir kaynağıdır (Zakerı, 2019).

Mangan ve demir daha çok yer altı sularında ve yılın belirli aylarında yüzey sularında birtakım problemlere sebep olmaktadır. Bu elementler su kaynaklarında çoğunlukla beraber bundukları ve arıtılma işlemleri birbirinin benzeri olduğu için su kimyasında beraber alınırlar. Bu elementleri yer altı suyundaki konsantrasyonu hidrojeolojik yapının yanı sıra akiferin hidorkimyasına, oluşum derinliğine, kalış süresine, sıcaklığına, yağışa, neme, nüfuz edebilirliğe ve tortu ve kayaçların asitliğine bağlıdır (Weng ve diğ., 2007). Yer altı sularında fazlaca bulunan mangan ve demir göllerin diplerinde karbondioksit miktarı fazladır. Bu yapıdaki sularda çözünmeye eğilimi yüksek olan +2 değerlikli mangan ve demir bulunur. +2 değerlikli mangan ve demir sudaki çözünmüş oksijen ile reaksiyona girerek +3 değerlikli demir ve +4 değerlikli mangan formuna geçer ve MnO_2 ve Fe $(OH)_3$ çökeleklerini oluşturur (Aksu, 2019).

Demir elementi doğal sularda demir bikarbonat, demir sülfat ve hidroksit tanecikleri ve kolloid olarak dört bileşikte bir tanesi veya birkaç tanesi halinde bulunmaktadır (Yardımumar, 2001). Demir bikarbonat; berrak, temiz ve asidik olmayan yer altı sularında çözelti olarak varlığını gösteren renksiz tuzlardır. Bulundukları kaynaklardan alındıkları anda fazlasıyla temiz ve berrak olan bu sular bekleme esnasında hava ile temas etmesi neticesinde başta beyazımsı renk alırlar, daha sonra sarımsı ve ardından kırmızımsı kahverengini alırlar (Özgün, 2007).

Sularda +2 (çözünen) ve +3 (çözünemeyen) olarak iki formdan bulunan demir elementinin +2 değerlikli formu çoğunlukla yer altı sularında, +3 değerlikli formu ise katı olarak toprakta bulunur. İçerisinde demir barındıran topraklar göl tabanında olduğunda, dipte kalan bitkilerin sudaki oksijeni tüketmesi ve çürümesiyle sudaki oksijen miktarında azalma olmaktadır. Bitkilerin çürümesi ve oksijeni tüketmesi neticesinde dip suyunda oksijen kalmaması ile tabandaki toprakta bulunan demir hidroksitlerden aldıkları oksijen ile +2 değerlikli çözünebilen forma geçmesiyle demir suya karışmış olur (Demir, 2019). Benzer olay kış aylarında da gölün yüzeyinin buz tutmasıyla da yaşanmaktadır. Bu şekilde havalanma imkânı olmayan gölet ve göllerden temin edilen sularda mangan ve demir bulunabilir. Kar ve yağmur suyundaki çözünmüş oksijen toprağa geçerken bitkilerin kullanmasıyla sudaki oksijen tükenmiş olur. Toprağa nüfuz eden su, temas ettiği oksitleri indirgeyerek, iki değerlikli çözünebilen bileşiklere dönüştürür. Bu şekilde beslenen yer altı sularında da mangan ve demir bulunur (Özgün, 2007).

Toprakta bulunan çürümüş formdaki bitkiler yağmur suları ile bir araya gelmesiyle yağmur suyunun içerisindeki oksijeni kullanılırlar. İçerisinden oksijeni kullanılmış olan yağmur suyu demir hidroksitin içerisinde bulunan oksijeni alarak +2 değerlikli çözünebilen demir formuna geçer. Bu reaksiyon neticesinde içerisinde çözünebilen demir bulunan sular bulduğu gözenek ve çatlaklardan ilerleyerek demir konsantrasyonu yüksek yer altı sularını meydana getirirler (Demir, 2019).

Oksijen miktarı az ve karbondioksit miktarı fazla olan suyla bir araya gelen demir; tepkimeye girerek +3 değerlikli formdan +2 formuna oksitlenerek açığa oksijen çıkarır. Açığa çıkan oksijen göl tabanında veya su içerisinde bulanan bitkilerdeki karbon ile reaksiyona girerek karbondioksiti oluşturur. Oluşan karbondioksitin su ile tepkimesi neticesinde karbonik asit meydana gelir. Oluşan karbonik asitle demir oksit tepkimeye girerek demir bikarbonat bileşiğini oluşturur. Oluşan demir bikarbonat suda çözünmesi neticesinde demir suda bulunur (Tüfekçi, 2011).

Dünya üzerinde sıkça rastlanan elementlerden biri olan mangan genelde demir elementiyle birlikte bulunur ancak sudaki yoğunluğu demir elementine bakılarak azdır (Buluş,2021). Mangan elementi okyanus, göl tabanı ya da toprağın içerisinde bulunan mineral ve tuzların içerisinde yer alır. Mangan elementinin büyük bir çoğunluğu

metamorfik ve tortul kayaçlarda bulunurken bir kısmı da volkanik kayaçlarda yer alır (Hansu, 2021).

Yüzeysel su kaynakları ve kuyularda genellikle mangana rastlanır. Yüzeysel su kaynakları ve kuyulardaki suyun çözünmüş oksijen ve ph aralığına göre mangan üç formda bulunur ; partiküler (büyük oksitlenmiş katılar) ,koloidal (küçük oksitlenmiş katılar) ve çözünmüş (indirgenmiş , çözünebilir) olarak Mangan en sık mangan bikarbonat bileşiği halinde temiz ve berrak olarak yeraltı sularında bulunur, fakat havayla temas durumunda kahverengimsi siyah ve kırmızı renk oluşumu gözlenir (Yardımumar, 2001).Mangan sülfat formunda, demir sülfat barındıran asidik yüzeysel sularda ,koloidal organik manganez bileşikleri ise renkli doğal sularda bulunur (Özgün, 2007).

Akarsular gibi akışı bulunan sistemlerde normal şartlar altında konsantrasyon değeri yüksek olan mangan bulunmaz ancak durağan ve kısıtlandırılmış hale gelmeleriyle konsantrasyon değeri yüksek manganez ve bileşikleri oluştururlar. Mangan konsantrasyon değeri sulardaki bitki ömrüne ve toprağın yapısına göre değişim gösterir (Yardımumar, 2001).

Toprakta bulunan mangan elementi, çözünemeyen mangan oksit olarak bulunur. İçerisinde çözünmeyen mangan bulunan topraklar göl tabanında kaldığında orada bulunan bitkiler oksijen ihtiyacını karşılamak için suyun içerisindeki oksijeni tüketirler. Bu döngü sonucunda mangan çözünebilir forma geçer ve içerisinde mangan bulunan sular oluşur. Benzer döngü kış mevsiminde gölün yüzeyi buzla kaplandığında da gerçekleşir. Havalanma imkânı olmadığından oksijensiz kalan gölet ve göllerdeki sularda da mangan bulunur. Baraj, göl ve gölet gibi yapıların altında kalan bitkilerin ihtiyacı olan oksijeni suyun içerisindeki çözünmüş oksijenden ya da tabandaki çözünemeyen formdaki mangandan temin edebildikleri gibi kalın tabakalı su kütlesinin altında kalan bitkilerde aynı şekilde oksijen ihtiyacını giderebilir (Tüfekçi, 2011).

Göl suyunda katmanlar halinde bulunan suyun yılın sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alt katmanda bulunan sıcak suyun üst katmana, üst katmanda bulunan soğuk suyun alt katmanlara karışmasıyla turn over (alt-üst) gerçekleşir ve çözünmüş mangan tüm su kütlesine dağılır (Demir, 2019).

Sonuç olarak manganın doğal kaynaklarda olmasının sebebi suyun hareket etmesinden kaynaklı olarak kaya ve topraktaki sızıntıların sonucunda meydana çıkar. Su döngüsünün sonuncunda senenin belirli dönemlerinde yüzeysel sularda ve daima yer altı sularında mangan elementine rastlanır (Demir, 2019).

2.1.4.3. Demir ve Mangan Zararları

Demir ve mangan elementi doğal su kaynaklarında çeşitli konsantrasyon ve bileşikler halinde bulunurlar. Yer altı ve yerüstü su kaynaklarının kullanımı halinde demir ve mangan değerleri önem taşımaktadır. Yüzeysel sularda demir konsantrasyonu 0.05 – 0,2 mg/L aralığında, yer altı sularında 1.0-10,0 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Mangan elementi ise yüzeysel sularda genel olarak 0,2 mg/L civarında, yer altı sularında ise 10mg/L ve daha fazla konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Özgün, 2007).

Demir ve mangan içeriği yüksek olan su kaynakları hava ile temas ettiğinde Mn+2 ve Fe+2 iyonları yükseltgenerek Fe+3 ve Mn+4 formuna geçer. Bu reaksiyon sonucunda kahverengi siyah MnO2 ve kırmızımsı kahverengi Fe (OH)3 kolloidleri oluşur. Bu su kaynakları hem mangan hem demir içeriyorsa, demir ve mangan oranlarına bağlı olarak su da renk farklılığı gözlenir (Özgün, 2007).

Demir, oksitlenip çökerek su borularının tıkanmasına yol açmaktadır (Hansu, 2021). Suyun rengini değiştirdiği ve ürünlerin lekelenmesine neden olduğu için kâğıt ve tekstil sanayisinde, diş macunu üretiminde ve çamaşırhanelerde kullanılan sularda demirin yüksek miktarlarda olması istenmez. Bunların yanında porselenin sararmasına da neden olmaktadır (Şimşek, 2011).

Mangan da demir gibi oksitlenerek siyah tortu halinde çöker ve su borularının tıkanmasına sebep olur. Suda düşük konsantrasyonlarda bulunması halinde çökelti oluşturur. Ürünlerin renginde ve tadında değişikliğe neden olduğundan ötürü dokuma, plastik, gıda, deri ve kâğıt sanayilerinde kullanılan sularda bulunması istenmez. Çamaşır yıkamada kullanılan sularda yüksek konsantrasyonlarda mangan istenmez (Hansu, 2021).

Demir, canlı organizmalar için önemli olan elementlerden biridir. Elektron taşınımı, DNA sentezi ve oksijen taşınımında yer alır. Enfeksiyona karşı bağışıklığın vereceği tepkide önemli rol oynar (Sousa ve diğ,. 2019).

Demir; kırmızı kan hücrelerinde, kemik iliklerinde, dalak ve akciğerde birikir (Tan, 2022).

Günlük olarak yetişkin erkeklerin 8 mg, yetişkin kadınların ise 18 mg demir almaları önerilmektedir. Demir; kırmızı et, sakatat (özellikle ciğer), kabuklu deniz ürünleri, bazı tahıllar ve fındıkta bulunmaktadır (Sousa ve diğ., 2019).

Demir eksikliği; halsizlik, yorgunluk, nefes daralması ve anemiye (kansızlık) neden olmaktadır. Demirin vücutta yüksek miktarlarda bulunması ise kalp, pankreas, karaciğer gibi organlarda doku bozukluğuna neden olur (Sousa ve diğ., 2019). Bunun yanında mide rahatsızlıkları ve baş dönmesi gibi sorunlara yol açmaktadır (Yerli ve diğ., 2020).

Mangan da demir gibi canlı organizmalar için önemli olan elementlerden biridir (Hansu, 2021).

Protein, lipit, amino asit, karbonhidrat metabolizması ve kemik oluşumu için önemlidir. Sindirim, üreme, kan şekerinin düzenlemesi ve hücresel enerji için gerekli olan bir elementtir. Yetişkin erkeklerin günde 2,3 mg, yetişkin kadınların ise 1,8 mg mangan almaları gereklidir. Tolere edilebilir en yüksek alım miktarı, yetişkinler için 11 mg'dir. Mangan içeren besinlere örnek olarak tahıl ürünleri ve fındık verilebilir. Mangan; kemik, beyin, pankreas, böbrek ve karaciğerde birikir (Sousa ve diğ, 2019).

Yüksek miktarlarda vücuda alınması, parkinsona benzer belirtiler gösteren manganizm sendromuna neden olmaktadır (Hansu, 2021).

Mangan fazlalığı, alzheimera da sebep olmaktadır. Bunun yanında merkezi sinir sisteminde bulunan hücrelerin ölümüne ve mitokondriyal bozulmada da etkisi vardır (Yerli ve diğ., 2020).

Mangan eksikliği; protein, glikoz ve lipit metabolizmasında düzensizliklere, epilepsiye, yetersiz kemik gelişimine, osteoporoza ve gelişme geriliğine neden olmaktadır (Polat, 2022).

2.2. İçme Suyu Arıtım Yöntemleri

2.2.1. Konvansiyonel Arıtım Yöntemleri

2.2.1.1. Havalandırma

Su arıtımında eski zamanlardan beri kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde su ve hava arasında bir temas yüzeyi oluşturulur (Kısa, 2016). Havalandırma, suya oksijen veya oksijence zengin hava verilmesidir. Sudaki oksijen, (Fe^{2+}) iyonunun yükseltgenerek (Fe^{3+}) iyonu haline gelmesine ve demirin suda çökelmesine neden olur. Havalandırmada demir metalinin giderimindeki temel mekanizma budur. Su 5mg/L'den fazla demir içeriyorsa havalandırma, demirin uzaklaştırılmasında genellikle tercih edilen bir arıtma yöntemidir. Bu yöntem, kimyasal madde kullanımından kaçınarak daha az maliyet oluşmasını sağlamaktadır (Khatri ve diğ., 2017).

Havalandırma, manganı yükseltgemek için de kullanılır. Manganın yükseltgenmesi, demirin yükseltgenme hızından daha yavaş olduğu için manganın alıkonma süresi daha fazladır. Bu yöntemin dezavantajı, çok büyük hacimli tanklara ihtiyaç duyulmasıdır (Hameed ve diğ., 2019). Demirin yükseltgenmesi pH 6'dan düşük ise manganın yükseltgenmesi ise pH 9'dan düşük ise çok yavaş gerçekleşir (Akgiray, 2003).

Kouzbour ve diğerleri (2020), çalışmalarında; havalandırma işlemi ile içme suyundan çözünmüş manganın uzaklaştırılması için reaktif akışı simüle etmeyi amaçlayan iki fazlı model bir hava ikmal reaktörü kullanılmıştır. Yükseltgenme tepkimesi için katalizör olarak kabul edilen çözünür mangan ve çözünmeyen MnO_2'nin başlangıç konsantrasyonları ve pH gibi suyun özelliklerini hesaba katarak, bu çalışmada hava ikmal reaktöründe havalandırma işlemi ile manganez giderimi üç boyutlu, Euler-Euler iki akışkanlı modeli kullanılarak ilk kez modellenmiş ve simüle edilmiştir. CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) modelinin, katalizör olarak MnO_2 eklendiğinde ve Mn_2 nin başlangıç miktarı yüksek olduğunda deneysel verileri daha iyi tahmin ettiği

görülmüştür. Bu çalışma sonucunda; CFD kullanılarak havalandırma işlemi ile oksidasyon yapılabileceği deneysel verilerle gösterilmiştir.

Havalandırma yöntemi ayrıca;

- Suda tat ve koku değişimine neden olan uçucu maddelerin uzaklaştırılmasında,
- Su arıtma sürecini ve bu sürecin maliyetini olumsuz yönde etkileyen karbondioksit gibi maddelerin gideriminde,
- Toplum sağlığı için tehlike yaratan uçucu ve yarı uçucu maddelerin (tetrakloroetilen, trikloroetilen vb.) uzaklaştırılmasında,
- Biyoparçalanabilir olan organik maddelerin yükseltgenmesi için gerekli olan oksijeni suya vermekte ve
- Hidrojen sülfür gideriminde kullanılır (Kısa, 2016).

Kullanılan havalandırma sistemleri; cazibeli havalandırma, mekanik havalandırma, difüzörlü havalandırma ve basınçlı havalandırma olarak dört kategoriye ayrılır. Cazibeli havalandırma sistemleri ise kendi içinde;

- Tepsi tipi havalandırıcılar,
- Sprey havalandırıcılar,
- Dolgu kuleler,
- Kaskat ve koni havalandırıcılar olarak dört başlığa ayrılır (Gedikoğlu, 2021).

Arıtma tesislerinde genellikle kaskat tipi havalandırma havuzları kullanılır. Blower denilen hava körükleri sayesinde suya hava verme işlemi yapılır (Ünal, 2015).

2.2.1.2. Koagülasyon-Flokülasyon

Arıtma tesislerinde flokülasyon ve koagülasyon işlemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Özdemir, 2020). Çeşitli koagülantlar (organik ya da inorganik kimyasal) kullanılarak, kil, sit gibi kolloidal taneciklerin askıda durumundayken çözünmesi gerçekleşmeden bozulması sonucunda, elektrostatik yüke sahip taneciklerin hareket halinde olması nedeniyle çökmeyen taneciklerin çökebilen yumak formuna geçmesi aşamalarının tümüne koagülasyon-flokülasyon prosesi denilmektedir (Altan, 2019).

Kolloidler, homojen görüntüde dağıtıcı ve dağılan maddenin bünyesinde askıda olan heterojen çözeltilerdir. Tepkimede var olması muhtemel reaktiflerin birbirinden ayrışması ya da sucul bölgede var olan iyonların yüzeyinde absorplanmasıyla oluşan maddeler moleküllerin uç kısmındadırlar ve elektriksel yüke sahiptirler. Kolloid tanecikleri içeren suyun içerisinde bulunan pozitif ve negatif yüklerin dengede olması suyun elektrik yükünü dengeler. Negatif ve pozitif yüklü parçacıkları itme ve çekme kuvvetlerinin dengelenmesi sayesinde birbirine yakınlaşamayan kolloidler durgun halde çökmeden askıda kalırlar. Katyonik koagülantlar pozitif yüklü oldukları için sulardaki negatif yükü azaltırlar ve birbirleriyle çarpışmaları sonucunda flokları meydana getirirler. Koagülasyon prosesinden verim alınması için temas süresine, karıştırma hızına, sıcaklığa ve pH'a dikkat edilmelidir (Altan, 2019). Uygun şartlar sağlandığında koagülasyon işleminden sonra kolloidlerin destabilizasyonunu, organik ve inorganik bulanıklığın giderilmesi, patojen ve bakteri giderimi, fosfat giderimi, tat ve koku yapıcı maddelerin giderilmesi, BOİ ve KOİ parametrelerinin giderimi, organizma ve alg giderimi, askıda katıların giderimi, renk giderimi ve ağır metallerin giderimini sağlar (Özdemir, 2020).

Koagülasyon işlemi için koagülant madde olarak alüminyum sülfat, alüminyum klorhidrat, poli alüminyum klorür, poli alüminyum silikasülfat, sodyum aluminat, demir klorür ve demir sülfat kullanılabilir (Gedikoğlu, 2021). Arıtma tesislerinde en yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat ve demir (III)klorürdür (Altan, 2019).

Tablo 2.4. Çeşitli Koagülant, Koagülant Yardımcıları ve Ph Ayarlamada Kullanılan Kimyasallar (Gedikoğlu, 2021).

Koagülant	**Koagülasyon Yardımcısı**	**pH ayarlama**
Alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$)	Kalsiyum oksit (CaO)	Hidroklorik asit (HCl)
Demirklorür ($FeCl_3$)	Poliakrilamid $(C_3H_5NO)_n$	Sülfirik asit (H_2SO_4)
Demirsülfat ($Fe_2(SO_4)_3$)	Sodyum silikat (Na_2SiO_3)	Sodyum Hidroksit (Na_2CO_3)
Poli alüminyum klorür ($Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$)		Sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$)
Poli alüminyum silika sülfat ($Na_{12}(AlO_2)(SiO_z)_{12}xH_2O$)		Kireç ($Ca(OH)_2$)
Sodyum aluminat ($NaAlO_2$)		Sodyum silikat (Na_2SiO_3)

Flokülasyon işlemi (yumaklaştırma), suyun optimum sürede ve yavaşça karıştırılarak destabilize olan parçacıkların birleşip büyümesiyle yumaklaşarak çökebilen floklar oluşturmasıdır (Özdemir, 2020).

Flokülasyon için kullanılan polimerler, flokları birleştirerek yumaklaştırırlar. Polimerin bir ucu çökmesi gerçekleşmeyen parçacıkların yüzeyine adsorplanırken diğer bir ucu başka bir parçacığın yüzeyine absorplanarak aralarında bağ oluşturarak yüzeyde kalır. Katyonik bir polielektrolit, negatif yüke sahip çökmemiş maddeler ile tepkimeye girerek adsorbe olur ve destabilizasyonu gerçekleşir. Flokların yoğunluğu ve suyun yoğunluğu birbirinden farklı olduğu için, flokların sudan ayrılması sedimantasyon yöntemi ile kolaylıkla sağlanır. Bu işlem esnasında polielektrolit kullanılması taneciklerin daha hızlı çökmesini, sudan kolay uzaklaşmasını sağlar (Altan, 2019).

Flokülasyon işleminde; suyun kalitesi, askıda katı maddeleri, kirletici ve kolloid miktarı, pH ‘ı, bekletme süresi, karıştırma tipi ve hızı, çöktürme işlemi, suyun sıcaklığı, suyun kalitesi ve özellikleri, kullanılan koagülant dozajı ve tipi prosesinin optimum çalışmasını etkileyen faktörlerdir (Özdemir, 2020).

İçme ve kullanım sularındaki çözünmüş demir ve mangan formlarının çözünmeyen demir ve mangan oksit formlarına oksidasyonuyla oluşan oksitlerin giderimi için filtrasyon veya çöktürme işlemi uygulanmaktadır. Koagülasyon – flokülasyon yöntemiyle demir ve mangan giderimi yapılırken oksitlenmiş olan mangan ve demir partiküllerinin yüzey yükleri azaltılarak yumaklaşması ardından yer çekimiyle çökmesi gerçekleşir. Bu işlem esnasında koagülant ve yardımcı koagülant lazım olmaktadır. Arıtma tesislerinde en çok kullanılan koagülant alümdur. Koagülasyon ve flokülasyon ile giderimde alüm enjekte edilmeden önce (10 dk.) permanganat eklenmesiyle gerçekleşen oksidasyon sonunda pH’ın optimum 5.5-6,5 arasında belirlenmesi mangan giderim verimini yükseltmektedir. (Özgün, 2007).

Yapılan bu çalışmada koagülasyon-flokülasyon ön arıtım yöntemi kullanılmıştır. Bu proses de koagülant olarak demir (III)klorür, alüminyum sülfat, pac-s ve koagülant yardımcısı olarak polielektrolit kullanılmıştır.

2.2.1.3. Hızlı ve Yavaş Karıştırma

Hızlı karıştırmanın amacı; organik ve inorganik maddelerin yükünün azaltılması, askıda ve kolloidal maddelerin bir arada toplanmasını sağlamaktır (Ünal, 2015). Hızlı karıştırmanın sertlik, renk, tat ve koku giderimine de etkisi vardır (Gedikoğlu, 2021). Karıştırma işlemi hidrolik ya da mekanik olarak yapılabilir.

- Hidrolik karıştırıcılar: Bu tip karıştırıcıların performansı sabit debide iyidir. Yük kaybı düşüktür. Fazla bir bakıma ihtiyaç duymazlar. Kısa devre ihtimali düşüktür.
- Mekanik karıştırıcılar: Bu tip karıştırıcılar verimliliği arttırır. Yük kaybı azdır. Debide oluşan değişimler, mekanik karıştırıcıları etkilemez.

Yavaş karıştırmanın amacı ise koagülant eklemesiyle oluşan flokları belirli bir süre karıştırarak yumak haline getirip çöktürmektir (Ünal, 2015). Bulanıklık, renk ve birçok kirletici maddenin giderilmesini sağlar (Kalayci, 2019).

2.2.1.4. Çöktürme

Küçük partiküllerin bir araya gelmesiyle oluşan yumakların çökmesinin gerçekleşebilmesi için çöktürme havuzlarına ihtiyaç vardır. Oluşan yumaklar hafif ise çöktürme işlemi yapılmadan direk olarak fitrelere aktarılır. Çöktürme ünitesinde askıda katı maddelerinden arındırılması amacıyla kullanılır (Kalaycı, 2019).

İçme suyu arıtımında çöktürme gerçekleşmesini sağlayan iki farklı yöntem vardır. Biri basit çöktürme diğeri ise karıştırma (hızlı ve yavaş karıştırma) işleminden sonra yumak haline gelen partiküllerin çöktürülmesi işlemidir bu çöktürmeye yumaklı çökeltme de denilmektedir. Basit çöktürme işleminde suyun içerisindeki askıda katı maddeler sudan ayrılır. Yüksek bulanıklarda gelen suların filtrasyon ünitesindeki yükünü hafifletmek için de basit çöktürme işlemi uygulanabilir. Bulanıklığı yüksek olmayan sulara herhangi bir kimyasal madde ilavesi yapılmadan belirli bir hız ve sürede, özgül ağırlığı ve yer çekimi kuvvetiyle kirleticilerinden uzaklaştırılması işlemidir. Yumaklı çökeltme işleminde, karıştırma işleminin ardından yumaklaştırma işlemiyle gerçekleşen çöktürme de bulanıklık ve rengi gidermek için kimyasal ilavesi, soda ve kireç ekleyerek de sertlik ile beraber diğer kirleticileri de sudan uzaklaştırma işlemidir (Kısa, 2016).

Çöktürme işlemini etkileyen bazı etkiler; suyun sıcaklığı, yüzey alanı, bekletme süresi, akış hızı ve şekli, çökelecek partiküllerin ağırlıkları ve çöktürme işleminin gerçekleşeceği havuzun şekli ve boyutlarıdır (Kalaycı, 2019).

Çöktürme işlemi için iki tip havuz vardır. Bunlardan birincisi düşey akışlı çöktürme havuzları ikincisi ise içme suyu arıtma tesislerinde de en çok kullanılan Yatay akışlı çöktürme havuzlarıdır (Kısa, 2016).

2.2.1.5. Filtrasyon

Filtrasyon, demir ve mangan gideriminde kimyasal oksidasyon sonrasında uygulanabileceği gibi tek başına da kullanılabilir. Kimyasal oksidasyon sonunda filtrasyon yapıldığında oksidasyon ürünleri filtrede tutulur. Filtrasyon için en çok tercih edilen materyaller; antrasit kum ve yeşil kum filtreleridir (Özgün, 2007).

Filtrasyon, eski zamanlardan beri su arıtımında kullanılan temel yöntemlerden biridir. İçme suyu arıtımında kullanılan konvansiyonel arıtım yöntemlerinin en önemli aşamalarındandır. Filtrasyon aşamasına yumaklaşma, adsorpsiyon, çökeltim ve süzme işlemleri etki etmektedir. Filtrasyonun amacı, suda bulunan demir, mangan ve kil gibi inorganik maddelerin, organik maddelerin, askıda katı maddelerin, mikroorganizmaların ve bulanıklığın uzaklaştırılmasıdır (Kalayci, 2019). Çakıl ve kum gibi malzemeler filtre yatağını oluşturur. Suyun geçişi sırasında istenmeyen maddeler, filtre yatağındaki gözenek boşluklarında birikir (Ünal, 2015). Suyun geçiş hızına göre filtreler; basınçlı filtreler, yavaş kum filtreleri ve hızlı kum filtreleri olarak sınıflandırılabilir. Sağladığı alan tasarrufu sebebiyle genellikle su hazırlama ünitelerinde basınçlı filtreler kullanılır. Hızlı ve yavaş kum filtreleri ise genellikle içme suyu arıtma tesislerinde kullanılmaktadır (Dölgen, 2014).

Demir ve mangan gideriminde doğal veya sentetik zeolit kullanılabilir. Yeşil kum, birm ve pyrolox filtrasyonda sıklıkla kullanılır. Birm, granüler bir filtrasyon malzemesidir. Basınç filtrelerinde de kullanılan birm, sudaki demir konsantrasyonu düşük olduğu zaman ve evsel su arıtım sistemlerinde kullanılır (Barloková, 2009).

Galangashi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, yeşil kum filtrasyonu ve potasyum permanganat – yeşil kum filtrasyonu olmak üzere iki arıtma düzeneğinin demir ve

mangan giderimi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, yalnızca yeşil kumda filtre edilen demir ve manganın giderim yüzdeleri sırasıyla %41,74 ve %27,26 dir. Potasyum permanganat içermeyen yeşil kum filtrelerinde demir giderimi mangandan daha fazladır. Yeşil kum filtresine potasyum permanganat eklenmesi ise demir ve mangan konsantrasyonlarını içme suyu standart değerlerinin altına ulaşmıştır. (Galangashi ve diğ.,2021)

Bu çalışmada (Sevindir ve diğ., 2009), sularda çözünmez ve çözünmüş formda bulunan mangan ve demir gideriminde filtrasyon için iki çeşit pomza taşı kullanılmıştır. Kullanılan pomza taşlarından biri hiçbir işlem görmemiş saf pomza, diğeri ise üzeri MnO2 tabakasıyla kaplanmış pomza taşıdır. İki şekilde hazırlanan kaplı ve saf pomza filtrelerine farklı mangan ve demir konsantrasyonları uygulanmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda verimlerine bakıldığında; saf pomza taşı kullanıldığında demir giderim verimi %80-86, mangan giderim verimi %62 -81 arasında değişim göstermiştir. Kaplı pomza taşı kullanıldığında demir giderim verimi %81-84, mangan giderim verimin ise %12-87 mangan giderilmiştir (Sevindir ,2009).

Yang ve diğerleri (2021), çalışmalarında; yer altı suyundan mangan ve demiri birlikte arıtımını yapmak için oksidan destekli kum filtrelerinde çalışmışlardır. Farklı miktarlarda permanganat ve sodyum hipoklorit kullanarak yer altı suyundan demir ve mangan giderim verimlerini incelemişlerdir. Farklı dozajlarda oksidan kullanımın kum filtresi hızı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Potasyum permanganat ve sodyum hipokloritin aktif MnOx'in oluşum ve yapısal özellikleri üzerindeki etkileri 120 günlük bir periyotta araştırılmıştır. Potasyum permanganat eklenmesi başlangıç süresini 36 güne kadar etkili bir şekilde indirmiştir. Sodyum hipoklorit ilavesinin kum filtrenin olgunlaşmasının üzerine sınırlı etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Düşük doz potasyum permanganatın daha kısa bir olgunlaşma süresi sağladığı görülmüştür.

Kouzbour ve diğerleri (2020), çalışmalarında; yeraltı sularında bulunan kireçtaşı filtresine demir oksitlenmiş bakteri kullanarak yer altı sularından mangan ve demirin giderimini deneylerle araştırmışlardır. 0,6 ile 2,36 mm çaplı kireç taşı, çalışma 2,94 dakikada ve 4 L/h akış hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda demir oksitleyici bakteri destekli kireçtaşının daha iyi performans sergilediği

gözlemlenmiştir. 2 saatlik bir periyotta elde edilen maksimum giderim veriminin demir için %81,72, mangan için ise %83,63 olduğu görülmüştür.

2.2.1.6. Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon, suda bulunan patojen mikroorganizmaların uzaklaştırılması işlemidir. Çöktürme ve filtrasyon aşamasında bu mikroorganizmaların çoğu uzaklaştırılmış olur ancak bu yeterli değildir. Bu yüzden arıtılmış su tesisten çıkmadan önce son aşamada dezenfeksiyon işlemi yapılır (Fakir, 2012). Dezenfeksiyon işlemi mikroorganizmaların hücre duvarının zarar görmesine ve ölmesine neden olur (Kısa, 2016). Klor, klordioksit, kloramin, ozon, iyot gibi kimyasallar ve UV ışınlama yöntemleriyle dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilir (Kalayci, 2019). Bunlara ek olarak kullanılan kimyasallardan biri de potasyum permanganattır ama dezenfeksiyon işlemi için kullanımı çok nadir görülür (Aksu, 2019). Dezenfeksiyon işleminde kullanılan yöntemlerin arasında yaygın olarak kullanılan kimyasal klor olmasına rağmen en güçlü olanı ozondur. Suyun sıcaklığı, kullanılan dezenfektanın türü, suyun fizikokimyasal özellikleri, mikroorganizmaların türü, temas süresi ve dezenfektanın derişimi dezenfeksiyon işleminin verimini etkiler (Kısa, 2016).

2.2.1.7. İyon Değiştirme

İyon değiştirme, içme suyu ve atık su ile iyon değiştirici reçineler arasında gerçekleşen iyon alışverişi işlemidir. Suyu yumuşatmada kullanılan en yaygın yöntemdir (İller Bankası, 2013). İyon değiştirmede dikkat edilmesi gereken en önemli husus suya hava karışmasını önlemektir (Akarçay Demir, 2019). İyon değiştirici reçineler doyuma ulaştığında yani iyon alışverişi yapamayacak duruma geldiklerinde uygun kimyasalla rejenerasyon işlemi yapılır (Ünal, 2015). İyon değiştirme yöntemi, az miktarlardaki demir ve mangan giderimin de kullanılabilir fakat bu işlem sırasında suya hava karışır ve oksidasyon gerçekleşirse demir ve mangan çökerek reçinede tabaka oluşumuna yol açar (Chaturvedi ve Dave, 2012). İyon değiştiriciler, katyon değiştiriciler ve anyon değiştiriciler olarak iki gruba ayrılır.

- Katyon değiştiriciler: Organik ya da mineral katyonları, kendi aralarında ya da hidrojen iyonuyla değiştirirler. Karboksilik asit, moleküler asit ve sülfonik asit

içerirler. Katyon değiştiriciler, zayıf ve kuvvetli asit değiştiriciler olarak iki alt başlıkta incelenebilir.

- Anyon değiştiriciler: Organik ya da mineral anyonları, kendi aralarında ya da hidroksil iyonlarıyla değiştirirler. Amonyum ve amin içerirler. Anyon değiştiriciler, kuvvetli ve zayıf veya orta kuvvetli baz değiştiriciler olarak iki alt başlığa ayrılır (İller Bankası, 2013).

İyon değiştiricilerin kullanımının sınırlanmasına yol açan sebeplerden biri de kirlenmedir. Kirlenmeye sebep olan etkenler; organik maddeler, askıda katı maddeler, demir, mangan, alüminyum ve mikroorganizmalardır.

Doğal ve sentetik iyon değiştiriciler günümüzde yaygın olarak kullanılır. Kompleks alüminyum silikatlar olan ve aynı zamanda potasyum, magnezyum, kalsiyum ve sodyum içeren zeolitler, doğal iyon değiştiricileri içinde önemli bir yere sahiptir (Kısa, 2016).

2.2.2. Diğer Teknolojiler

2.2.2.1. UV ile Arıtım

UV ile arıtım yöntemi, mikroorganizmalar tarafından absorbe edilen UV ışığının mikroorganizmaların hücrelerinde meydana getirdiği fotokimyasal tepkime sonucu, bu canlıların etkisiz hale getirilmesidir. Su içerisinde çabucak dağılan ve absorbe olan UV ışını malzemelerden yansır (Ünal, 2015). UV ışını yaklaşık 10-400 nm aralığında, X ışınından uzun, görünür ışından kısa dalga boyuna sahiptir (Dölgen ve diğ., 2014). UV ışınları dalga boylarına göre dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- UV (100-200 nm),
- UV-C (200-280 nm),
- UV-B (280-315 nm),
- UV-A (315-400 nm)'dır (Teksoy, 2006).

İşlem sırasında düşük basınçlı, dalga boyu 54 nm olan UV lambaları kullanılır. UV lambalarının çalışma prensibi şöyledir: Düşük basınçlı cıva buharı cam bir tüp içinde

bulunur, tüpe gelen akımın cıva buharının içinden geçmesi sonucu UV ışık üretilir. Orta basınçlı UV lambalar da vardır ama kullanımı nadirdir (Dölgen, 2014).

UV ışınlarından dezenfeksiyon başlığında da bahsedilmişti. UV ışınlarıyla dezenfeksiyon işlemi yapıldığında %99,9 oranında verim elde edilmektedir. UV sistemleri kuart kılıf, kontrol panosu, UV lamba ve reaktör olmak üzere dört üniteden oluşmaktadır (Ünal, 2015).

UV ile arıtım yönteminin avantajları, arıtmada kullanılan kimyasalların üretimi, bu kimyasalların taşınması ve depolanması gibi gereklilikleri ortadan kaldırmasıdır. UV sistemi daha az yer kaplar ve temas süresi düşüktür. UV ile arıtım yönteminin dezavantajlarına ise şunlar örnek verilebilir: Düşük dozlarda kullanıldığında mikroorganizmaların sudan uzaklaştırılmasında yetersiz kalması ve bu yetersizlik şebekede mikrobiyolojik kirliliği arttırdığı için son dezenfeksiyona ihtiyaç duyulmasıdır (Aksu, 2019). UV sisteminde uygun olmayan reaktörler kısa döngülere neden olur. Bu da temas süresinde değişime yol açar. UV ışını, suda bulunan kirleticiler tarafından absorplanarak UV yoğunluğunu düşürebilir. Askıda bulunan maddelerin UV lambanın üzerinde kalıntı bırakması, kullanılan lambanın özellikleri ve reaktör biçimleri UV şiddetini etkiler. Bunlara bağlı olarak da UV performansı etkilenir (Dölgen, 2014).

2.2.2.2. Ozonlama

Ozon kelimesi Yunanca ‘ozein’ sözcüğünden gelmektedir. Aktif oksijen olarak bilinen ozon gazı literatürde O_3 molekülü olarak bulunmaktadır. Üç tane oksijen atomun bir araya gelmesiyle ozon gazı meydana gelmektedir. Ozon gazı simetrik açılara sahiptir ve kararsız bir yapısı vardır. Ozon gazına ilk olarak yıldırımdan sonraki kokudan yola çıkılarak Alman bir kimyager tarafından ifade edilmiştir (Köknar, 2019). Ozon gazı ilk defa Hollanda’nın Oudshoom bölgesinde 1893 yılında suyu dezenfekte etmek için kullanılmıştır (Atgüden, 2010).

Ozon (O_3), oksijenin bir allotropudur ve normal şartlar altında gaz halinde bulunur. Güçlü bir oksitleyici (indirgeme potansiyeli 2,08V) olan ozon atmosferde fazlaca bulunmaktadır. Kararsız yapıda bulunan ozon atmosferde mavi ve beyaz arasında bir renktedir (Dumlu, 2022). Ozon bazen sulu çözelti olarak bazense gaz formunda

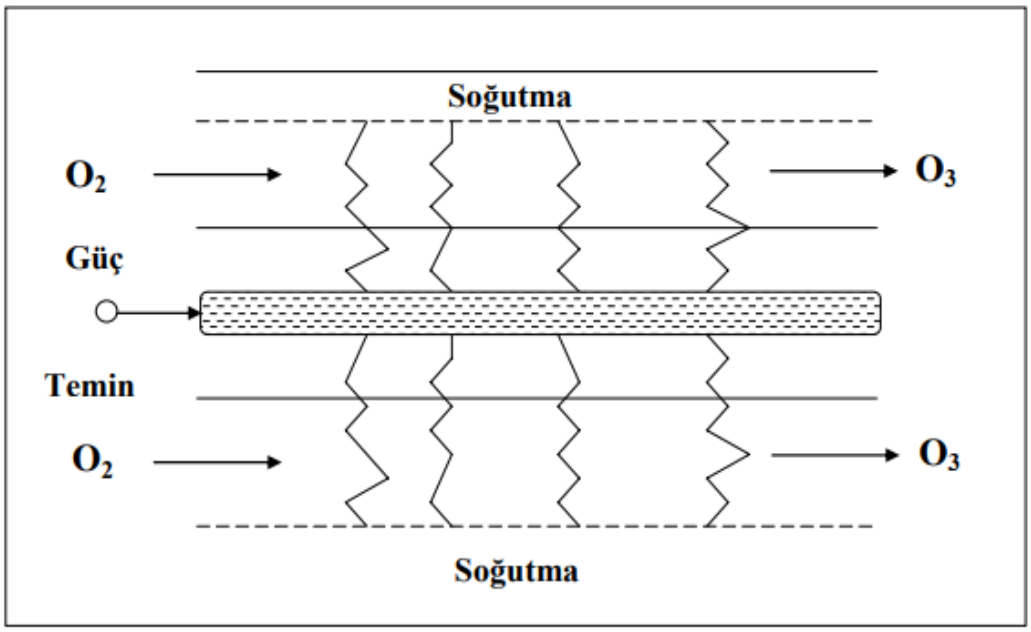
bulunur. Karasız yapıdaki ozonun bozunması ve reaktifliği, sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak artış gösterir. Hızlıca bozunma gösteren ozonun depolanması ve taşınması uygun olmadığı için kullanım anında ve yerinde üretimin yapılması gerekmektedir (Özgün, 2007). Ozon gazının temel özellikleri tabloda verilmiştir.

Tablo 2.5. Ozon Gazının Temel Özellikleri (Atgüden, 2010)

Özellik	Değer
Molekül Ağırlığı	48 g/mol
Sudaki Çözünürlüğü	1,09 g/l (0°C) – 0,57 g/l (20°C)
Donma Noktası	-192,5 °C
Kaynama Noktası	-111,9 °C
Isı Kapasitesi (gaz)	33,3 j/g.mol°C
Buharlaşma Isısı	15,19 kj/mol, -112°C
Yükseltgenme Potansiyeli	2,07 V (Asidik Ortamda) / -1,24 V (Bazik Ortamda)
Absorbsiyon Dalgaboyu	25,37 Angström
Renk	Açık mavi

Ozon kararlı bir molekül yapısına sahip olmadığı için kullanılacağı yerde kullanılacağı sırada üretilmelidir. Ozon üretimi için içerisinde oksijen bulunan gazın UV ışınlarıyla elektrolit tepkimesiyle ya da korona deşarj yöntemiyle üretilmektedir. En yaygın ozon üretimi korona (elektriksel) deşarj yöntemidir (Köknar, 2019). Korona deşarj yöntemi, iki elektrot (levha) arasından içerisinde oksijen bulunan gazın elektrik akımından

geçmesidir. Yüksek voltaj verilen elektrotlarda elektron akımı olur ve oksijeni bir araya getirerek ozon oluşmasını sağlar (Teksoy, 2006).



Şekil 2.2. Ozon jeneratörüyle O_3 oluşturmada korona akımı (Oktar, 2010)

Tablo 2.6. Ozon Besleme Noktalarının Seçimi

Ham Su Kitlesi	**Ozon Besleme Noktası**	**Özel Durumlar**
1.kategori Bulanıklık<10 NTU Ozon ihtiyacı<1 mg/L	Ham su veya sedimantasyondan sonra	Ozon ihtiyacı az Dezenfeksiyon yan ürünleri az Biyobozunabilir organikler az
2.kategori Bulanıklık>10 NTU Ozon ihtiyacı<1 mg/L	Sedimantasyondan sonra	Ozon ihtiyacı az İnorganik partikül fazla Biyobozunabilir organikler az
3.kategori Bulanıklık<10 NTU Ozon ihtiyacı> 1 mg/L	Ham su ve / veya sedimantasyondan sonra	Ozon ihtiyacı fazla Deenfeksiyon yan ürünleri Biyobozunabilir organiklerin oluşumu
4.kategori Bulanıklı>10 NTU Ozon ihtiyacı>1 mg/L	Sedimantasyondan sonra ve eğer gerekirse birinci kademe filtrasyondan sonra	Ozon ihtiyacı fazla Dezenfeksiyon yan ürünleri Biyobozunabilir organiklerin oluşumu

Ozonun uygulama noktalarının seçilmesine ait kriterleri tablo 2.6 ’de belirtilmiştir. Ozonlamanın en çok uygulaması arıtımın başında veya sedimantasyondan sonra uygulanmasıdır (Yardımumar, 2001).

Selçuk H. ve ark. (2019), çalışmasında; çeşitli sebeplerden dolayı sularda bulunan mangan (Mn) ve demir (Fe) elementleri içme ve kullanma suyu kalitesini azaltmaktadır. Bu giderimde pH değerinin 7.0 ve pH değerinin 8.5 olduğu ayrı ayrı iki deiyonize su hazırlanmıştır ve “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” te belirtilen Fe 200µg/L ve Mn 50µg/L olarak belirtilen değerlerinin iki katı Mn ve Fe karışım olarak eklenmiştir. Hazırlanan 7.0 ve 8.5 pH’lı sulara mangan (50 ve 100 ppb) ve demir (200 ve 400 ppb) ayrı ayrı ve mangan ile demir tek seferde (50+200 ppb ve 100+400 ppb) karışımı olarak eklenmiştir. İçerisinde Fe ve Mn elementi bulunan sulara ozon gazı 5 dakika boyunca verilmiştir. Birer litrelik vidalı kapaklı cam şişelere konulmuş 12 adet su numunelerinin (15°C sıcaklıkta) 6 tanesi pH 7.0 olduğundan direk kullanılmış, 6 tanesi ise pH 8.5 olabilmesi için 0.1 N NaOH ile ayarlanmış ve ardından ayarlanan konsantrasyonlarda Mn ve Fe katılmıştır. pH 7.0 olduğunda 50 ppb ve 100 ppb Mn ,200 ppb ve 400 ppb Fe için 4 uygulamada da Fe ve Mn giderimi gerçekleşmemiştir. pH 8.5 olduğunda 200 ppb ve 400 ppb Fe için de 4 uygulama yapılmış ve ozonlama işlemi ve filtrasyon işlemi Fe giderimini sağlamıştır. pH 8.5 olduğunda 50 ppb ve 100 ppb Mn için yapılan 4 uygulamada da Mn giderimi sağlanamamıştır. pH 7.0 olduğunda karışım halinde hazırlanan 50 ppb Mn ve 200 ppb Fe, 100 ppb Mn ve 400 ppb Fe için de 4 aşamada da giderim sağlanamamıştır. pH 8.5 olduğunda karışım halinde hazırlanan 50 ppb Mn ve 200 ppb Fe, 100 ppb Mn ve 400 ppb Fe için numunelere aynı işlemler uygulanmıştır ve tek başına ozonlama işlemi yeterli gelmemiş ancak ozonlama işleminin ardından yapılan filtrasyon işlemi sayesinde Fe ve Mn giderimi %95’tir.

İçme suyu arıtımında ozonlamanın avantajları;

- İçme suyu arıtmak için kullanılan ozonun kullanılabilecek diğer dezenfektanlardan daha fazla etkisi olmasının yanı sıra oluşabilecek yan ürünleri diğer dezenfektanlardan azdır.
- Ozon ile yapılan içme suyu arıtımlarında çamur ile ilgili herhangi bir problem yaşanmaz.

- Ozon diğer oksitleyicilerden daha güçlü bir oksitleyicidir.
- Ozon inorganik ve organik bileşiklerle hızlıca tepkimeye girer.
- Oksijenden veya havadan üretimi oldukça kolaydır.
- Renk, bulanıklık, koku giderimi ve dezenfeksiyon gibi birçok uygulamada kullanılabilirdir (Topkaya, 2021; Dumlu, 2022).

İçme suyu arıtımında ozonlamanın dezavantajları;

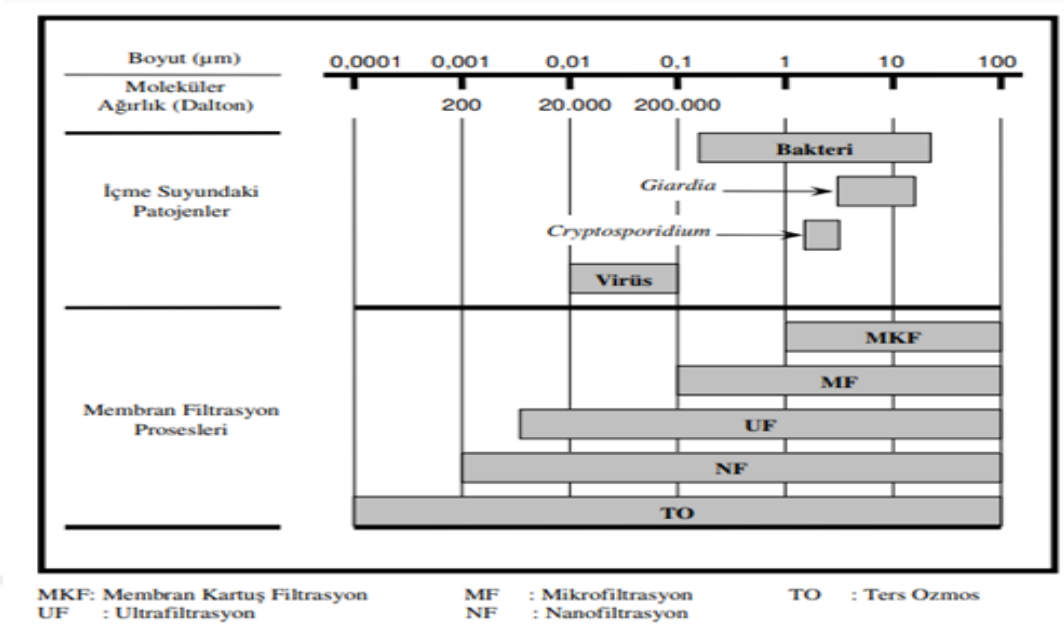
- Ozonla yapılacak olan arıtım sisteminin maliyeti diğerlerinle kıyaslandığında daha yüksektir.
- Karasız bir yapıya sahip olan ozonun depolanması ve taşınması uygun olmadığı için, kullanım yerinde ve kullanım anında üretilmesi daha uygundur.

Askıda katı maddeler ve yüksek konsantrasyon içeren suların arıtımında fazla miktarda ozona ihtiyaç duyulur. Fazla ozon tüketimi de arıtım maliyetinin yükselmesine sebep olur (Aksu, 2019; Dumlu,2022)

2.2.2.3. Membran Filtrasyon

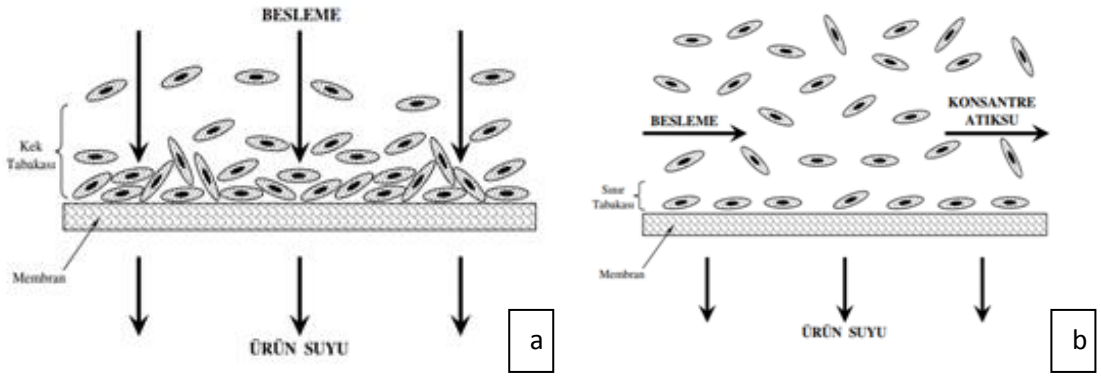
Membran filtrasyon sistemi, sudan geçmesi istenmeyen maddelerin yüksek basınç verilerek yarı geçirgen membran filtreler ile yapılan fiziksel bir ayırma işlemidir. Membran filtrasyon sisteminde kirleticiler tutulur ve membrandan suyun geçişi sağlanır. Membran filtrasyon sisteminden geçen suya süzüntü suyu, geçemeyen kısma ise konsantre akım denilmektedir. Membran filtrasyondan prosesiyle su artımı yapılan sistemlerde en fazla kullanılanlar; mikrofiltrasyon, ters ozmos, ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membran sistemleridir (Avcı, 2021).

Membran filtrasyon sistemleri şekil 1.2’ de gösterilen Giardia, Cryptosporidium, virüs ve bakterileri giderimine uygun olmalıdır. Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi ters ozmos ve nanofiltrasyon membran sistemleri çözünmüş maddeleri, büyük makro molekülleri ve patojenleri gidermede etkisini göstermektedir (Naharcı, 2007).



Şekil 2.3. Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi (Naharcı,2007).

Filtrasyon sistemleri ve membran sistemlerinin su akışları arasında farklar bulunmaktadır. Membran sistemlerine dik ve yatay olmak üzere iki şekilde su akışı gerçekleşmektedir. Su akışının dik olduğu membran sistemleri; mikrofiltrasyon ve ulrafiltrasyondur (Şekil 2.4.(a)). Su akışı dik olduğundan zamanla membranın ön kısmında birikme olacaktır bu da giderim verimini düşüreceğinden, belirli aralıklarla membranların geri yıkama yapılması gerekmektedir. Su akışının yatay olduğu membran sistemleri; ters ozmos ve nanofiltrasyon membran sistemleridir (Şekil 2.4.(b)). Bu membran sistemlerinde su paralel olarak verildiğinden yüzeyde birikme olmaz (Naharcı,2007).



Şekil 2.4. (a) Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması, (b) Yatay Yönlü Membran Su Akış Şeması

Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon sistemleri en fazla kullanılan membran sistemleridir. Membran filtrasyon sistemleri; membran yapılış ve materyaline, gözenek çaplarına, askıda veya koloidal partikül giderimlerine göre birbirlerinden ayrılırlar.

Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon gözenek çapları sırasıyla 0,1–0,2 μm ve 0,01–0,05 μm aralığındadır. Mikrofiltrasyon ve [a] afiltrasyon besleme ve ürün su [b] yanları arasındaki basınç farkı sırasıyla 0-2 bar ve 10 bar arasındadır. Kirleticilerin membran tutulmaları büyüklüklerine, yapısına membranların büyüklük ve yapısının yanı sıra işletme şartlarına bağlıdır (Naharcı,2007).

Mikrofiltrasyon membranlarla bakteriler, büyük kolloidler, kil ve silt gideriminde kullanılmaktadır. MF membranların kirleticileri tutma verimleri düşüktür ancak bu membran sistemleri ön arıtım olarak arıtma proseslerinde kullanılabilir. Ultrafiltrasyon membranları kâğıt, kimya, deri, tekstil, gıda ve süt endüstrisinde kullanılmaktadır. Mikrofiltrasyon membranlar gibi arıtma tesislerinde ön arıtım olarak kullanılabilirler (Avcı, 2021).

Tang ve diğerleri (2021), çalışmalarında; suda bulunan demir ve mangan gideriminde biyokek ve UF membran ile birleştirilmiş yerçekimi güdümlü membran kullanılmışlardır. Demir ve mangan giderim mekanizmaları ile akış ve giderim arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma sonunda, düşük sıcaklıkta demir ve mangan konsantrasyonlarının arıtım sürecindeki akışın stabilize olmasına etki etmediği görülmüştür. Uygulanan membran prosesinin akışının sabitlenmesi sonrasında demir ve mangan gideriminin yaklaşık olarak her ikisi için de %95 olduğu görülmüştür. Mangan oksitlerin önceden ilavesinin giderim sürecinin başlamasını yaklaşık olarak 20 gün kısaltabildiği ve daha kararlı bir akış olması için biyokek tabakasının gözenekliliğini ve heterojenliğini iyileştirebildiği gözlemlenmiştir. UF membranının tek başına mangan konsantrasyonunu azaltamadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon sistemlerindeki en büyük problem membran yüzeyinde birikme olmasıdır. Bunun giderimi için iki yol izlenebilir; birincisi ürün suyu

ile yapılacak ters yıkama bir diğeri ise yüksek hızla sıvı akışı sağlanmasıdır (Naharcı,2007).

Nanofiltrasyon

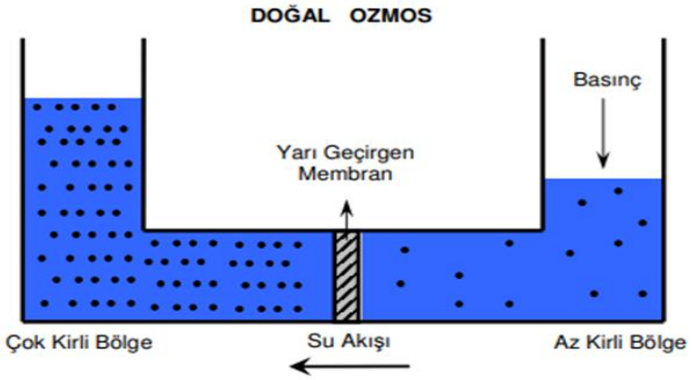
Nanofiltrasyon sistemi çözünmüş bileşiklerin gideriminde, yumuşatmak için en fazla tercih edilen membran sistemlerinden biridir. Nanofiltrasyon ortalama 1 nanometre ve 200 kg/kmol molekül ağırlığına sahip partiküllerin giderimi için tasarlanmış yarı geçirgen membrandan meydana gelmektedir. Bu sistem daha çok sulu çözeltilerdeki organik maddeleri gidermek için tasarlanmıştır (Naharcı, 2007). Nanofiltrasyon bu membran sistemleri daha çok virüslerin, bakterilerin, sertliğin ve organik kalıntıların giderilmesi için kullanılmaktadır (Avcı, 2021).

Nanofiltrasyon sistemini diğer sistemlerden ayıran önemli bir özelliği ise iyon seçici olmasıdır. Bir (+1) değerliğe sahip iyonlardan membran sisteminden geçerken, iki (+2) değerlikli iyonlar membran sistemine tutunurlar.

Yapılan araştırmalar neticesinde nanofiltrasyon membran sistemlerine tutulmaları; katyonlar, H^+, Na^+, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Cu^{+2}, anyonlarda, NO_3^- , Cl^-, OH^-, SO_4^{-2}, CO_3^{-2} sırasıyla artmaktadır. Nanofiltrasyon sistemleri; bir değerlikli iyonlar sistemden geçerken çok değerlikli anyonların membranlara tutulması ile proses ve içme sularının yumuşatılmasında, bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulmasıyla ile içme suyu arıtımında, sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması ile biyolojik arıtımdan önce atıksudaki parçalanması güç olan kirleticilerin ayrılmasında kullanılabilir (Naharcı,2007).

Ters Ozmos

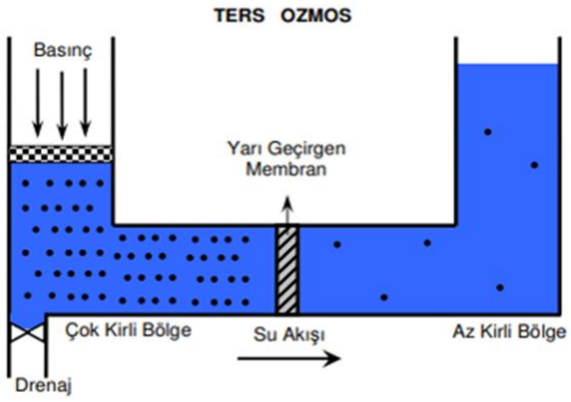
Su, 20-30 °C sıvı moleküllü bir maddedir. Ters ozmos sistemler; suda çözünür halde bulunan su veya sudan daha küçük moleküllü maddeleri tutar. Bu sistemlerde bulunan yarı geçirgen membranlar suda çözünen safsızlıkları tutarlar (Avcı,2021). Sudaki iki farklı konsantrasyona sahip çözelti yarı geçirgen membran sistemi ile ayrıldığında ozmos (şekil 2.5.) gerçekleşir. Bazı kirleticiler membrandan geçerken bazıları da geçemezler. Suda çözünmüş formda bulunan maddelerin ozmotik basıncı, az kirli belgeden çok kirli bölgeye geçirerek suyu seyreltir (Naharcı,2007).



Şekil 2.5. Doğal Ozmos İşlemi (Naharcı,2007).

Ters ozmos sistemler; suda çözünür halde bulunan su veya sudan daha küçük moleküllü maddeleri tutar (Avcı,2021)

Ters ozmos işleminde kirli olan bölgeye basınç yapılarak yarı geçirgen membrandan geçerek az kirli olan ortama geçer (Şekil 2.6.). Bu sistemlerin işletme basınçları ve pompalama kapasitesi için gerekli olan enerji 2.4-4.5 kWh/m^3, suyun akış hızı 1.2-76.2cm/sn aralığındadır. Ters ozmos filtrasyon kapasitesi, sistemin konfigürasyonuna, besleme suyu sıcaklığına, arıtımı yapılacak çözünmüş maddeye ve membran özelliğine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Naharcı,2007).



Şekil 2.6. Ters Ozmos Sistemi (Naharcı,2007).

Bu sistemlerde, sisteme gelen suyun konsantrasyonun artması halinde suyun kalitesi azalacak, konsantrasyonun azalması halinde ise ürün suyunun kalitesi artacaktır. Gelen suyun %40 'ı atık su, %60'ı ürün suyudur. Ters ozmos ünitelerinin verimi %50-70 aralığındadır (Naharcı,2007).

Ters ozmos sistemlerinde membran olarak poliamid (PA), selüloz tri asetat (CDA), selüloz asetat (CA), poliüretanlar, polieter amitler ve aromatik poliamitler kullanılmaktadır (Naharcı,2007).

2.2.2.4. Adsorbsiyon

Bir fazda bulunan molekül veya iyonların, diğer bir fazın yüzeyinde tutunmasına adsorbsiyon denir. Çözeltide kalan madde derişimi ile adsorban yüzeyinde biriken madde derişimi dengeye geldiğinde adsorbsiyon durur. (Aksu, 2019). Suda bulunan zehirli maddelerin giderilmesinde, renk, tat ve koku gideriminde kullanılabilir (İller Bankası, 2013). Aktif karbon, içme suyu arıtımında genellikle kullanılan adsorbanlardan biridir (Aksu, 2019). İçme suyu arıtımında aktif karbonun iki farklı kullanım şekli vardır. Bunlar:

- Toz aktif karbon (TAK),
- Granüle (Taneli) aktif karbondur.

Suda bulunan çözünmüş organik maddelerin oluşturduğu koku ve tat sorunlarına karşı geçici tedbir olarak toz aktif karbon kullanılabilir (Fakir, 2012). Koagülasyon işleminden önce toz aktif karbonun eklenmesi adsorbsiyonun daha verimli gerçekleşmesini sağlar. Toz aktif karbonun, potasyum permanganat ve klor ile aynı anda uygulanmaması gerekir (İller Bankası, 2013). Toz aktif karbon, çöktürme işleminden önce suya ilave edilmesiyle organik maddeleri adsorblayarak diğer katı maddelerle birlikte çökmesini sağlar. Yıl boyunca devam eden koku ve tat sorunlarına karşı granüle (taneli) aktif karbon kullanılabilir. Granüle aktif karbon, hızlı filtrelerdeki kumun tamamı ya da bir kısmında kullanıldığında koku ve tat gideriminin yanında bulanıklığın giderilmesinde de etkilidir (Fakir, 2012). Aktif karbonlar, yüksek iç yüzey alanı ve gözenekliliğe sahiptir. Aynı zamanda sağlığa da zararsız olan aktif karbonlar adsorbsiyon işleminde kullanışlı maddelerdir (Aksu, 2019). Sharma (2001) yaptığı

çalışmada farklı medyalar kullanarak bunların adsorbsiyon kapasitelerini inceledi. Bu çalışmada bazalt taşının en yüksek Fe2+ adsorblama kapasitesine sahip olduğunu gözlemlendi. Bazalt taşını antrasit, olivin, manyetit, kum, pomza ve kireçtaşının takip ettiği görüldü (Chaturvedi ve Dave, 2012). Tahir ve Rauf (2004) yaptıkları çalışmada galvanize boru sanayisinin atık sularından demir giderimi için adsorban olarak bentonit kullanmıştır. Çalışma için atık suda bulunan demirin başlangıç konsantrasyonu 80-200 mg/L aralığında belirlendi. Demir için en yüksek verimliliğe sahip adsorbsiyon işleminin, sudaki demirin başlangıç konsantrasyonu 100 mg/L olduğu ve ortamın pH'ı 3 olduğu koşullar altında gerçekleştiği gözlemlendi. Maksimum adsorbsiyon değerinin %98'den fazla olduğu görüldü. Ayrıca bu çalışmada, bentonit ile demir gideriminde verimi etkileyen farklı katyonların etkisi de araştırıldı. Katyonların, demirin bentonit üzerindeki adsorbsiyonunu azalttığı gözlemlendi (Khatri ve diğ,. 2017).

Arafat ve diğerleri (2021), çalışmalarında; kolon deney prosedürü kullanımıyla yer altı suyundan Mn ve Fe iyonlarını tutmak ve çekmek için filtreleme ve adsorpsiyon yöntemi uygulanmıştır. İki tür malzeme seçilmiştir; ilki 8-10 m derinlikten alınan vermikülit kili, ikincisi ise Morgan kimyasalı olan katyon değişim reçinesidir. Kullanılacak olan demir ve mangan kanyakları laboratuvar ortamında hazırlanan standart çözeltilerdir. Demir kaynağı 1000 mg/l Fe ve mangan kaynağı Mn standart çözeltisidir. Mn, Fe ve Distile Su çözeltileri 2 ppm, 5ppm, 10ppm, 30ppm ve 50 ppm konsantrasyon değerlerine sahip numuneler hazırlanarak kullanılmıştır. Test üç aşamada gerçekleşmiştir. 1.aşamada, katyon değişim reçinesi ve kil, 50 mg/l konsantrasyon değerine sahip Mn ve Fe içeren suyu tutmak ve adsorbe etme değerlendirmek için yapıldı.2. aşamada; Fe ve Mn metallerinin adsorpsiyonunda uygun süreyi tespit edebilmek için 90 dakikalık süre boyunca numune alındı.3.aşamada, 2mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L konsantrasyon değerliklerine sahip metaller için uygun uzaklaştırma değerleri tespit edildi. Vermikülit kil, 2 ve 5 ppm Fe konsantrasyonları için %95 ve %100 adsorpsiyon göstermiştir. Ancak katyon değişim reçinesi olması gereken standartları sağlayamadı. Demir için istenilen sonucu vermeyen katyon değişim reçinesi mangan giderimi için istenilen sonuçları vermiştir. Kil ise istenilen standartları sağlayamamıştır.

2.2.2.5. Hipokloröz ile Dezenfeksiyon

Klor su içerisinde çözündüğü zaman hidroklorik asit ve hipokloröz asit oluşur.

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCl + HCl \qquad (2.1.)$$

Aktif klor olarak adlandırılan hipokloröz asit (HOCl) mikroorganizmaları parçalayan zayıf bir asittir. Su içerisinde iyonlarına ayrışarak H ve OCl'yi oluşturur. Hipokloröz asitin çözünmesi için pH'ın 6 ve üzerinde olması gerekmektedir. pH 6'nın altına düştüğünde hipokloröz asit çözünme reaksiyonu vermez (Külekçi,2005).

Tablo 2.7. Hipokloröz asitin pH değişikliklerine göre değişimi (Külekçi,2005)

pH	%HOCl	pH	%HOCl
4	100	8	23.3
5	99.7	9	2.9
6	96.8	10	0.30
7	75.2	11	0.030

Hipoklorit (ClO-) bazik ortamda aktif klorun %99 ve üzerinde, Hipokloröz asit (HClO) asidik ortamlarda %99 ve üzerinde bulunur (Elgün,2022).

Gaz Klor (Cl_2) ve Sivi Klor (NaOCl) suda Hipokloröz Asit HOCl ya da Hidroklorik Asit HCl'ye dönüşerek dezenfeksiyon etkisi yaparlar. Hipokloröz asit, hidroklorik asite göre çok daha etkili ve hızlıdır. Bu dönüşüm için önemli olan pH değeridir. PH 7'nin altına düştükçe HOCl oranı artar. Arıtma tesislerinde su pH i 7 ve üzeri olduğu için HOCl den çok HCl ortaya çıkar ve bu durum dezenfeksiyon ve oksitleme etkisini azaltır. Elektrokimyasal Aktivasyon teknolojisi ile tuz ve sudan akim yoluyla elde edilen HOCl %85 liktir. Üstelik 1200 mV redox degeri ile mikroorganizmaların akımla da yok eder. 350/400 mV a kadar dayanabilen tek hücrelilerin hücre duvarları parçalanarak tahrip olurlar. Bu yöntemle elde edilen ürün %85 Hipokloröz Asit dışında ozon, klordioksit gibi diğer oksitleyici meta-stabil bileşenleri de ihtiva eder. Bunlar saniyeler içinde işlevlerini tamamlar ve yok olurlar. Sadece tuz, su ve enerji ile üretildiğinden toksik değildir. Stabil hale üretim sırasında özel yöntemi sayesinde gelir. Bunu sağlamak için katkı kimyasalları ya da ilave yöntem kullanılmaz. Bu nedenle de suyun tad ve kokusuna etki yapmaz ve hızlı oksitleme gerçekleşir.

3. MATERYAL-METOD

3.1. Çataldağ Göleti Hamsu Karakterizasyou

Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi ham su kaynağı olarak Çataldağ Göleti'nden 355 mm çaplı borularla kendi cazibesiyle dip savaktan temin edilmektedir. Çataldağ Göleti'nin yapısı, etrafında yapılan tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile havzanın jeolojik ve jeopolitik yapısı, mevsimsel olarak değişim gösteren su miktarı ve kalitesi ile değişiklik göstermektedir. Suyun yağışlar sonrasında ve çekilmeye başladığı zamanlarda yüksek konsantrasyona sahip su, tesise alınmaktadır. Alınan ham suyun özellikle temmuz ayından itibaren başlayan ve eylül ayının sonuna kadar devam eden süreçte mangan ve demir değerleri sırasıyla 4,5 mg/L ve 5,5 mg/L ve üzerinde olması sebebiyle tesis çıkış suyunun "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te belirtilen sınır değerlerinin (Fe= 0,200 mg/L, Mn= 0,050 mg/L) zaman zaman sağlanamaması durumunda tesisten şebekeye su verilmesi durdurulmaktadır. Bu durumda şehir merkezinde insanların susuz kalmasına sebep olmaktadır. Standartları sağlanmayan su şebekeye verildiğinde ise ilçe genelinde çamaşırlarda, duşa kabinlerde lekeler oluşmasına, plastik endüstrisi, kâğıt endüstrisi, meşrubat endüstrisi vb. endüstrilerde kullanılmasıyla renk, tat ve görüntüde değişikliklere neden olması ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluklar oluşturmasıyla şikayetlere de neden olmaktadır.

İçme suyu kaynağı olarak kullanılan Çataldağ Göleti 2021 -2022 yılları arasındaki ham su karakterizasyonu analizde kullanılan cihazlar ile Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çataldağ Göleti Ham Su ve Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Karakterizasyonu ve Kullanılan Yöntemler

Parametre	Birim	Yöntem	Ham Su Ortalama Değeri	Arıtılmış Su Ortalama Değeri
pH	-	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange HQ440d cihazı)	7,75	7,87
İletkenlik	µS/cm	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange HQ440d cihazı)	72,7	90,3

Tablo 3.1. (Devam) Çataldağ Göleti Ham Su ve Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Karakterizasyonu ve Kullanılan Yöntemler

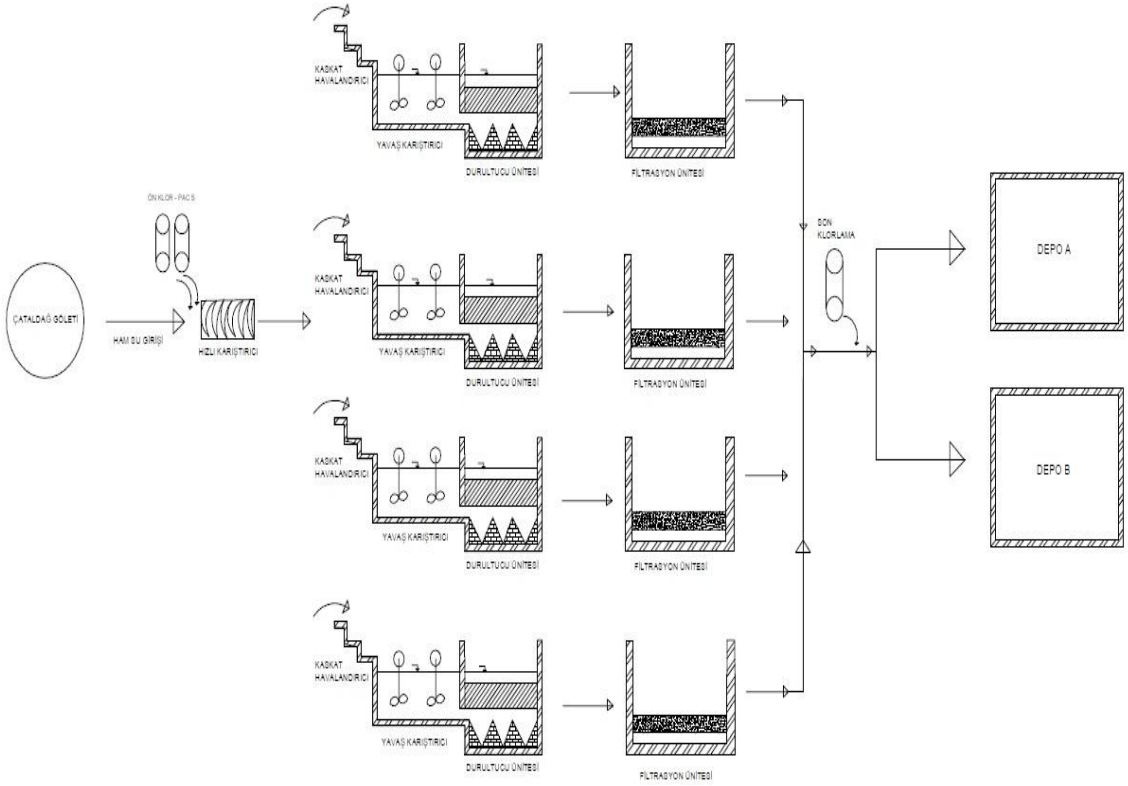
Çözünmüş Oksijen	mg/l	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange HQ440d cihazı)	9,07	9,95
Bulanıklık	NTU	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange 2100N Türbidimetre cihazı)	17,03	0,30
Demir	mg/l	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange DR6000 Spektrofometre cihazı)	0,932	0,033
Mangan	mg/l	Mutiparametre Yöntemi (Hach Lange DR6000 Spektrofometre cihazı)	0,492	0,024

3.2. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi

Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi (İAT), Karaköy – Gürece yolu üzerinde şehir merkezinden 10 km uzaklıktadır. Arıtma tesisi 8.263 m^2 alan içerisinde, 402 m ile 398 m kotları arasında yer almaktadır. 2018 yılında faaliyete geçen tesisin ham suyu Susurluk Çataldağ Barajı'ndan sağlanmaktadır. Tesisin günlük maksimum debisi 8640 m^3/gün dür. Tesis fiziksel ve kimyasal arıtma prosesine göre dizayn edilmiştir. 2 km uzaklıktaki Çataldağ göletinden 355mm çaplı borularla alınan ham su kendi cazibesiyle arıtma tesisine gelmekte ve arıtım sağlandıktan sonra depolara gönderilerek halkın kullanımına sunulmaktadır. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi (İAT) Şekil 3.1.'de, prosesi Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi



Şekil 3.2. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması

Susurluk Çataldağ Barajı, sulama ve içme suyu temini amacıyla DSİ tarafından yapılmış olup Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisinin ham su kaynağıdır.

Ham su temini; 700 mm çaplı boruyla baraj dip savağından alınmaktadır. Ham sudaki kirlilik genel olarak doğal ortamdan kaynaklanmaktadır.

Dip savaktan alınan ham sular cazibesiyle maslak-3'e ulaşmaktadır. Maslak-3 'den 355 mm çaplı borularla ham suyun tesise iletimi sağlanmaktadır. Dipten alınan ham suda, yağışlardan sonra yüksek konsantrasyon değerlerine sahip kirleticiler gelmektedir. Bu sebeple, tesise yüksek konsantrasyona sahip kirleticilere gelmemesi için, su kalitesinin daha iyi olduğu düzeylerden ham suyun temin edilmesi gerekmektedir.

Tesise alınan ham suyun, tesis girişinde debi ölçümü yapılmaktadır. Ardından alınan ham suyun pH, klor ve bulanık değerlerinin ölçümü yapıldıktan sonra kimyasal dozlaması (pac-s ve klor) yapılarak statik mikserden geçerek havalandırma ünitesine aktarılır ve polielektrolit ilavesi dozlaması ile hızlı karıştırıcı ünitesinde karıştırma işlemi gerçekleşen ham su durultucu tanklarına aktarılır ve en son filtre tanklarından da geçtikten sonra son klorlaması yapılarak tesis deposundan şebekeye verilir.

Hızlı Karıştırma Ünitesi: Tesise alınan ham suya pac-s (polialüminyum klorür sülfat) ve klor dozlaması yapıldıktan sonra hızlı karıştırıcı görevi yapan statik mikserden geçmektedir. Maksimum ön klor 32mg/L ve pac-s (polialüminyum klorür sülfat) 25 mg/L ilave edilebilir.

Havalandırma Ünitesi: Kimyasal dozlaması yapılan ham suyun hızlı karıştırıcıda uniform şekilde karışmasının ardından su kaskat havalandırıcıların üst kısmından giriş yaparak 4 tanka dağılmaktadır. Havalandırma ünitelerinin her biri 90 m^3/saat kapasiteye sahiptir. Havalandırma ünitelerinin hesaplamalarında çözünmüş oksijen değeri minimum 3 mg/L konsantrasyon olarak kabul edilmiştir. Havalandırma ünitesine 2 kademeli 30 cm'lik kaskatlar yapılmıştır. Tablo 9' da kaskat havalandırma ünitesine ait bazı bilgiler yer almaktadır.

Havalandırma ünitesinde iki kademeli kaskatlardan gelen su yavaş karıştırma ünitesine geçmektedir. Değerlendirmeler arıtılmış su ve ham sudaki çözünmüş oksijen değerleri analizleri üzerinden yapılmaktadır.

Yavaş Karıştırma: Havalandırma ünitesinden gelen su, 1 adet iki gözlü yavaş karıştırma ünitesine verilmektedir. Her bir ünitede 1 adet olmak üzere 4 adet yavaş karıştırma ünitesi bulunmaktadır. Yavaş karıştırıcıların kapasitesi, 90 m^3/saattir.

Hızlı karıştırma ünitesinde dozlaması yapılan pac-s ve klor ve yavaş karıştırma ünitesinde eklenen polielektrolitin bu ünite de flok oluşturması sağlanmaktadır. İki gözlü yavaş karıştırma ünitelerinden ilki ikincisine göre daha hızlıdır. Bu sayede, yumakların (flokların) parçalanmadan durultucu ünitesine geçişi söz konusudur.

Durultucu Ünitesi: 90 m^3/saat debiye sahip içerisinde lamellalar bulunan 4 adet durultucu ünitesi bulunmaktadır. Durultucu ünitelerinin her birinde üç adet 1,78 m^3 hacime sahip çamur biriktirme konisi mevcuttur.

Filtrasyon Ünitesi: Tesiste 90 m^3/ saat debiye uygun sabit seviyeli ve sabit hızlı 4 tane kum filtresi bulunmaktadır. Her bir kum filtresinin tabanında 1m^2 ye 60 adet olacak şekilde 720 adet (4 filtrasyon ünitesinde 2880 adet) nozul bulunmaktadır. Nozul plakanın üzerinde 10-20 cm çapında 10 cm yüksekliğinde iri çakıl, 2,4-4,8 mm çaplarında 10 cm yüksekliğinde ince çakıl, bu tabakaların üzerinde 0,8-1,2 mm çaplarında kum ve kum tabakasının üzerinde de antrasit bulunmaktadır. Otomasyon sistemiyle filtreler kontrol edilmektedir. Filtreler hem manuel hem otomatik işletilmektedir. Filtrasyon ünitesinde arıtılan suyun debisi ölçülmektedir.

Filtrelerin geri yıkaması için tesisi geri yıkama suyu deposu olan 200 m^3 kapasiteli tanklarından sağlanmaktadır. Geri yıkama için 600 m^3/saat ve basıncı 500 mbar 1 asil 1 yedek olmak üzere 2 tane blower ve 2si asil 1 tanesi yedek olmak üzere 50 L/s kapasiteli 3 tane geri yıkama pompası bulunmaktadır. 50 m^3/m^2.saat hava hızıyla geri yıkama yapılmaktadır.

Dezenfeksiyon Ünitesi: Susurluk İçme suyu Arıtma Tesisinde sıvı klor kullanılmaktadır. Klor tankının hacmi 200 m^3 tür. Tesis maksimum kapasiteyle çalıştığı zaman 33 dakika temas süresi vardır. Sıvı klorun depolanması için uygun şartlar sağlandığında 90 gündür.

Çamur Susuzlaştırma: Durultuculardaki çamurları, 28 adet plaka (800mm*800mm ebatında) ve plakalar arasında 16,4 L hacme sahip filtre pres ünitesinde

susuzlaştırılmaktadır. 5,5kW gücündeki pompalar yardımıyla basıncı 14 bar olan filtre prese verilmektedir.

Kimyasal Hazırlama Ünitesi: Tesiste kimyasallar idari binanın içerisinde kendilerine ait bölmelerde hazırlanmaktadır. Tesiste kullanılacak olan sıvı klor 1 tonluk IBC tanklar ile tesise gelmektedir. Gelen klor aktarma pompasıyla tesise verilen klor depolama tankına aktarılmaktadır. Dozaj pompalarıyla ön klorlama için maksimum 3 mg/L ve son klorlama için 2 mg/L dozlanmaktadır.

Koagülant olarak PAC-s kullanılmaktadır. 1 asil 1 yedek olmak üzere kapasiteleri 60 L/saat olan 2 adet dozlama pompası bulunmaktadır. Pac-s çözeltisi 0,75 kW gücünde motor ve hız gradyanı 700 s^{-1} olan karıştırıcı yardımıyla karıştırılmaktadır.

Anyonik polielektrolit her bir yavaş karıştırma ünitesine 4 adet dozaj pompasıyla verilmektedir. Dozaj pompalarının her birinin kapasitesi 20 L/saat'tir.

pH dengelemek için ihtiyaç halinde kullanılması için NaOH öngörülmüştür. 10 L/saat kapasiteli 1 adet dozaj pompası bulunmaktadır.

3.3. Kullanılan Kimyasallar, Cihazlar ve Ekipmanlar

Deneyler maksimum konsantrasyondaki demir ve mangan çözeltisi hazırlamak için $FeSO_4.7H_2O$ ve $MnSO_4.H_2O$ tozları kullanılmıştır.

Deneylerde; %95-97 saflıkta sülfürik asit (H_2SO_4), %45 saflıkta kostik (NaOH), oksitleme için Irmak Kimya firmasından %17 konsantrasyon değerlikli klor ve Aquamirus Plus firmasından %5 konsantrasyon değerliğine sahip hipokloröz reaktifi kullanılmıştır. Koagülant oluşturmak için Akkim firmasından %40-42 konsantrasyon aralığında demir (III) klorür ($FeCl_3$), Hicri Ercili firmasından %8-10 konsantrasyon değer aralığında alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$), Akkim firmasından %10 konsantrasyon değerinde pac-s (polialüminyum klorür sülfat) ve koagülant yardımcısı olarak Hydrofloc Polymers markalı polielektrolit kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Kullanılan Kimyasalların Temin Edildiği Firmalar ve Konsantrasyon Değerleri

Kimyasal Adı	Firma	Konsantrasyon
Klor	Irmak Kimya	%17
Hipokloröz	Aquamirus Plus	%5

Tablo 3.2. (Devam) Kullanılan Kimyasalların Temin Edildiği Firmalar ve Konsantrasyon Değerleri

Pac-s	Akkim	%10-11
Alüminyum Sülfat	Hicri Ercili	%8-10
Demir (III)Klorür	Akkim	%40-42

Bu çalışma yüksek demir ve mangan içeren ham su kaynağındaki içme sularında laboratuvar ölçekli jar deney düzeneği ile demir ve mangan giderimi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamındaki tüm deney ve analizler Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi laboratuvarın da gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3.'de demir ve mangan içeren ham suyun jar deney düzeneği ile arıtımı beher ve flocculators gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Jar Testi Düzeneği

Laboratuvar çalışmalarının tamamında pH, iletkenlik ve çözünmüş oksijen analizleri Şekil 3.4. 'da gösterilen Hach Lange HQ40d Multi marka ve model mobil analizör ile ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Hach Lange HQ40d Multi marka analizör

Hach Lange demir ve mangan kitlerinin ölçüm sonuçları; ilgili prosedürler uygulandıktan sonra Hach Lange DR 6000 model spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür.

Türbidimetre cihazı Hach Lange 2100N ile bulanıklık değerleri ölçülmüştür. Kullanılan türbidimetre cihazı Şekil 3.5.'de sunulmuştur.



Şekil 3.5. Türbidimetre cihazı Hach Lange 2100N

Deneysel çalışmalarda kullanılan nükleon marka saf su cihazı ile üretilmiştir. Karıştırma işlemleri WN-H320 ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ile yapılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmaların tümünde yapılan hassas ağırlık ölçüleri Radwag marka hassas

terazi ile yapılmıştır. Hacimsel ölçüler Brand marka otomatik pipetler yardımıyla sağlanmıştır ve çalışmalarda Filter Lab 110 mm filtre kâğıdı kullanılmıştır. Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. (a) Saf Su Cihazı nükleon marka, (b) Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı WN-H320, (c) Hassas Terazi Radwag marka, (d) Otomatik Pipetler Brand marka

Demir ve mangan gideriminde kullanılacak olan ham suya oksitleme için klor ve hipokloröz, koagülant olarak pac-s (polialimünyum klorür sülfat), alüminyum sülfat (Al2(SO4)3, demir (III)klorür (FeCl3) ve yardımcı koagülant olarak polielektrolit kullanılarak deney düzenekleri hazırlanmıştır. Yapılan giderim deneylerinde izlenen prosedür aşağıda anlatılmaktadır.

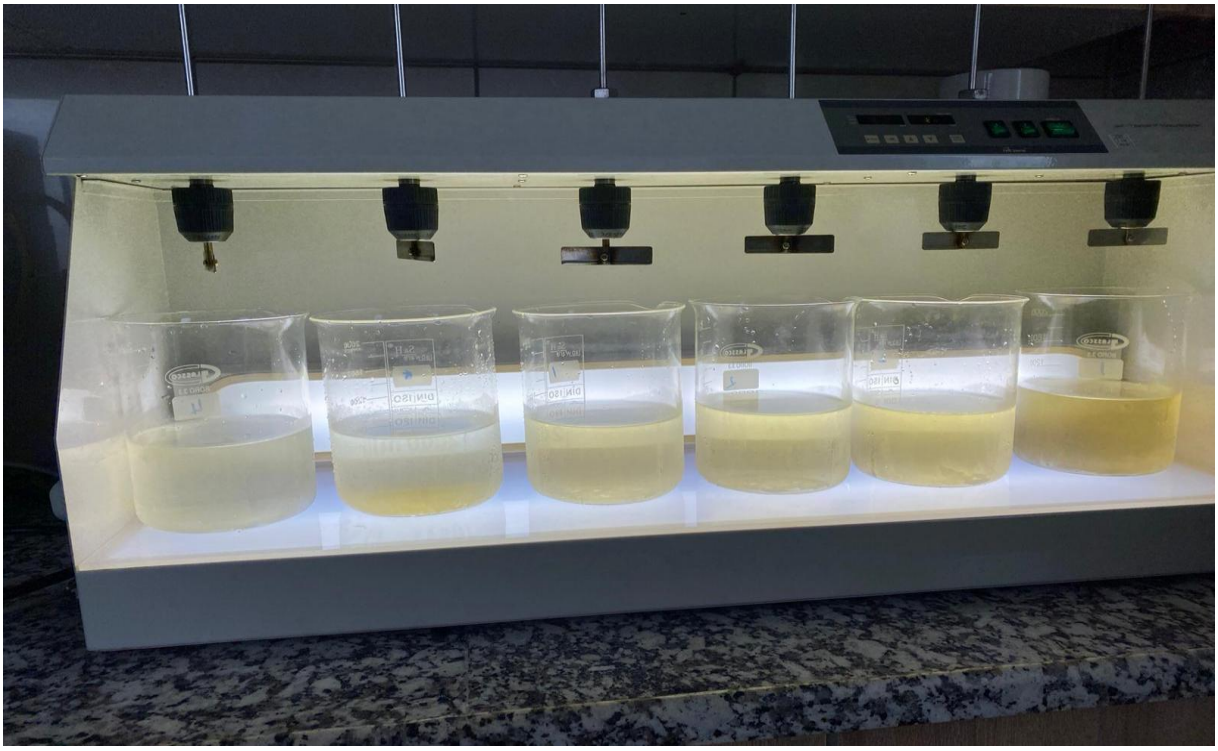
Demir ve mangan gideriminde optimum dozlamayı bulmak için ön çalışma olarak yardımcı koagülant polielektrolit 0.045 mg/L'e sabit tutuldu. Koagülant pac-s, alüminyum sülfat ve demir (III) klorür 0.01-0.06 mg/L aralığında kullanılarak oksitleyici ilavesi olmadan deneyler yapıldı ancak yapılan deneylerin sonuç vermediği

görüldü. Sonrasında yardımcı koagülant polielektrolit 0.045 mg/L'e sabit tutuldu ve koagülant pac-s, alüminyum sülfat ve demir (III) klorür 0.01-0.06 mg/L aralığında, oksitleyiciler klor ve hipokloröz asit 0.01 – 0,06 mg/L aralığında dozlamalar yapıldı.

Deney başlangıcında ham suda çözünmüş oksijen, iletkenlik, pH, bulanıklık ve demir-mangan analizleri yapılmıştır. Dereceli sürahiyle ayrı ayrı beherlere alınan 3 litrelik ham suyun pH'ı sırasıyla 3, 7 ve 11'e ayarlanmıştır. Ham suyun pH'ını ayarlamada sülfürik asit (H2SO4) ve kostik (NAOH) kullanılmıştır. 0.0888 g FeSO4.7H2O ve 0.04614 g MnSO4.H2O tartım kabı ile hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. pH ayarlamaları yapılmış olan ham suya eklenmiş ve karıştırılarak ham su içinde iyice çözünmesi sağlanmıştır. Çözünme işleminden uygulanan analiz sonrasında ham sudaki demir ve mangan değerleri sırasıyla 5,75 ve 5,95 mg/L olarak bulunmuştur. İki ayrı dokuzlu deney seti uygulanmıştır. Jar testi öncesi demir, mangan ve pH ayarlamaları yapılmış olan ham sular, 1 litrelik beherlere ayrılmıştır. Bu işlem sonrası pH değeri 3 olan 1 litrelik 3 farklı beher, pH değeri 7 olan 1 litrelik 3 farklı değer ve pH değeri 11 olan 1 litrelik 3 farklı beher toplamı dokuzlu deney seti oluşmuştur. İlk deney setinde ham su, hipokloröz; 0,03, 0,05 ve 0,07 mg değerlerinde, hızları; 100, 160 ve 220 rpm, süreleri; 15, 120 ve 360 dakika olan şartlar altında jar testine tabi tutulmuştur. Jar testi bitiminde arıtılmış olan sular filtre kâğıdı kullanılarak süzülmüştür. Arıtılmış ve süzülmüş olan sularda sırasıyla bulanıklık, demir ve mangan analizleri yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen demir ve mangan miktarları kullanılarak giderim verimleri hesaplanmıştır.

Taguchi metodu kullanılarak hazırlanmış olan dokuzlu set sonucu elde edilen en iyi sonuç 5. deneyde gözlemlenmiştir. Taguchi metodu ortogonal dizini kullanılarak doğrulama deneyi kriterleri belirlenmiştir. Doğrulama deneyi kriterleri; pH 11, süre 342 dakika, hız 220 rpm ve hipokloröz 0,0035 mg/L şeklindedir. Ham suya doğrulama deneyi ve en iyi sonuç veren 5. Deney; pH 11, süre 120 dakika, hız 100 rpm ve hipokloröz 0,07 mg/L kriterleri uygulanarak jar testine tabi tutulduktan sonra arıtılmış olan sulardan ayrı ayrı 1 litre alınarak Imhoff hunilerine konularak çamur analizi yapılmıştır. Yarım saat beklenerek suyun içindeki çamurun çökmesi sağlanmıştır. Bekleme süresi bitiminde çöken çamurun huni üzerindeki değeri okunarak çamur

miktarı yüzdelik olarak hesaplanmıştır. Deneylerin bitiminde kullanılan tüm düzenekler temizlenerek bir sonraki deneye hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 3.7. Jar Testi Düzeneği

3.4. Deneysel Tasarım Yöntemi

Firmaların birbirleri üzerinde üstünlük kurabilmeleri için en az maliyetle hizmet ve ürün kalitesini sağlaması gerekmektedir (Gülmez, 2022). Demir ve mangan giderimin de klasik deney tasarımı yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi yüksek maliyet ve uzun zaman almaktadır. Dolayısıyla demir ve mangan giderimi için deney tasarım teknikleri kullanılması maliyeti azaltan, güvenilirliği kuvvetlendiren, kalite artırımı sağlayan ve aynı zamanda istatistiksel bir yaklaşımdır (Savaşkan, 2004).

3.4.1. Taguchi Metodu

1950'lerde Japonya'da Genichi Taguchi'nin hizmet optimizasyonu, süreç ve ürün için geliştirmiş olduğu bir eniyileme yöntemidir (Yıldırım, 2012). Taguchi'nin yapmış

olduğu araştırma ve çalışmalar Japonca olması nedeniyle yapılan çalışmalar öncelikle Çinceye ardından İngilizceye çevrilerek kaynak olması sebebiyle yaygınlaşması vakit almıştır (Gülmez, 2022).

Genichi Taguchi'nin istatiksel metotlar ve mühendislik sorunlarını birleştirmesiyle ortaya çıkan bir metottur (Kumsal, 1994). Taguchi metodu, son zamanlarda biyoteknoloji, mühendislik, reklamcılık ve pazarlama alanlarında da uygulanmaya başlanmıştır. Bu metot, en iyi ürün kalitesini elde etmek ve bu sürecin hatasız gerçekleşmesi için sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı prosedürlerini içerir (Karna, 2012).

Sistem Tasarımı: Proses yeniliği ve yeni ürün geliştirilmesidir.

Parametre Tasarımı: Kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği üründeki ve prosesteki değişiklikler için kontrol edilebilen faktörlerin en iyi seviyeleri seçilerek bu değişiklikleri en aza indirmektir.

Tolerans Tasarım: Parametre tasarımında elde edilen nominal değerlerin kabul edilebilir değişkenlik aralığının belirlenmesidir (Olgun, 2013).

En iyi ürün kalitesine ulaşabilmek için çeşitli parametrelerin ürünler üzerindeki etkisini belirlemek için birçok seviyesinin incelenmesi gerekmektedir. Bu deneysel çalışmalar içinde zaman ve maliyet gerekmektedir. Taguchi metodu; kaliteli bir ürün oluşturabilmek için ortogonal dizi tablosu sayesinde doğru kombinasyonlarla optimum parametre seviyelerini belirleyerek oldukça az deneysel çalışmalar ortaya koyarak maliyeti düşürmektedir (Çelik, 2011; Yıldırım, 2012; Pınar,2010).

Optimum faktör seviyelerinin az deney sayısıyla elde edilebilmesi bu metodunun kullanılmasını avantajlı kılmaktadır. Taguchi metodunun uygulama adımları şu şekildedir:

1. Faktör ve bunlara ait etkileşimlerin belirlenmesi,
2. Her bir faktörün seviyelerinin belirlenmesi,
3. Uygun ortogonal dizinin seçimi,
4. Seçilen ortogonal matrise faktör ve etkileşimlerin atanması,

5. Deneylerin planlandığı şekilde yapılması,
6. Verilerin analizi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması,

Bu sıralama uygulandığında ürün veya proses kalitesinden en fazla verim alınacak şekilde deney düzeneği belirlenebilecek, deney düzeneğinde kullanılacak parametrelerin ürün veya proses üzerindeki etkisi üzerinde tahmin yürütülebilecek ve kalite değeri üzerinde fikir sahibi olunabilecektir (Durmaz, 2008; Çelik, 2011).

Özetle Taguchi metodu; proses veya ürünü farklı parametrelerin farklı seviyelerinde birbirinden farklı koşullarda proses veya ürün üzerindeki etkisini belirlemek için uygun deney tasarımlarını oluşturan ve çözümlemelerini yapan bir istatistik dalıdır (Durmaz, 2008).

3.4.2. Varyans Analizi

Varyans analizi (ANOVA); 1920'lerde R.A Fisher tarafından geliştirilmiştir (Tekindal, 1998). İki veya daha fazla grup ortalamasının karşılaştırmak için kullanılabilecek tekniklerden birisidir. Bu teknik, grup ortalamalarının karşılaştırılmasına olanak sağladığı gibi varyans unsurlarının tahmin edilmesini de sağlar (Genç ve diğ., 2012). Bu teknikte bağımsız değişkene "faktör", bağımsız değişken değerlerine ise "faktör düzeyleri" denir. Varyans analizi bir veya birden fazla faktörlü olabilir. Bunun nedeni ise faktörlerin değişik düzeylerinin bağımlı değişken üzerinde oluşturduğu etki derecelerini ortaya çıkarmaktır (Tekindal, 1998).

Varyans analizinde beklenilen faydalanın gerçekleşmesi için çalışılan veri gruplarında belli başlı ön şartlar sağlanmalıdır (Genç ve diğ., 2012).

Bu ön şartlar şu şekildedir:

- Farklı gruplardaki verilerin varyanslarının homojen olması,
- Verilerin normal bir dağılım göstermesi,
- İki veya daha fazla faktör içeren denemelerde faktör etkilerinin eklemeli olması,
- Farklı gruplarda bulunan deney ünitelerinin birbirinden farklı olmasıdır.

Verilere bu ön şartları gerçekleştirdiği takdirde varyans analizi tekniği uygulanabilir. Ön şartların en az birinin veya birden fazlasının gerçekleşmediği durumlarda bu teknik uygulanamaz. Böyle durumlarda verilere farklı bir istatistik analiz tekniği uygulanır. Uygun bir analiz tekniği düşünülemediği durumlarda ise veriler değerlendirilemez. Başlangıçta belirlenen hata ihtimalini değiştirmeyecek olan analiz tekniği en uygun tekniktir. Yanlış seçilmiş analiz tekniği doğru sonuçlar vermez ve araştırmacının yanlış yorumlama yapmasına neden olur (Tekindal, 1998).

Varyans analizinde; bağımlı değişkenin toplam varyansı, grup içi varyans, gruplar arası varyans gibi kavramlardan faydalanılır (Tekindal, 1998).

3.4.3. Cevap Yüzey Yöntemi

Cevap yüzey yöntemi, 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. İlk olarak kimya endüstrisinde uygulanmıştır. Bu yöntem; yeni bir ürünün formülasyonunda, mevcut ürünün tasarımının iyileştirilmesinde, süreç optimizasyonunda ve süreç geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Güvercin ve Yıldız, 2018).

Cevap yüzey yöntemi, istenen cevabın farklı değişkenlerden etkilendiği ve cevabın optimizasyonunun hedeflendiği çalışmalarda modelleme ve analizleme için kullanılan bir yöntemdir (Bilen ve diğ., 2018).

Bu yöntem hem laboratuvar hem de endüstriyel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. İstatistiksel ve matematiksel verileri beraber kullanan bir algoritmaya sahiptir. Son yıllarda literatür çalışmalarında deney koşullarının optimizasyonunda sıkça kullanılan bir yöntemdir. (Şahan ve Yılmaz, 2017).

Çevre mühendisliği uygulamalarında sulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasını incelemek için güvenilir olan ve kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, bir veya birden çok seçilmiş kıstasa göre ölçülmüş bağımlı değişkenler ve kontrollü deneysel bağımsız faktörler arasındaki ilişkinin bulunmasında kullanılan bir grup deneysel tekniği içermektedir. Prosesin optimizasyonunda kullanılan etkili bir yöntem olan cevap yüzey yönteminde, en küçük kareler yöntemine uyan merkezi bileşik tasarımı gibi deneysel tasarımlar kullanılır (Bilen ve diğ., 2018).

En fazla tercih edilen yöntem olan merkezi bileşik tasarımı önemli bir optimizasyon basamağıdır. Merkezi bileşik tasarımı ile daha güvenilir ve daha fazla istatistiksel bilgiler elde edilebilir. Bu metot geleneksel yöntemlere göre daha avantajlıdır (Şahan ve Yılmaz, 2017).

3.5. Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi Demir ve Mangan Arıtımında Deneysel Tasarım

Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisinde demir ve mangan giderimi için uygulanan deneysel çalışmalar "Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi" ile tasarlanmış, yapılan çalışma neticesinde ortaya çıkan deney sonuçları "Design Expert 10.0.4" yazılımı kullanılarak "Cevap Yüzey Metodu" (response surface methodology) ile analizleri yapılmıştır. Tablo 3.3. ve 3.4.'de verilen 4 farklı parametrenin 3 seviyesi için tablo 3.5. ve 3.6.'daki Taguchi ortogonal dizilim ile yapılan deneysel tasarım uygulanmıştır.

Tablo 3.3.'de pac-s:0,04 mg/L, polielektrolit:0.045 mg/L sabit tutularak "Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi" ile 4 parametre seçilmiştir. Sürenin tesis üretim süresi de göz önünde bulundurularak 15, 120 ve 360 dk., yapılacak olan arıtım için pH'ın asidik, bazik ve nötr ortamlardaki reaksiyonunu görebilmek için 3,7 ve 10 pH, hızın 100, 160 ve 220 rpm ve ön çalışmada yapılan analizler sonucunda hipoklorözün klordan daha hızlı ve daha fazla giderim sağlaması sebebiyle hipokloröz konsantrasyonlarını önce düşük 0.03, 0.05 ve 0,07 mg/L daha sonra yüksek aralıkta 0.07, 0.10 ve 0,13 mg/L aralığında çalışılmıştır.

Tablo 3.3. Düşük aralıktaki Hipokloröz için Taguchi L9 (34) deney tasarımı parametre ve seviyeleri

Giriş Değişkeni	Parametre	Birimi	Deneysel Tasarım Seviyeleri		
			Düşük	Orta	Yüksek
A	pH	-	3	7	11
B	Zaman	Dakika	15	120	360
C	Hız	rpm	100	160	220
D	Hipokloröz	mg/L	0.03	0.05	0.07

Tablo 3.4.'de düzeneğinde pac-s:0,06 mg/L, polielektrolit:0.090 mg/L yine Taguchi metodu kullanılarak pH, zaman ve hız parametreleri tablo 3.4.'deki gibi aynı aralıkta tutulup hipokloröz konsantrasyon değerleri 0.07, 0.10 ve 0,13 mg/L olarak çalışılmıştır.

Tablo 3.4. Yüksek aralıktaki Hipokloröz için Taguchi L9 (3^4) deney tasarımı parametre ve seviyeleri

Giriş Değişkeni	Parametre	Birimi	Deneysel Tasarım Seviyeleri		
			Düşük	Orta	Yüksek
A	pH	-	3	7	11
B	Zaman	Dakika	15	120	360
C	Hız	rpm	100	160	220
D	Hipokloröz	mg/L	0.07	0.10	0.13

Demir ve mangan giderimi için Taguchi tasarım metodu kullanılarak 4 farklı parametrede 3 farklı seviye kullanılmış ve 9 deneylik bir deney seti oluşturulmuştur. Tablo 3.5.'de, içme sularından demir ve mangan giderimi laboratuvar çalışmaları için hazırlanan Taguchi deneysel tasarım tablosunu göstermektedir.

Tablo 3.5. Düşük aralıktaki hipokloröz için Demir ve mangan giderimi için ortogonal dizin tasarımına karşılık gelen Taguchi deneysel tasarım tablosu

DENEY NO	A pH	B Zaman(dk.)	C Hız(rpm)	D Hipokloröz(mg/L)
1	7	360	100	0.05
2	11	360	160	0.03
3	3	360	220	0.07
4	7	120	220	0.03
5	11	120	100	0.07
6	3	15	100	0.03
7	3	120	160	0.05
8	7	15	160	0.07
9	11	15	220	0.05

Tablo 3.6. Yüksek aralıktaki hipokloröz için Demir ve mangan giderimi için ortogonal dizin tasarımına karşılık gelen Taguchi deneysel tasarım tablosu

DENEY NO	A pH	B Zaman(dk.)	C Hız(rpm)	D Hipokloröz(mg /L)
1	3	360	220	0,13
2	3	15	100	0,07
3	11	15	220	0,10
4	7	15	160	0,13
5	11	360	160	0,07
6	7	360	100	0,10
7	3	120	160	0,10
8	7	120	220	0,07
9	11	120	100	0,13

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Ön Çalışmalar

Bu çalışmanın tamamında demir ve mangan gideriminde kullanılan kimyasallar sırasıyla; polielektrolit, yardımcı koagülantlar (pac-s, alüminyum sülfat ve demir (III) klorür) ve dezenfektanlar (klorür ve hipokloröz) dır. Polielektrolit bütün deneylerde sabit konsantrasyonda (0,045 mg/L) kullanılmıştır.

Yapılan iki ön çalışmalar

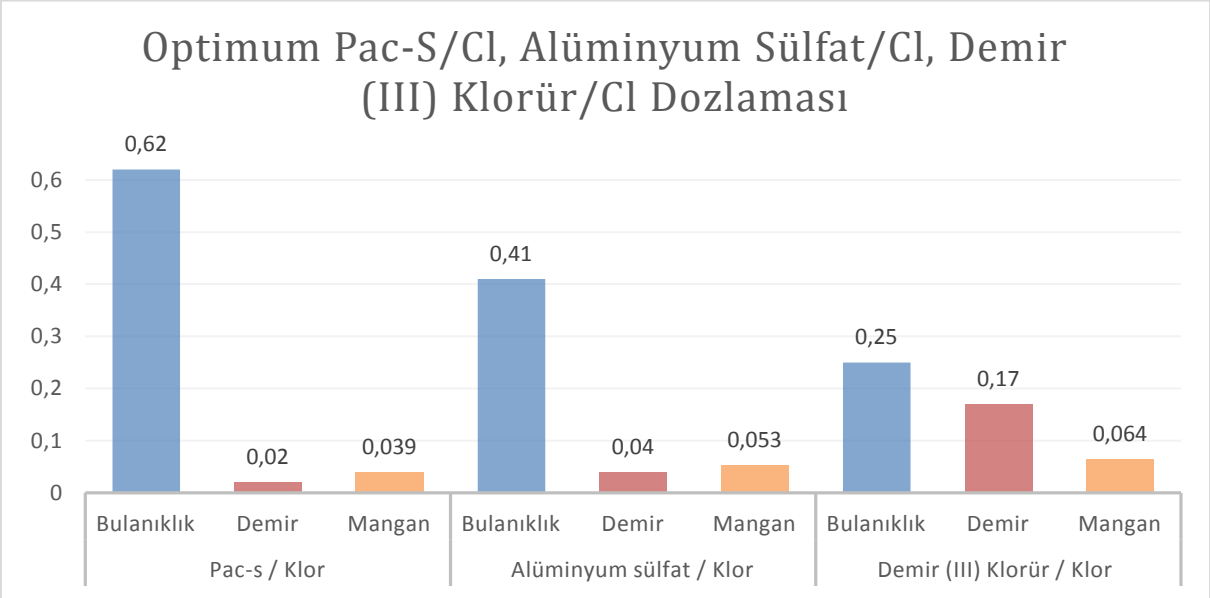
1. Polielektrolit: 0.045 mg/L, yardımcı koagülantlar: pac-s, alüminyum sülfat ve demir (III) klorür (0.01-0.06 mg/L) aralığında dozlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonucu pac-s = 0.04 mg/L, alüminyum sülfat = 0.03 mg/L ve demir (III) klorür = 0.02 mg/L vermiştir.
2. Polielektrolit: 0.045 mg/L olacak şekilde sırasıyla pac-s = 0.04 mg/L, alüminyum sülfat = 0.03 mg/L ve demir (III) klorür = 0.02 mg/L için optimum klor dozlarının belirlenmesi için 0.01-0.06 mg/L aralığında klor ilave ederek deneyler yürütülmüştür.

Tablo 4.1. Pac-s/Cl, alüminyum sülfat/Cl, demir (III) klorür/Cl Optimum Dozlarının Belirlenmesi (Polielektrolit: 0.045 mg/L)

	Pac-s /Cl (Pac-s 0.04 mg/L)	Alüminyum sülfat / Cl (Alüminyum sülfat 0.03 mg/L)	Demir (III) klorür / Cl (Demir (III) klorür 0.02 mg/L)
Dozlama	Cl (mg/L)	Cl (mg/L)	Cl (mg/L)
1.Doz	0.01 mg /L	0.01 mg /L	0.01 mg /L
2.Doz	**0.02 mg /L**	0.02 mg /L	**0.02 mg /L**
3.Doz	0.03 mg /L	**0.03 mg /L**	0.03 mg /L
4.Doz	0.04 mg /L	0.04 mg /L	0.04 mg /L
5.Doz	0.05 mg /L	0.05 mg /L	0.05 mg /L
6.Doz	0.06 mg /L	0.06 mg /L	0.06 mg /L

Tablo 4.1.'de yapılan dozlamalardan en iyi sonucu veren pac-s/klor için 2.dozlama, alüminyum sülfat/klor için 3.dozlama, demir (III) klorür/klor için ise 2.dozlama olarak bulunmuştur. Pac-s ile yürütülen deneyde klor 0.02 mg/L, alüminyum sülfat ile yürütülen

deneyde 0.03 mg/L ve demir (III) klorürde ise 0.02 mg/L ile en iyi giderim verimleri elde edilmiştir. Bu şartlarda yürütülen deneyler sonrasında elde edilen bulanıklık, demir ve mangan değerleri Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. 0.045 Mg/L Polielektrolit İlavesi ile Optimum Pac-S/Cl, Alüminyum Sülfat/Cl, Demir (III) Klorür/Cl Dozlarında Bulanıklık, Demir ve Mangan Çıkış Değerleri

Şekil 4.1.'de verilen demir, mangan ve bulanıklık değerleri İTASHY belirtilen bulanıklık 1NTU, mangan 0,050 mg/L ve demir 0,200 mg/L değerini yalnızca pac-s: parametre içinde (bulanıklık 0,62 mg/L, demir 0,02 mg/L ve mangan 0,039 mg/L) yönetmelikte verilen sınır değerleri sağladığı görülmüştür.

3. Polielektrolit: 0.045 mg/L olacak şekilde sırasıyla pac-s = 0.04 mg/L, alüminyum sülfat = 0.03 mg/L ve demir (III) klorür = 0.02 mg/L için optimum hipokloröz dozlarının belirlenmesi için 0.01-0.06 mg/L aralığında hipokloröz ilave edilerek deneyler yürütülmüştür.

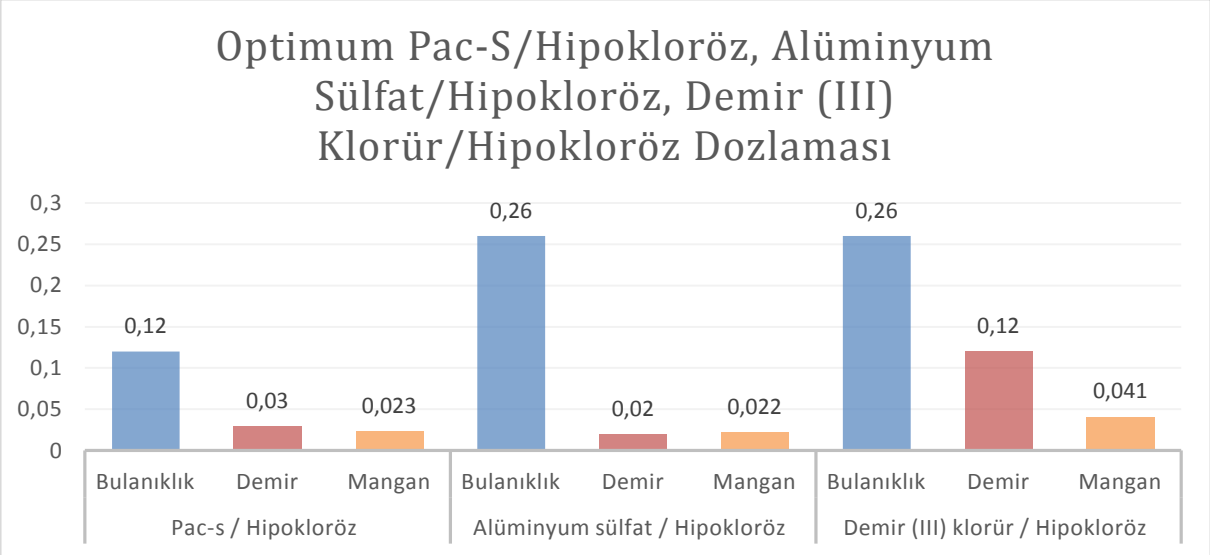
Tablo 4.2.Pac-s/hipokloröz, alüminyum sülfat/ hipokloröz, demir (III) klorür/ hipokloröz Optimum Dozlarının Belirlenmesi (Polielektrolit: 0.045 mg/L)

Dozlama	Pac-s/hipokloröz (Pac-s: 0,04 mg/L) Hipokloröz (mg/L)	Alüminyum sülfat/hipokloröz Alüminyum sülfat: 0,03 mg/L Hipokloröz (mg/L)	Demir (III) klorür/hipokloröz Demir (III) klorür: 0,02 mg/L Hipokloröz (mg/L)

Tablo 4.2. (Devam) Pac-s/hipokloröz, alüminyum sülfat/ hipokloröz, demir (III) klorür/ hipokloröz Optimum Dozlarının Belirlenmesi (Polielektrolit: 0.045 mg/L)

1.Doz	0.01 mg /L	**0.01 mg /L**	0.01 mg /L
2.Doz	0.02 mg /L	0.02 mg /L	0.02 mg /L
3.Doz	**0.03 mg /L**	0.03 mg /L	**0.03 mg /L**
4.Doz	0.04 mg /L	0.04 mg /L	0.04 mg /L
5.Doz	0.05 mg /L	0.05 mg /L	0.05 mg /L
6.Doz	0.06 mg /L	0.06 mg /L	0.06 mg /L

Tablo 4.2.'de yapılan dozlamalardan en iyi sonucu veren pac-s/hipokloröz için 3.dozlama, alüminyum sülfat/hipokloröz için 1.dozlama, demir (III) klorür/hipokloröz için ise 3.dozlama olarak bulunmuştur. Pac-s ile yürütülen deneyde klor 0,03 mg/L, alüminyum sülfat ile yürütülen deneyde 0,01 mg/L ve demir (III) klorürde ise 0,03 mg/L ile en iyi giderim verimleri elde edilmiştir. Bu şartlarda yürütülen deneyler sonrasında elde edilen bulanıklık, demir ve mangan değerleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. 0.045 Mg/L Polielektrolit İlavesi ile Optimum Pac-S/Hipokloröz, Alüminyum Sülfat/Hipokloröz, Demir (III) Klorür/Hipokloröz Dozlarında Bulanıklık, Demir ve Mangan Çıkış Değerleri

Şekil 4.2.'de verilen demir, mangan ve bulanıklık değerleri İTASHY belirtilen bulanıklık 1 NTU, mangan 0,050 mg/L ve demir 0,200 mg/L değerini pac-s: 0,04 mg/L, hipokloröz: 0,03 mg/L ve polielektrolit 0,045 mg/L ve değerini alüminyum sülfat: 0,03

mg/L, hipokloröz: 0,01 mg/L ve polielektrolit: 0,045 mg/L dozlama yapıldığında 3 parametre içinde yönetmelikte verilen sınır değerleri sağladığı görülmüştür.

4.2. Diğer Analiz Sonuçlar

Demir, mangan ve bulanıklık parametrelerinin koagülasyon-flokülasyon ile giderimi için yapılan ön çalışmalar sonucunda oksitleyeci klor ve hipokloröz, koagülant pac-s, alüminyum sülfat, demir (III) klorür ve polielektrolitten en iyi sonuç verenlerin oksitleyici olarak hipokloröz, koagülant olarak pac-s (0.04 mg/L) ve polielektrolitin (0.045 mg/L) olduğu görüşmüştür ve Taguchi deneysel tasarım planına göre yapılan deneylerin çıkış sularındaki demir ve mangan değerleri aşağıdaki Tablo 4.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Koagülasyon- flokülasyon ile arıtılmış suyun demir ve mangan değerleri

NO	A pH	B Zaman (dk.)	C Hız (rpm)	D Hipokloröz (mg/L)	Demir (mg/L)	Mangan (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
1	7	360	100	0.05	0.21	4	0.45
2	11	360	160	0.03	0.02	1.1	0.66
3	3	360	220	0.07	4.30	5.4	0.45
4	7	120	220	0.03	0.15	2.2	0.37
5	11	120	100	0.07	0.07	0.4	0.41
6	3	15	100	0.03	3.50	5	0.29
7	3	120	160	0.05	1.62	4.1	2.8
8	7	15	160	0.07	0.49	3.2	0.78
9	11	15	220	0.05	0.13	0.7	0.58

Demir, mangan ve bulanıklık giderimi için yapılan deneylerin sonucunda, arıtılmış su karakterizasyonu ve tüm parametrelerin giderim verimleri aşağıdaki Tablo 4.4. 'de gösterilmiştir. 9 deneyin her birinde deney başlamadan önce ham su demir konsantrasyonu 5,75 mg/L, mangan konsantrasyonu 5,95 mg/L hazırlanmıştır. Demir ve mangan konsantrasyonları hazırlanan ham suların pH 'ları kostik ve sülfürik asit ile

3,7 ve 11 olarak hazırlanmıştır. Demir, mangan ve bulanıklık giderim verimleri Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Koagülasyon- flokülasyon ile arıtılmış suyun bulanıklık, demir ve mangan % giderim verimleri

DENEY NO	Mangan Verim(%)	Demir Verim (%)	Bulanıklık Verim(%)
1	44	94	94
2	86	99	97
3	15	28	88
4	60	97	96
5	92	98	97
6	4	41	92
7	17	73	22
8	42	92	92
9	86	98	96

İki deney seti için elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde; mangan giderimi hariç demir ve bulanıklık parametrelerinde mevzuat limitlerine uygun olmakla beraber yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Söz konusu parametrelerdeki yüksek giderim verimleri sebebiyle ANOVA analizlerinde anlamlı bir model bulunamamıştır. Her deney setinde giderim verimlerinde yüksek değişiklik gösteren mangan parametresi giderim verimi için analiz gerçekleştirilmiş olup ANOVA sonuçları Tablo 4.5. 'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Koagülasyon- Flokülasyon ile Arıtılmış Suyun Bulanıklık, Demir ve Mangan Giderimi ANOVA Analizi

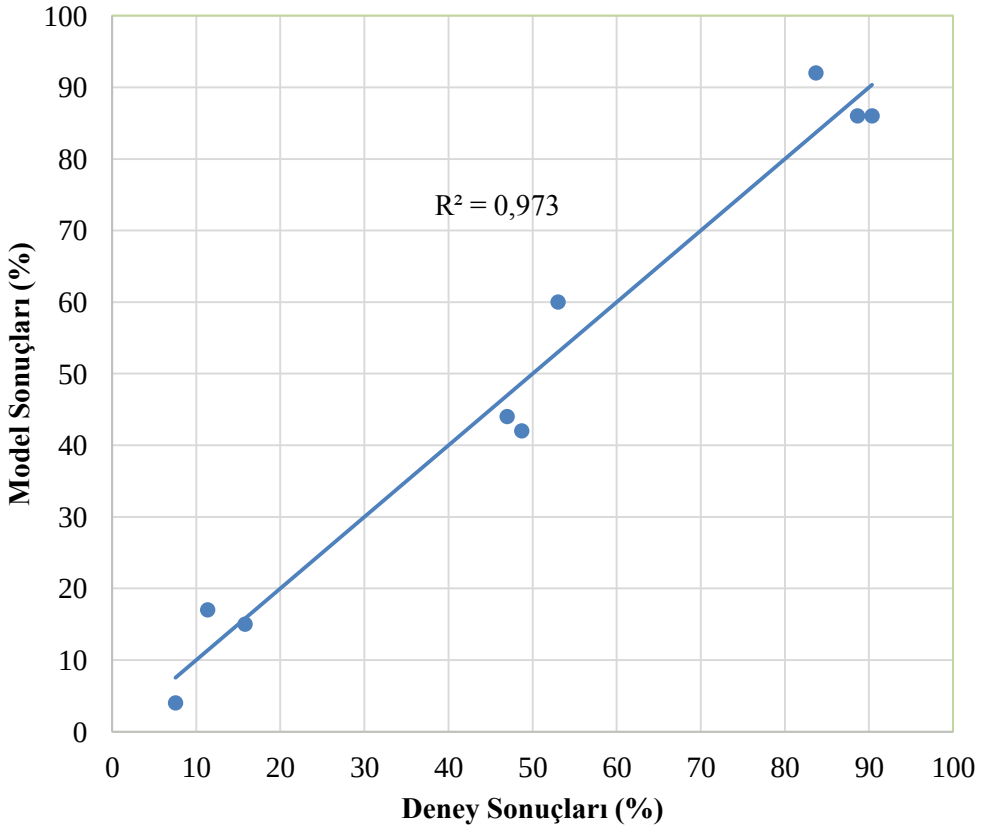
Mangan Giderimi	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**P-Değeri Prob>F**	**Etki**
Model	8741.70	4	2185.43	36.04	0.0021	Önemli
A: pH	8664.00	1	8664.00	142.90	0.0003	Önemli
B: Zaman	4.03	1	4.03	0.067	0.8092	-
C: Karıştırma Hızı	73.50	1	73.50	1.21	0.3327	-

Tablo 4.5. (Devam) Koagülasyon- Flokülasyon ile Arıtılmış Suyun Bulanıklık, Demir ve Mangan Giderimi ANOVA Analizi

D: Hipokloröz Kons.	0.17	1	0.17	2.749E-003	0.9607	-

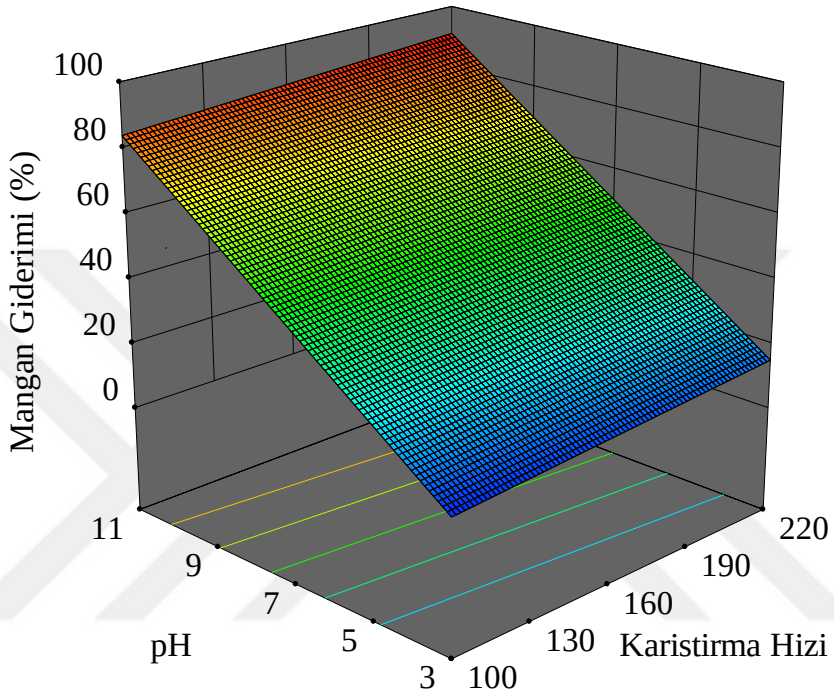
Mangan giderimi ANOVA analiz sonuçları değerlendirildiğinde: modelin F değeri 36,04; p-değeri<0,05 olarak bulunmuştur, p-değerinin<0,05 olması, model terimlerinin yanıtlar üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Model denklemi denklem 4.1. 'de verilmiştir Ayrıca modelden elde edilen yüksek R^2 (0,95) ve ayarlanmış R^2 (0,87) değerleri model ve deneysel sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir. Model ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon Şekil 4.3. 'de verilmiştir.

Mangan Giderimi (%) = -26,62610 + 9,5*pH + 4,63629*10^{-3}*Zaman + 0,058333*Karıştırma Hızı – 8,333* Hipokloröz Konsantrasyonu (4.1.)



Şekil 4.3. Cevap Yüzey Yöntemi Modeli ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Bağımsız değişkenlerin mangan giderim performansı üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, karıştırma hızı çok az da olsa mangan giderimi sağlanmıştır ve pH parametresinin mangan giderimi üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Ham suyun pH değeri arttıkça mangan gideriminin %90'ların üzerinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Koagülasyon- Flokülasyon ile Arıtılmış Suyun Bulanıklık, Demir ve Mangan Gideriminin Ph ve Karıştırma Hızı Bağımsız Değişkenlerinin Mangan Giderimi Üzerine Etkisi

Demir, mangan ve bulanıklık giderim performanslarının maksimum olması için yazılımdan elde edilen optimizasyon değerleri ve model tahminleri ile doğrulama deney sonuçları Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Model tahmin ve doğrulama deney sonuçları

Faktör	Optimum İşletme Şartları	Model Tahmin Değerleri			Doğrulama Deneyi Sonuçları		
		Demir Giderimi (%)	Mangan Giderimi (%)	Bulanıklık Giderimi (%)	Demir Giderimi (%)	Mangan Giderimi (%)	Bulanıklık Giderimi (%)
pH	11						
Zaman	342						
Karıştırma Hızı	220						
Hipokloröz Konsantrasyonu	0,035	99	92	99	99	85	97

Yazılımdan elde edilen optimum işletme şartları ile gerçekleştirilen doğrulama deneyleri neticesinde %95 güven aralığında model tahmin değerlerine çok yakın ve benzer değerler elde edilmiştir. Diğer taraftan modelin tahmin ettiği optimum şartlar ve giderim değerlerinin yanında 9'lu deney setinde 5 numaralı deney şartlarının demir, mangan ve bulanıklık gideriminde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle 5 nolu deney tekrar edilerek %90 mangan, %99 demir ve bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Söz konusu sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 4.7.' de verilmiştir.

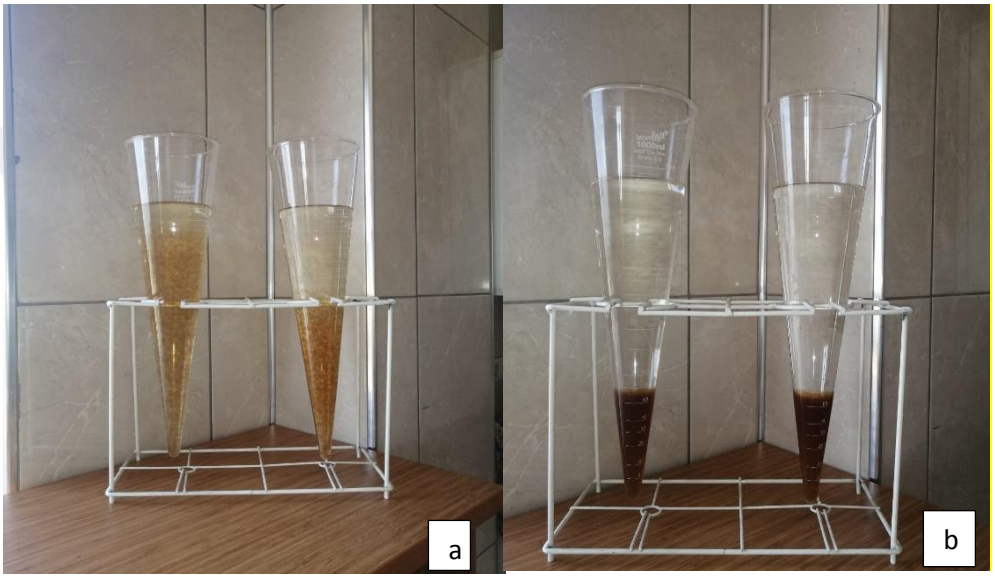
Tablo 4.7. Doğrulama deney sonuçları ve 5 nolu deney seti tekrar sonuçları karşılaştırması

Optimizasyon Deneyleri	pH	Süre (dk)	Hız (rpm)	Hipokloröz (mg/L)	Mangan Giderimi (%)	Demir Giderimi (%)	Bulanıklık Giderimi (%)	OLUŞAN ÇAMUR (%)
5 Nolu Deney	11	120	100	0,07	90	99	99	6
5 Nolu Deney 2. Tekrar	11	120	100	0.07	90	99	98	6
Doğrulama Deneyi	11	342	220	0,035	85	99	96	8
Doğrulama Deneyi 2. Tekrar	11	342	220	0,035	85	99	98	8

Sonuç olarak Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi koagülasyon-flokülasyon prosesinde demir, mangan ve bulanıklık giderimi optimizasyonu neticesinde pH:11, Süre:120 dk, Karıştırma hızı:100 ve Hipokloröz konsantrasyonu: 0,07 olmak üzere %99 demir ve bulanıklık, %92 mangan giderimi elde edilmiştir.

4.3. Çamur Deneyleri

Taguchi metodu ile belirlenmiş olan doğrulama deney şartları; pH 11, reaksiyon süresi 342.41, karıştırma hızı 219,94 ve hipokloröz dozaj miktarı 0.035 mg/L ve 9'lu deney en iyi sonuç veren deney şartları pH 11, reaksiyon süresi 120, karıştırma hızı 100 ve hipokloröz dozaj miktarı 0,07 mg/L uygulanarak yapılan deneylerde Imhoff hunisi kullanılarak çamur analizi yapılmıştır. Arıtılmış su, iki farklı huniye konularak suyun içindeki çamurun çökmesi için yarım saat bekletilmiştir.



Şekil 4.5. (a) Arıtılmış suyun ilk hali, (b) Arıtılmış suyun yarım saat sonraki hali

Bekleme süresi sonunda elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşan çamur yüzdesi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.8. Demir ve mangan giderimi için ortogonal dizin tasarımı sonucunda oluşan çamur yüzdeleri

	pH	Süre (dk.)	Hız (rpm)	Hipokloröz mg/L	OLUŞAN ÇAMUR (%)
1	11	120	100	0.07	6
2	11	120	100	0.07	6
3	11	342	220	0.035	8
4	11	342	220	0.035	8

4.4. Performans Değerlendirmesi ve Yapılacak İyileştirmeler

Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi ham su kaynağı olarak Çataldağ Göletinden dip savaktan temin edilmektedir. Çataldağ Göleti' nin yapısı, etrafında yapılan tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile havzanın jeolojik ve jeopolitik yapısı, mevsimsel olarak değişim gösteren su miktarı ve kalitesi değişim göstermektedir. Suyun yağışlar sonrasında ve suyun çekilmeye başladığı zamanlarda yüksek konsantrasyona sahip su tesise alınmaktadır. Alınan ham suyun özellikle temmuz ayından itibaren başlayan ve eylül ayına kadar devam eden süreçte mangan değerleri 4,5 mg/L'yi bulurken özellikler ağustos ve eylül aylarında demirinde 5,5 mg/L ve üzerinde ham su gelmesi tesis çıkış suyunun "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te belirtilen sınır değerlerinin (Fe= 0,200 mg/L, Mn= 0,050 mg/L) zaman zaman sağlanamaması durumunda tesisten şebekeye su verilmesi durdurulmaktadır. Bu durumda şehir merkezinde insanların susuz kalmasına sebep olmaktadır. Standartları sağlanmayan su şebekeye verildiğinde ise ilçe genelinde çamaşırlarda, duşa kabinlerde lekeler oluşmasına, plastik endüstrisi, kâğıt endüstrisi, meşrubat endüstrisi vb. endüstrilerde kullanılmasıyla renk, tat ve görüntüde değişikliklere neden olması ve insan sağlığı üzerinde olumsuzluklar oluşturmasıyla şikayetlere de neden olmaktadır.

Kış aylarında ham su kalitesi standartlarda istenen değerlere çok yakın kalite de olsa yaz aylarında ham su kalitesi düşmektedir. Yaz aylarında yaşanan demir ve mangan problemi, tesise ham su girmesi ve tesisten suyun çıkması arasında geçen zamanın 17 dakika gibi kısa bir zaman olması sebebiyle kimyasalların etkileşim süresi ve bekletme süresi uygun arıtım için yetersiz kalmaktadır.

Alınan ham su 4 üniteye ayrılırken arkalarında otomatik bir vana olmadığı için kaskatlardan dökülen suyun miktarı gözlemleyerek ayarlanmaktadır. Bu durumda durultucu tanklarına ve ardından filtrasyon tanklarına gelen suyun eşit miktarda dağıtılamamasına neden olmaktadır.

Arıtma tesisinden şebekeye su verilmesinin yanında belirli köylere su verilmektedir. Dolayısıyla tesis çıkışındaki klor seviyesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ancak iletim hattında ve kimi kontrol noktalarında klor çıkmaması sebebiyle ara klorlamalar yapılmak zorunda kalınmaktadır.

İçme ve kullanma suyunun, sağlıklı ve güvenilir şekilde son tüketiciye kadar ulaşabilmesi için, tüm içme suyu kaynaklarından gelen kirleticilerin doğru tespit edilmesi, tespit edilen kirletici miktarları göz önüne alınarak uygun arıtma yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen nedenler ve deneysel çalışma sırasında elde edilen göstermiştir ki; içme ve kullanma suyu olarak Çataldağ Gölet'inden temin edilen ham suyun "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te belirtilen sınır değerlerine uygun olacak şekilde arıtımı yapıldıktan sonra şebeke suyu olarak kullanılması için Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi' nde bazı iyileştirmelere gidilmesi gerekmektedir.

Öncelikle ham su temin etmek için gölette bulunan dip savaklar yerine dubalı bir sitem tercih edilmeli ve ham su gölet yüzeyinden alınarak hem dipte oluşan sedimentlerin ve ayrıca çöken ağır metallerin içme suyu arıtma tesisi girişine ulaşması engellenmelidir. Bu sayede de bulanıklık, demir ve mangan giriş değerlerinin düşmesi sağlanmış olacaktır. Tesise cazibesiyle gelen ham suyun tesise direk alınmadan önce, baraj ve tesis arasında depoda ön klorlama yapılarak çöktürülmesi gerekmektedir. Tesise gelen ham suyun yılın belirli aylarında 10°C' nin altına düşmesinden dolayı tek bir statik mikserin kimyasalları etkili bir şekilde karıştıramadığı bu nedenle de ilave statik mikser eklenerek temas süresinin 1 sa- 5 sa aralığında olması kimyasalların etkisinin artmasını sağlayacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İçme ve kullanma suyu olarak tercih edilen Çataldağ Gölet'inden temin edilen ham suyun "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te belirtilen sınır değerlerine uygun olacak şekilde arıtımı yapıldıktan sonra şebeke suyu olarak kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisinin ham suyun tesise alınması aşamasından başlayarak, tesisin genel özellikleri, tesiste kullanılan üniteler, tesiste yapılan günlük analiz değerleri incelenmiştir.

2021 yılında günlük olarak yapılan ham su ve arıtılmış su analiz değerleri (pH, sıcaklık (^{0}C), çözünmüş oksijen (mg/L), klorür (mg/L), sülfat (mg/L), amonyum azotu (mg/L), toplam çözünmüş katı (mg/L), demir (mg/L), mangan (mg/L), alüminyum(mg/L)) baz alınmıştır. Laboratuvar ortamında koagülant olarak $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve Pac-s (poli alüminyum klorür sülfat); koagülant yardımcıları olarak anyonik polielektrolit ve oksitleme reaktifi olarak hipokloröz ve klor kullanılmıştır ve bu dozlamaların verimleri incelenmiştir.

İçme sularındaki demir, mangan ve bulanıklık giderimin de konvansiyonel ve yeni nesil teknolojiler olmak üzere birçok arıtım yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan demir 5,75 mg/L ve mangan 5,95 mg/L değerlerinde hazırlanan ham suyun koagülasyon-flokülasyon ile giderim performansı analiz edilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan 2 tane 9'lu deney ve 1 doğrulama deneyi sonuçları; pH değeri ve süre arttıkça demir, mangan ve bulanıklık gideriminin arttığını göstermiştir. Hipokloröz dozaj miktarının artışının demir ve mangan giderimine doğrudan bir etkisi olmadığı tespit edilmiş olup maliyet de göz önünde bulundurularak, hipokloröz dozaj miktarları (0.03, 0.05, 0,07 mg/L) olarak seçilmiştir. Deney değişkenlerinden bir diğeri olan reaksiyon hızının artışı da demir, mangan ve bulanıklık giderimini arttırmıştır.

Sonuç olarak; içme sularındaki demir ve mangan giderimin de koagülasyon-flokülasyon ile gideriminde optimum deney şartları; pH 11, reaksiyon süresi 342.41, karıştırma hızı 219,94 ve hipokloröz dozaj miktarı 0.035 mg/L olarak belirlenmiş ve bu koşullarda demir giderimi %99, mangan giderimi %85 ve bulanıklık giderimi %98 giderim verimi elde edilmiştir.

Doğrulama deneyinin yanında en iyi verim veren 9 deneyden 5.si de tekrarlanmış olup pH 11, reaksiyon süresi 120, karıştırma hızı 100 ve hipokloröz dozaj miktarı 0,07 mg/L olarak belirlenmiş ve bu koşullarda demir giderimi %99, mangan giderimi %90 ve bulanıklık giderimi %99 giderim verimi elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Acı G. (2011). Sızıntı Sularının Membran Proseslerle Arıtılabilirliği: Odayeri Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 297025.

Akarçay Demir S. (2019). İçme Sularından Demir Ve Mangan Gideriminde Farklı Membranların Kullanılması Ve Membranların Kirlenme Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 578761.

Akdağlı M., Arslan S., Ters Osmoz İleri Arıtma Sistemleri İle Çok Amaçlı Su Arıtımında Proses Tasarımı, Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2008.

Akgiray Ö. İçme Sularında Demir Ve Manganez Problemi, *Tesisat Dergisi*, 2003.

Akgiray Ö. İçme Sularında Demir Ve Manganez Problemi. *Tesisat Dergisi*, Ağustos 2003.

Aksu H. (2019). Türkiye'de İçme Suyu Arıtımında Membran Uygulamaları Ve Uygulama Aşamasında Karşılaşılan İşletme Problemleri. Uzmanlık Tezi, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Al-Hassan H.H.A. (2020). Analysis Of Water Quality Characteristics At A Water Purification Facility. Master's Thesis, Bahcesehir University, Graduate School Master Of Industrial Engineering, Istanbul.

Albayrak Gümüş Ş. (2009). Fe(II)'Nin Atmosferik Oksijenle Oksidasyonuna SO4 = , NO3ͦ Ve Humik Maddelerin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 44455.

Alemdar, S., Kahraman, T., Ağaoğlu, S., Alişarlı, M. (2009). Bitlis İli İçme Sularının Bazı Mikrobiyolojik Ve Fizikokimyasal Özellikleri. *Ekoloji*, *19*(73), 29-38. DOI: 10.5053/Ekoloji.2009.734

Alkan U., Teksoy A., Başkaya H.S., Yüzeysel Sulardaki Doğal Organik Maddelerin Gideriminde Uygun Koagülasyon Şartlarının Belirlenmesi, *Ekoloji*, 2006,*59*,18-26

Alpaslan M.N., Dölgen D., Boyacıoğlu H., Sarptaş H., İçme Suyundan Kimyasal Yöntemlerle Arsenik Giderimi, *İtü Dergisi*/Su Kirlenmesi Kontrolü ,2010,*20*,1,15-25

Altan S.B. (2019). Organik Peroksit Üreten Bir Kimya Endüstrisi Atık Suyunun Karakterizasyonu Ve Arıtılabilirlik Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 0064160.

Atabey E. (2011). Jeolojik Unsurlar Ve Halk Sağlığı (Tıbbi Jeoloji). *Popüler Bilim Dergisi*, *18*(207), 56-61.

Atgüden A. (2010). İçme Sularının Ozonla Dezenfeksiyonunun Mikrobiyal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 260031.

Altundal Z. (2021), Sulu Çözeltiden Katyonik Boyar Madde Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 0178980.

Arafat M., Marzouk S. Y., El Monayeri O.D., Hybrid System For İron And Manganese Reduction From Polluted Water Using Adsorption And Filtration, *Ain Shams Engineering Journal*, 2021,*12*,3,2465-2470

Arslan O. (2021). Ankara İli İçme Suyu Kalite Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Ortamında Farklı Enterpolasyon Yöntemleri Kullanılarak Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.

Atıcı A.A. (2020). Dönerdere, Yumruklu, Değirmigöl Ve Dolutaş Göletlerinin (Van, Türkiye) Su Kalitesi Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Çevre Ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, *5*(3), 348-355. DOI: Https://Doi.Org/10.35229/Jaes.756835

Avcı E. (2021). İthal Kömür Depolama Sahası Atıksularının Nanofiltrasyon Prosesi İle Arıtılması Ve Geri Kazanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Avrupa Birliği, İnsani Tüketime Yönelik Su Kalitesi, 98/83 Sayılı Konsey Direktifi, (1998).

Aydın S. (1998). Temas Havalandırmalı Sistemlerde Mn (II)‟ Nin Oksidasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,77978.

Aziz H.A., Smith, P.G., Removal Of Manganese From Water Using Crushed Dolomite Filtration Technique, Water Research, 1996, 30, 489-492.

Aziz H.A., Tajarudin, H.A., Wei, T.H.L., Alazaiza, M.Y.D. (2020). Iron And Manganese Removal From Groundwater Using Limestone Flter With İron-Oxidized Bacteria. *International Journal Of Environmental Science And Technology*. DOI: Https://Doi.Org/10.1007/S13762-020-02681-5

Bahadır E.B. (2012). Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk Ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi İle Gideriminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 0040172.

Bandar S., Anbia M., Salehi S., Comparison Of Mno2 Modified And Unmodified Magnetic Fe3O4 Nanoparticle Adsorbents And Their Potential To Remove İron And Manganese From Aqueous Media, *Elsevier*,2021,*851*,156822.

Barloková D., Ilavský, J. (2010). Removal Of Iron And Manganese From Water Using Filtration By Natural Materials. *Polish J. Of Environ. Stud*., *19*(6), 1117-1122.

Başpınar E., Gürbüz F., Çamdeviren H., (2001), Varyans Analizi Ve Tekrarlanan Ölçümlü Analiz Tekniklerinin I. Tip Hata Bakımından Karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, *33*(1), 267-278.

Bayraktar Bulut B. (2019). Su Ortamındaki Fenollerin Ozon Bazlı İleri Oksidasyon Teknikleri İle Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü, Konya, 567047.

Bilen M., Ateş Ç., Bayraktar B., (2018), Yanıt Yüzey Yöntemi İle Bir Bor Fabrikası Atıksuyu Kimyasal Arıtma Sürecinde Optimum Koşullarının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*., *33*(1), 267-278.

Bodur G. (2019). Tekstil Boyalarının Biyogideriminde Fungus Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 549006.

Buluş A.D. (2021). İçme Sularından Nanofiltrasyon İle Demir Ve Mangan Giderimi. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 696206.

Büyükünsal G. (2006). Diallildimetilamonyum Klorür Polimerizasyonunda Reaksiyon Kinetiğinin Ve Ph Etkisinin Bilgisayarla Sürekli İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 222141.

Canbaz C. (2022). Lalapaşa İlçesi İçme Suyu Kalitesinin Mevsimsel Değişimi Ve Su Kalite İndeksi Kullanılarak İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 0186847.

Canyılmaz E., Kutay F. (2003). Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1*8*(3), 51-63.

Carlson K.H., Knocke, W.R., Modeling Manganese Oxidation With Kmno4 For Drinking Water Treatment, *Journal Of Environmental Engineering*, 1999, *125*, 892-896.

Carretero S., Kruse, E. (2014). Iron And Manganese Content İn Groundwater On The Northeastern Coast Of The Buenos Aires Province, Argentina. Environ. Earth Sci. DOI: 10.1007/S12665-014-3546-5.

Chaturvedi S., Dave, P.N. (2012). Removal Of Iron For Safe Drinking Water. *Desalination*, *303*, 1-11. DOI: 10.1016/J.Desal.2012.07.003.

Cheng Q., Huang, Y., Nengzi, L., Liu, J., Zhang, J. (2019). Performance And Microbial Community Profiles İn Pilot-Scale Biofilter For Ammonia, İron And Manganese Removal At Different Dissolved Oxygen Concentrations. *World Journal Of*

Microbiology And Biotechnology, *35(*43). DOI: Https://Doi.Org/10.1007/S11274-019-2617-X.

Cheng Y., Zhang S., Huang T., Cheng L., Yao X., Effects Of Coagulants On The Catalytic Properties Of İronemanganese Co-Oxide Filter Films For Ammonium And Manganese Removal From Surface Water. *Journal Of Cleaner Production*, 2020,*242*,118494.

Cheng L., Zhao-Zhao X. , Shuo C. , Du-Wang L. , Xin-Hua X. , Aeration-Manganese Sand Filter-Ultrafiltration To Remove İron And Manganese From Water: Oxidation Effect And Fouling Behavior Of Manganese Sand Coated Film. *Journal Of Water Process Engineering* , 2020 , *38* , 101621.

Çakmakcı M.(2006). Sulardaki Fe (II) Konsantrasyonu İle Filtre Yük Kayıpları Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Doktora Tezi. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 223720.

Çalık E., Menteş, Y., Karadağ, F., Dayıoğlu, H. (2004). İçme Suyunun Sağlık Açısından Değerlendirilmesi. Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *6*, 17-26.

Çelik B. (2011). Nanosaniye Lazer Kullanılarak Pvc Malzeme Üzerinde Mikro Ölçekli Deliklerin Optimum Parametrelerinin Taguchi Metodu İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 290433.

Dayıoğlu H., Özyurt, M.S., Bingöl, N., Yıldız, C. (2004). Kütahya İli İçme Sularının Bazı Fiziksel, Kimyasal Ve Bakteriyolojik Özellikleri. Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *7*, 71-90.

Demir Yetiş A. (2019). Bitlis Ahlat Sazlıkları Yüzey Sularında Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *34*(1), 1-12.

Diaz-Alarcóna J.A., Alfonso-Péreza M.P., Vergara-Gómeza I., Díaz-Lagosa M., Martínez-Ovalle S.A., Removal Of İron And Manganese İn Groundwater Through Magnetotactic Bacteria, *Elsevier*, 2019,*249*,109381.

Doula, M. D., Removal Of Mn2+ İons From Drinking Water By Using Clinoptiolite And A Clinoptiolitr-Fe Oxide System, *Water Research*, 2006,*40*, 3167- 3176.

Dölgen D., Sarptaş, H., Alpaslan, M.N. (2009). Merkezi İçme Ve Kullanma Suyu Arıtma Sistemlerinde Uygulanan Yöntemlerin Değerlendirilmesi: İzmir Örneği, *İzmir Kent Sempozyumu*, İzmir, 8-10 Ocak 2009.

Dönderici Z.S., Dönderici A., Başarı F., Kaynak Sularının Fiziksel Ve Kimyasal Kaliteleri Üzerine Bir Araştırma, *Türk Hijyen Ve Deneysel Biyoloji Dergisi* ,201, *67*, 167 – 172.

Dua, X., Yang, W., Liu, Y., Zhang, W., Wang, Z., Nie, J., Li, G., Liang, H. (2020). Removal Of Manganese, Ferrous And Antibiotics From Groundwater Simultaneously Using Peroxymonosulfate-Assisted İn-Situ Oxidation/ Coagulation İntegrated With Ceramic Membrane Process. *Separation And Purification Technology*, 252.
DOI: Https://Doi.Org/10.1016/J.Seppur.2020.117492.

Dumlu E. (2022). İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Ozon Kullanımının Organik Kirleticiler Üzerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Durmaz S. (2008), Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyon Prosesine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi,Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 03764.

Dünya Sağlık Örgütü (Who), 1989.

Dünya Sağlık Örgütü (Who), 2016.

Dünya Sağlık Örgütü, İçme Suyu Kalitesi Kılavuzu, 3. Baskı, Cenevre (2008).

Düzülütaş E.M. (2018), Yağmur Suyunun Ulusal Ve Uluslararası Standartlara Göre İçme Suyu Olarak Kullanılma Esasları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 166501115.

Er C.B. (2014). Kilis İli İçme Sularının Bazı Fizikokimyasal Ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, 378486.

Ercan Ç.İ. (2019), Demir Oksit Nanoparçalıklarının Ağır Metal Adsorpsiyonunda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, .

Elgün C. (2022). Kağıt Endüstri Atıksularının Elektrooksidasyon Yöntemiyle Arıtılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Erdem V., Belevi M., Koçhan C., (2010), Taguchi Metodu İle Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, Cilt 12*, Sayı 2, 17-29.

Ergene A. (1987). *Toprak Biliminin Esasları*. Atatürk Üniversitesi Yayınları No. 635, Ziraat Fak. Yayın No:289, Ders Kitapları Serisi No:47, A.Ü. Basımevi, Erzurum.

Ertem Vehid H., Irmak Özden Y., Dirican A., Öneş Ü., (2000) Çok Değişkenli Varyans Analizi Ve Uygulaması. *İstanbul Tıp Fakültesi Mecmuası, 63*(4), 357-364.

Eroğlu G., Şahiner M. (2019). Dünyada Ve Türkiye'de Manganez. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü.

Eze S.O., Madumere, I.C. (2012). Physicochemical And Microbiological Analysis Of Water Bodies İn Uturu, Abia State-Nigeria. *Asian Journal Of Natural & Applied Sciences, 1*(4), 58-65.

Fakir Y. (2012). Denizli İçme Suyu Şebekesindeki Su Kalitesi Parametrelerinin Zamana Ve Konuma Göre Değişiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 316580.

Fil B.A. (2014). Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrooksidasyon Yöntemiyle Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 376258.

Hansu R. (2021). Aydın İlindeki Artezyen Sularının Fizikokimyasal Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

Hameed S., Awad, H.A., Al-Uqaily, R.A.H. (2019). Removal Of Iron And Manganese From Ground Water By Different Techniques. *The Journal Of Research On The Lepidoptera, 50(*4), 458-468.

Galangashi M.A., Kojidi S.F.M., Pendashteh A., Souraki B.A., Mirroshandel A.A., Removing Iron, Manganese And Ammonium Ions From Water Using Greensand İn Fluidized Bed Process, *Journal Of Water Process Engineering,* 2021, *39*,101714.

Gedikoğlu H. (2021). Balıkesir İli Merkez İçme Suyu Arıtma Tesisi Su Kalitesinin Yıllık Değişiminin Değerlendirilmesi Ve Revizyon Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 689078.

Genç. S., Mendeş M., Kocabaş Z., Soysal M.İ., (2012), Varyans Analizi Tekniğinin Ön Şartları Yerine Gelmediğinde Varyans Unsurları Tahmininde I. Tip Hata. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9*(2), 67-74.

Göçer H. (2014). Atıksularda Farklı Konsantrasyonlarda Bulunan Kafeinin Ozonlama Yöntemiyle Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 343598.

Güler Ç., Çobanoğlu Z., *SU KALİTESİ,* Birinci Baskı, 1997, Ankara
.

Gültekin I. (2008). Destruction Of Endocrine Disrupting Compounds İn Water By Advanced Oxidation Processes: A Study With Ultrasound, Ozone And Various Combinations. M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Institute Of Environmental Sciences, İstanbul.

Gül N. (2007). Elâzığ İçme Suyu Problemleri Ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.

Gülmez F. (2022). Petrol Rafinerisi Fenolojik Atıksularının Foto-Fenton Prosesi İle Arıtılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üvinersitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Güvercin S., Yıldız A., (2018), Optimization Of Cutting Parameters Using The Response Surface Method Sigma. *J. Eng. & Nat. Sci., 36*(1), 113-121.

İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi Ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik, *T.C. Resmi Gazate* (30823,6 Temmuz 2019), Tarım Ve Orman Bakanlığı.

İçme Suyu Arıtma Tesisi Projesi Proses Şartnamesi, İller Bankası Anonim Şirketi, 2013.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, *T.C. Resmi Gazate* (28580,7 Mart 2013), Sağlık Bakanlığı.

İrdemez Ş., Özger H., Ekmekyapar Torun F., Kul S. (2021). Kars İli Sarıkamış İlçesi İçme Suyu Arıtma Tesisi Giriş Ve Çıkış Su Kalitesinin Aylara Göre Değişiminin İncelenmesi, *Beü Fen Bilimleri Dergisi* , *10* (1), 235-248.

Kahraman Ü.C. (2007). Konya Garnizon Birliklerindeki Kuyu Suları İle Şehir Şebeke Sularının Su Kalitesi Ve Ağır Metaller Yönünden Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Kalayci H. (2019). Silopi İçmesuyu Arıtma Prosesleri Ve Kalite Kontrol Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 596004.

Kanber P. (2007). Aydın İli Bazı Yeraltı Ve Yerüstü Su Kaynaklarının Kirlilik Durumlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 200681.

Karma S.K. (2012). An Overwiev On Tanguchi Method. *Intenational Journal Of Engineering And Mathermatical Sciences, 1*, 11-18.

Katsanou K., Karapanagioti, H.K. (2017). Surface Water And Groundwater Sources For Drinking Water. Hdb. Env. Chem. DOI: 10.1007/698_2017_140.

Kayhan F., Gültekin, S., Sesal, C., (2018). İstanbul İli Anadolu Yakası Doğal Kaynak Sularının Bakteriyolojik Kalite Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Su Ürünleri Dergisi*, *35*(1) ,37-42.

Kayır Y., Aslan S., Aytürk A., (2013) AISI 316Tİ Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi İle Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 28*, No 2, 363-372.

Khadse G.K., Patni, P.M., Labhasetwar, P.K. (2015). Removal Of Iron And Manganese From Drinking Water Supply. *Sustain. Water Resour. Manag.,* 1, 157-165. DOI: 10.1007/S40899-015-0017-4.

Khatri, N., Tyagi, S., Rawtani, D. (2017). Recent Strategies For The Removal Of Iron From Water: A Review. *Journal Of Water Process Engineering, 19*, 291-304. DOI: Https://Doi.Org/10.1016/J.Jwpe.2017.08.015.

Kısa H.G. (2016). İçme Suyu Arıtma Tesisi İşletme Ve Bakımı. Bitirme Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, 12370155.

Kimyasal Koagülasyon Ve Flokülasyon (Jar Testi), Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Fiziksel Ve Kimyasal Temel İşlemler Laboratuvarı Dersi.

Kouzbour S., Stiriba, Y., Gourich, B., Vial, C. (2020). CFD Simulation And Analysis Of Reactive Flow For Dissolved Manganese Removal From Drinking Water By Aeration Process Using An Airlift Reactor. *Journal Of Water Process Engineering, 36.* DOI: Https://Doi.Org/10.1016/J.Jwpe.2020.101352.

Koşar B. (2020). Sulardan Mikrokirletici Gideriminde Ozonlama, Perokson (O3/H2O2) Ve Adsorpsiyon Proseslerinin Arıtma Performansının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 646105.

Korkmaz M.U. (2021). Evsel Atıksuların Elektrokimyasal Arıtma Prosesleri İle Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 705195.

Köknar B. (2019). Kentsel Atıksulardan Uzun Süreli Ozomlama İle KOİ, Diklofenak Giderimi Ve Kısmi Nitrifikasyon. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kumsal, K.H. (1994). Taguchi Metodu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 31031.

Kurt A., Kander, S., Çopur, Ö.U. (2022). Bursa İli Kırsal Bölgelerindeki İçme Suyu Amaçlı Kullanılan Kuyu Sularının Ağır Metal Seviyelerinin Belirlenmesi. *Gıda The Journal Of Food* ,2022, *47* (2), 199-211 ,Doi: 10.15237/Gida.GD22012.

Külekçi G. (2005). Klor Verici Dezenfektanların Kullanım İlkeleri Hangi Şartlarda Hangi Amaçlarda Kullanılır? Türevleri Nelerdir?. *4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi.* İstanbul.

Li X., Yu X., Liu, L., Yang, J., Liu, S., Zhang, T. (2021). Preparation, Characterization Serpentine-Loaded Hydroxyapatite And İts Simultaneous Removal Performance For Fluoride, İron And Manganese. *RSC Adv., 11*, 16201-16215. DOI: 10.1039/D1ra02028e.

Luzati S., Beqiraj, A., Goga, E., Jaupaj, O. (2016). Iron And Manganese İn Groundwater Of Rrogozhina Aquifer, Western Albania. *Journal Of Environmental Science And Engineering*, B 5, 276-285. DOI: 10.17265/2162-5263/2016.06.002.

Marsidi N., Hasan H.A., Abdullah S.R.S., A Review Of Biological Aerated Filters For İron And Manganese İons Removal İn Water Treatment, *Journal Of Water Process Engineering*, 2018, *23*, 1-12.

Membran Teknolojileri, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 2016.

Merkle P.B., Knocke, W.R., Gallagher, D.L., Method For Coating Filter Media With Synthetic Manganese Oxide, *Journal Of Environmental Engineering* 1997, *123*, 642-649.

Naharcı B. (2007). Ters Ozmos Yöntemi İle İçme Suyu Elde Edilmesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, 202365.

Nesro J. (2020). Effect Of Water Characteristics On Planning And Designing Of Drinking Water Treatment Plants. Master Thesis. Ondokuz Mayıs University, Institute Of Graduate Studies Department Of Environmental Engineering, Samsun.

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.

Oktar B. (2010). İçmesularında THM Öncülerinin Ozon/Hidrojenperoksit Prosesi İle Giderimi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 359141.

Olgun M.O., Özdemir G. (2013). Önem Memnuniyet Analizi Ve Taguchi Metodu İle Eğitimde İyileştirme Önceliklerinin Belirlenmesi: Bir Uygulama Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19*(2), 81-87.

Orhon K.B. (2014). Removal Of Triclosan From Surface Waters By Ozonation: Kinetics & Removal Mechanism. M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.

Ormancı T. (2011). İçme Suyunda Fulvik Asit Varlığında Fe(II) Ve Mn(II)'Nin Batık Membran Sistemiyle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 305527.

Önsoy D. (2007). Direkt Filtrasyonda Önozonlama Geciktirme Süresinin Filtre Verimliliğine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 212002.

Özdemir S. (2020). Mezbaha Atık Sularının Koagülasyon-Flokülasyon İle Ön Arıtımı Ve Membran Proseslerinin Kullanılarak Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 644203.

Özer S., Yıldız S., Karakuş C.B., Sivas 4 Eylül Barajı İçme Suyundaki Manganın Laboratuar Ve Tesis Ölçekli Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*,2011,*26*,1.

Özgün H. (2007). Oksidasyon Ve Filtrasyon Aşamalarında Sularda Mangan Giderimini Etkileyen Bazı Faktörlerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 222571.

Öztürk Z. (2010). Evaluation And Risk Assessment Of Ground Level Ozone Distribution Over Historical Peninsula İn Istanbul. M.S. Thesis, Fatih University, Institute Of Science And Engineering, Istanbul.

Pasin Ö., Ankaralı H., Cangüder Ş., Sungur M.A., (2016), Parametrik Olmayan Çok Değişkenli Varyans Analizi Analizi Ve Sağlık Alanında Bir Uygulaması. *Bilişim Teknoloji Dergisi, 9*(1), 13-20.

Pezzetta E., Lutman, A., Martinuzzi, I., Viola, C., Bernardis, G., Fuccaro, V. (2011). Iron Concentrations İn Selected Groundwater Samples From The Lower Friulian Plain, Northeast Italy: Importance Of Salinity. Environ. *Earth Sci., 62*, 377-391. DOI: 10.1007/S12665-010-0533-3.

Pınar M., Güllü A., (2010). Sayısal Denetimli Hidrolik Pozisyonlama Sisteminin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 25*, No 1, 93-100.

Polat S., Polat A. (2022). Makroalglerin Mineral İçeriği Ve İnsan Sağlığı İçin Kullanım Olanakları. *Food And Health, 8*(2), 150-160. DOI: Https://Doi.Org/10.3153/FH22015.

Sağır Kurt E., Yaman Büyükbüberoğlu, B., Eyit N., Kiraz, O., Yıldırım, Ç., Çakmakcı, M., Görgün, E., (2021). Pilot Ölçekli İçme Suyu Arıtma Tesisinde Hızlı Karıştırma Ünitesinin Matematiksel Modellenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26,* Sayı 2, 10.17482.

Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., Deney Tasarım Yöntemi İle Matkap Uçlarının Performans Optimizasyonu, *İtü Dergisi, Cilt 3*, Sayı 6, 117-128.

Selçuk H., Velioğlu, Y.S., Baloğlu, Z. (2019). Ozonlama Ve Filtrasyon İşleminin Suların Demir Ve Mangan İçeriğine Etkisi. *Gıda The Journal Of Food, 44*(6), 1210-1221. DOI: 10.15237/Gida.GD19109.

Sever E. (2021). Meşrubat Sanayi Atıksularının Arıtımında Elektrokoagülasyon Ve Kimyasal Koagülasyon Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 662219.

Sevindir H.C., Baldan Pakdil N., Demir Ve Mangan Gideriminde Saf Ve Kaplı Pomza Kullanılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2009, 13-1,82-87.

Sharma G.K., Jena, R.K., Ray, P., Yadav, K.K., Moharana, P.C., Cabral-Pinto, M.M.S., Bordoloi, G. (2021). Evaluating The Geochemistry Of Groundwater Contamination With Iron And Manganese And Probabilistic Human Health Risk Assessment İn Endemic Areas Of The World's Largest River Island. India. *Environmental Toxicology And Pharmacology*, 87. DOI: Https://Doi.Org/10.1016/J.Etap.2021.103690.

Singh S., Rani, A., Mahajan, R.K., Walia, T.P.S. (2003). Analysis Of Uranium And Its Correlation With Some Physico-Chemical Properties Of Drinking Water Samples From Amritsar, Punjab. J. Environ. Monit., 5, 917-921. DOI: 10.1039/B309493f.

Sivaprakasam T., Hasan S., (2007). Analyses Of Surface Roughness By Turning Process Using Tangchi Method Journal Of Achievements Of. *Materials And Manifacturing Engineering*. *20*(1-2), 503-506.

Sousa C., Moutinho, C., Vinha, A.F., Matos, C. (2019). Trace Minerals İn Human Health: Iron, Zinc, Copper, Manganese And Fluorine. *Ijsrm.Human, 13*(3), 57-80.

Sönmez B. (2019). Removal Of Imidacloprid From Wastewaters By Ozonation And Photo-Ozonation. M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.

Şahan T., Yılmaz Ş., (2017).Doğal Pomza Minerali İle Co(Iı) Adsorpsiyon Koşullarının Optimizasyonu İçin Cevap Yüzey Yönteminin Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(7), 887-892.

Şener Ş., Bektaş S., (2021). Antalya İli İçme Suyu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri Ve Sağlık Risk Değerlendirmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *12*(Ek Sayı:1), 376-391.

Şimşek H. (2011). Sazlıdere Baraj Gölü'nün Mikrobiyolojik Ve Kimyasal Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 290296.

Tanas E.N. (2016) .Sakarya İli İçme Suyu Şebekesinin Su Kalitesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Sakarya, 457990.

Tang X., Qiao J., Wang J., Huang K., Guo Y., Daliang X., Guibai L., Liang H., Bio-Cake Layer Based Ultrafiltration İn Treating İron-And Manganesecontaining Groundwater: Fast Ripening And Shock Loading, *Elsevier*, 2021,*268*,128842.

Tang X., Wang J., Zhang H., Miao Y., Guo Y., Guibai L., Liang H., Respective Role Of İron And Manganese İn Direct Ultrafiltration: From Membrane Fouling To Flux İmprovements, *Elsevier*,2021,*259*,11874.

Tang X., Xieb B., Chena R., Wanga J., Huanga K., Zhua X., Lia G., Lianga H., Gravity-Driven Membrane Filtration Treating Manganese-Contaminated Surface Water: Flux Stabilization And Removal Performance, *Chemical Engineering Journal*, 2020 ,*397*, 125248.

Tang X., Zhu, X., Huang, K., Wang, J., Guo, Y., Xie, B., Li, G., Liang, H. (2021). Can Ultrafiltration Singly Treat The İron- And Manganese-Containing Groundwater?. *Journal Of Hazardous Materials*, *409*. Doı: Https://Doi.Org/10.1016/J.Jhazmat.2020.124983.

Tan İ. (2022). Hocaköy Barajını Besleyen Aliağa Ve Bedre Derelerinin Su Kalite Parametrelerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 724622.

Tekeli T., Yücel Y., Tekeli Y., (2018). Hatay'da Kullanılan Kuyu Sularının İçme Suyu Kalite Parametreleri Bakımından İncelenmesi Ve Kemometrik Yöntemlerle Karakterizasyonu. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 8*(2), 70-83.

Tekindal B. (1998). Varyans Analizinin Ön Şartları Ve Transformasyonlar. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Teksoy A. (2006). İçme Sularından Organik Madde Giderimi Ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi İçin Arıtma Proseslerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

TS 266, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, (2005).

Tobiason J.E., Bazilio, A., Goodwill, J., Mai, X., Nguyen, C. (2016). Manganese Removal From Drinking Water Sources. *Curr Pollution Rep, 2,* 168-177. DOI: 10.1007/S40726-016-0036-2.

Topkaya E. (2021). Su Ve Atıksu Ortamında Endokrin Bozucu Kimyasalların Ozon Ve Fotokatalitik Oksidasyon Yöntemleri İle Arıtılabilirliği: Kinetik Çalışmaları Ve Proses Değişkenlerinin Maliyet Değerlendirmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 702769.

Tüfekçi N., 1995. Temas Havalandırmalı Sistemler İle Demir Giderimi, Doktora Tezi. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkiye Çevre Durum Raporu, 2011.

Uçar M.T. (2016). Türkiye'de Üretilen Mineralli Suların Fizikokimyasal Ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 10124215.

Uğurluoğlu A. (2013). Seydisuyu Havzası Yeraltı Su Kalitesinin Ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 342571.

Ustaoğlu A. 2003. Ön Ozonlamanın Mn (II) Oksidasyonunun Verimi Üzerindeki Etkinliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 142710.

URL-1: Https://Akkim.Com.Tr/ (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-2: Https://Www.Hicriercili.Com.Tr/ (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-3: Http://Genclerkimya.Com/ (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-4: Https://Koruma.Com/Wp-Content/Uploads/2020/11/DEMI%CC%87R-3-KLORU%CC%88R-SOLU%CC%88SYONU-G%C3%Bcvenlik-Bilgi-Formu.Pdf (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-5: Http://Www.Ach.Com.Tr/Pacs-Msds/ (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-6:Https://Koruma.Com/Wp-Content/Uploads/2020/11/SIVI-KLOR-MAYI%CC%87-KLOR-G%C3%Bcvenlik-Bilgi-Formu.Pdf (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-7: Http://Askimya.Net/Urundetay.Php?İd=186(Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021, 18:30).

URL-8: Https://Www.Tse.Org.Tr/Icerikdetay?ID=7&Parentıd=13 (Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2021).

URL-9: Https://Www.Euro.Who.İnt/En/Countries/Turkey (Ziyaret Tarihi: 5 Ağustos 2021).

URL-10:American Water Work Association, 2011. Https :// Www. Awwa. Org. (Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2022).

URL-11: Https://Www.Balsu.Gov.Tr/ (Ziyaret Tarihi: 9 Nisan 2020).

URL-12:Https://Www.Burkut.Com.Tr/Klor-Klorur-Hipoklorit #:~:Text= Klor%20gaz%C4%B1%20ile%20i%C5%9Fi%20olan,Olu%C5%9Fur%3A%20%E2%80%9Ccl2%E2%80%9D.) (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2021).

URL-13: (Https://Atunkimya.Com/Urun/Sivi-Klorsodyum-Hipoklorit/) (Ziyaret Tarihi: 05 Mart 2021).

URL-14: Https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Sodyum_Hipoklorit (Ziyaret Tarihi: 05 Mart 2021).

URL-15: Https://Www.Chlorpars.Com/Staticform/Chlorine_Tr.Aspx (Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2021).

URL-16: Http://Www.Askimya.Com/Urunler/Sodyum-Hipoklorit-22.Html (Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2021).

URL-17: Http://Turoksikimya.Com/Mobil/Urunler/Klor-Dioksit/ (Ziyaret Tarihi: 05 Mart 2021).

URL-18:Http://Www.Askimya.Com/Urunler/Poli-Aluminyum-Klorur-341.Html (Ziyaret Tarihi:05 Mart 2021).

URL-19: Https://Www.Sukim.Com.Tr/Urun/Polialuminyum-Klorur-Hidroksit-Sulfat-Pacs-8172/ (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

URL-20: Https://Kuzey-Kimya.Com/Polialuminyum-Klorur-Hidroksit-Sulfat.Html (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

URL-21: Https://Kuzey-Kimya.Com/Polialuminyum-Klorur-Pac-10.Html (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

URL-22: Https://Www.Cevrekimyasal.Com/U/Demir-İii-Klorur/3 (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

URL-23: Https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Demir(III)_Klor%C3%Bcr (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-24: Https://Www.Solechem.Com/U/Demir-3-Klorur/ (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-25: Http://Www.Askimya.Com/Urunler/Demir-3-Klorur-106.Html (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-26: Https://Asrkimya.Com/Urundetay/Su-Sartlandirma-Kimyasallari/Demir-3-Klorur-1016 (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-27: Https://Www.Chlorpars.Com/Staticform/Ferric_Chloride_Tr.Aspx (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-28: Https://Www.Solechem.Com/U/Aluminyum-Sulfat/ (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-29: Https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Al%C3%Bcminyum_S%C3%Bclfat (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-30: Https://Www.Corapcikimya.Com (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-31: Https://Akbelkimya.Com.Tr/Aluminyum-Sulfat-102-Urun (Ziyaret Tarihi: 08 Mart 2021).

Url-32: Https://Okimya.Com.Tr/Polielektrolitler/Polielektrolit/ (Ziyaret Tarihi: 09 Mart 2021).

Url-33: Http://Www.Solemtuzkimya.Com/1710-Anyonik-Polielektrolit.Html (Ziyaret Tarihi: 09 Mart 2021).

Url-34: Https://Kuzey-Kimya.Com/Anyonik-Polielektrolit.Html (Ziyaret Tarihi: 09 Mart 2021).

Url-35: Https://Www.Solechem.Com/U/Polielektrolit/(Ziyaret Tarihi: 09 Mart 2021).

Url-36: Https://Www.Miato.Com.Tr/Tatli-Su-Kaynaklari/ (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2020).

Url-37: Https://Www.Nedir.Com/Su-Kaynaklar%C4%B1 (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2020).

Url-38: Www.Artemisaritim.Com (Ziyaret Tarihi: 03 Mart 2020).

Url-39 : Https://Hipokloroz.Com/ (Ziyaret Tarihi: 27 Mayıs 2022).

URL-40: Https://Mgm.Gov.Tr/Genel/Hidrometeoroloji.Aspx?S=3, (Ziyaret Tarihi: 9 Ağustos 2022).

Ünal S. (2015). Nihai Kullanım Amacına Göre Uygulanan Membran Prosesler Ve Diğer Su Arıtma Yöntemleri İle İçme Ve Proses Suyu Üretiminin Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 501061732.

Vanderzalm, J.L., Page, D.W., Barry, K.E., Gonzalez, D. (2020). Evaluating Treatment Requirements For Recycled Water To Manage Well Clogging During Aquifer Storage And Recovery: A Case Study İn The Werribee Formation, *Australia. Water*, 12. DOI: 10.3390/W12092575.

Varol S. (2019). Kocaeli İlindeki İçme Suyu Kaynak Sularının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 536402.

Xing Du, Yao Liu, Rao P., Yang H., Chen Y., Luo Y., Wang Z., Liang H., Pre-Depositing PAC-Birnessite Cake Layer On Gravity Driven Ceramic Membrane (GDCM) Reactor For Manganese Removal: The Significance Of Stable Flux And Biofilm, *Elsevier*,2021,*267*,118623.

Walker, Jr., E.M., Walker, S.M. (2000). Review: Effects Of Iron Overload On The Immune System. *Annals Of Clinical & Laboratory Science*, *30*(4), 354-365.

Weng, H., Qin, Y., Chen, X. (2007). Elevated Iron And Manganese Concentrations İn Groundwater Derived From The Holocene Transgression İn The Hang-Jia-Hu Plain, China. *Hydrogeology Journal*, *15*, 715-726. DOI: 10.1007/S10040-006-0119-Z .

Yardımumar M., İstanbul Su Arıtma Tesislerinde Demir-Mangan Problemi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2001, 104182.

Yang H., Tang X., Luo X., Guibai L., Liang H., Snyder S., Oxidants-Assisted Sand Filter To Enhance The Simultaneous Removals Of Manganese, İron And Ammonia From Groundwater: Formation Of Active Mnox And İnvolved Mechanisms, *Elsevier*, 2021,*415*,125707.

Yang H., Tang, X., Luo, X., Li, G., Liang, H., Snyder, S. (2021). Oxidants-Assisted Sand Filter To Enhance The Simultaneous Removals Of Manganese, Iron And Ammonia From Groundwater: Formation Of Active Mnox And Involved Mechanisms. *Journal Of Hazardous Materials, 415*. DOI: Https://Doi.Org/10.1016/J.Jhazmat.2021.125707.

Yarma Z. (2017). Balıkesir İçme Suyu Arıtma Tesisi Performans Değerlendirilmesi Ve İyileştirme Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 496124.

Yaşar S., Üstek, M.A., Bengü, A.Ş., Mis, L. (2016). Mardin Bölgesi İçme Sularında Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1*(2), 63-71.

Yerli C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su Ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Türk Doğa Ve Fen Dergisi, 9*, 103-114. DOI: Https://Doi.Org/10.46810/Tdfd.718449.

Yeşiltaş H.K., Yılmaz T. (2022). Yüzeysel Su Kaynağından İçme Suyu Eldesinde Alkali Koagülasyon Metodununun Uygulanması Ve Kalsiyum Sertliğinden İleri Gelen Kireç Taşı Oluşumu. Çukurova Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *37*(1), 249-260.

Yıldırım S. (2011). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Minarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 27*, No 2, 447-458.

Yılmaz Z. (2006). The Effect Of Ozone Pretreatment On The Biodegradability And Toxicity Of Natural Tannin And Synthetic Tannin. M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, İstanbul.

Zakerı M.Ş. (2019). Yeraltı Sularından Demir Ve Mangan Gideriminde Kullanılan Oksidantların Etkinliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 559959.

Zhai Y., Cao, X., Xia, X., Wang, B., Teng, Y., Li, X. (2021). Elevated Fe And Mn Concentrations İn Groundwater İn The Songnen Plain, Northeast China, *And The Factors And Mechanisms Involved. Agronomy*, *11*, 2392. DOI: Https://Doi.Org/10.3390/Agronomy11122392.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Aktuğ D., Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisinin Performans Değerlendirmesi ve İyileştirilmesi: Kimyasal Koagülasyon ile Demir ve Mangan Giderimi,*Uluslar Arası Marmara Fen Bilimleri Kongresi İmascon*, İzmit, Türkiye, 13-14 Mayıs 2022.

ÖZGEÇMİŞ

Dilara AKTUĞ; İlk, orta ve lise öğrenimini Manyas ‘da tamamladı. 2014 yılında girdiği, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2019 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2019 yılı Ekim ayından bu yana Susurluk İçme Suyu Arıtma Tesisi ’nde tesisin işletilmesinden sorumlu Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır.