

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇME SUYU ARITIMINDA HİBRİT VE KONVANSİYONEL
KOAGÜLANTLARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Abdi Bozkurt GÜRHAN

**Danışman
Prof. Dr. Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU**

**II. Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2024**

© 2024 [Abdi Bozkurt GÜRHAN]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. İçme Suyu Arıtımında Kimyasal Arıtma Uygulamaları	5
2.2. İçme Suyu Arıtımında Hibrit Koagülant Uygulamaları	7
2.3. Türkiye’deki İçme Suyu Yönetimi	10
2.4. Su Arıtımında Kullanılan Süreçler ve İşlemler	15
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Su Numunelerinin Temini	20
3.2. Su Kalitesi Analizleri	20
3.3. Jar Testi Deneyleri.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Su Kalite Parametreleri izleme sonuçları.....	30
4.2. Doğal organik madde izleme sonuçları.....	51
4.3. Koagülant Testleri.....	54
4.4. Revizyon Önerileri	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	83

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇME SUYU ARITIMINDA HİBRİT VE KONVANSİYONEL KOAGÜLANTLARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdi Bozkurt GÜRHAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR

Konvansiyonel içme suyu arıtma tesisler öncelikli olarak sudaki katı ya da partiküler madde olarak bilinen bulanıklığı gidermek ve insan sağlığına zararlı mikroorganizmaların dezenfeksiyonuna yönelik olarak işletilirler. Bununla birlikte, tat-koku, demir ve mangan, organik madde, algler gibi kirleticilerin de bu konvansiyonel arıtma tesisinde giderimi mümkün olmaktadır. Bu tesislerde kullanılan prosesler, havalandırma, ön oksidasyon, koagülasyon-flokülasyon-çöktürme (ya da durultma), filtrasyon ve dezenfeksiyon şeklinde sıralanmaktadır. Günümüzde içme suyu arıtımında organik madde giderimi, bulanıklık giderimi kadar önem kazanmış ve yeni koagülantların kullanıma ihtiyacını oluşturmuştur.

Bu tez çalışması 3 ayrı aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada 2023 yılı boyunca içme suyu arıtma tesisi girişi ve çıkışında İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelikte tanımlanan 99 su kalite parametresinin aylık izlenmesi gerçekleştirilmiştir. İzleme sonuçlarına göre giriş toplam organik karbon (TOK) değerleri 2,07-3,42 arasında değişim göstermiştir. Tezin ikinci aşamasında içme suyu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan konvansiyonel koagülantlar ile TOK giderimi gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel koagülantlar ile TOK giderimi % 10 – 50 arasında tespit edilmiştir. Üçüncü aşamada içme suyu arıtma tesislerinde toplam organik karbonun azaltılması için hibrit koagülantların kullanımının arıtma performansına etkisinin tespit edilmesini amaçlanmıştır. Günümüzde genel olarak içmesuyu arıtma proseslerinde önem kazanan husus, bu bileşiklerin daha iyi seviyelerde giderimini sağlamaktır. Organik madde giderim verimini artırma amacıyla mevcut konvansiyonel içmesuyu arıtma tesislerinde uygulanan en ekonomik ve basit yöntem, alternatif koagülantların belirlenmesidir.

Tez çalışması kapsamında farklı kimyasal içeriklere sahip koagülantlar test edilmiştir. En yüksek TOK giderimi %54'lük bir oranla inorganik içerikli Koagülant 1 ile sağlanmıştır. Hibrit koagülant kullanılarak en yüksek TOK giderimi %44 olarak koagülant 7 ile tespit edilmiştir. Hibrit koagülantlar,

Ülkemizde çok yaygın olarak kullanım alanı bulan koagülasyon ünitelerinin mevcut bulanıklık ve partiküler madde giderim hedeflerinin yanında, organik madde giderimi de sağlandığı çok işlevli üniteler olarak değerlendirilmesine imkan kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu, hibrit koagülant, toplam organik karbon

2024, 83 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EVALUATION OF PERFORMANCE OF HYBRID AND CONVENTIONAL COAGULANTS IN DRINKING WATER TREATMENT

Abdi Bozkurt GÜRHAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROGLU

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cihan OZGUR

Conventional drinking water treatment plants are primarily operated to remove turbidity, known as solid or particulate matter in water, and to disinfect microorganisms that are harmful to human health. However, pollutants such as taste-odor, iron and manganese, organic matter, and algae can also be removed in this conventional treatment plant. The processes used in these plants are aeration, pre-oxidation, coagulation-flocculation-sedimentation (or clarification), filtration and disinfection. Today, organic matter removal in drinking water treatment has gained as much importance as turbidity removal and has created the need to use new coagulants.

This thesis study consists of 3 separate stages. In the first stage, monthly monitoring of 99 water quality parameters defined in the Regulation on the Quality and Treatment of Waters Providing Drinking Water at the inlet and outlet of the drinking water treatment plant was carried out throughout 2023. According to the monitoring results, the inlet total organic carbon (TOC) values vary between 2.07-3.42. In the second stage of the thesis, TOC removal was carried out with conventional coagulants widely used in drinking water treatment plants. TOC removal with conventional coagulants was determined between 10-50%. In the third stage, it was aimed to determine the effect of the use of hybrid coagulants on treatment performance in drinking water treatment plants to reduce total organic carbon. Today, the issue that has gained importance in drinking water treatment processes in general is to provide better removal of these compounds. The most economical and simple method applied in existing conventional drinking water treatment plants in order to increase the efficiency of organic matter removal is the determination of alternative coagulants.

Coagulants with different chemical contents were tested within the scope of the thesis study. The highest TOC removal was provided with Coagulant 1 with inorganic content with a rate of 54%. The highest TOC removal using hybrid coagulant was determined as 44% with Coagulant 7. Hybrid coagulants enable coagulation units, which are widely used in our country, to be evaluated as

multifunctional units that provide organic matter removal in addition to their existing turbidity and particulate matter removal targets.

Keywords: Drinking water, hybrid coagulant, total organic carbon

2024, 83 pages



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimini paylaşan, tezimin şekillenmesinde ve olgunlaşmasında her daim destek olan danışmanım Doç. Dr. Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU ve eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Yorum ve önerileri ile çalışmama katkı sağlayan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT ve Dr. Öğretim Üyesi Seda TÖZÜM AKGÜL'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca beni her daim destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Abdi Bozkurt GÜRHAN
ISPARTA, 2024



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. İçme suyu A1 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.2. İçme suyu A2 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.3. İçme suyu A3 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.1. Kullanılan koagülantlar	28
Şekil 3.2. Flokülasyon esnasında jar testi düzeneği.....	29
Şekil 3.3. Çökeltim esnasında jar testi düzeneği	29
Şekil 4.1. İçme suyu arıtma tesisine dair akış şeması	30
Şekil 4.2. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık TOK değerleri.....	52
Şekil 4.3. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık 254 nm UV Absorbansı Değerleri	53
Şekil 4.4. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık SUVA değerleri.....	54
Şekil 4.5. Koagülant 1'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi.....	55
Şekil 4.6. Koagülant 1'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi.....	56
Şekil 4.7. Koagülant 1'in farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	56
Şekil 4.8. Koagülant 2'nin farklı dozlarının TOK giderimine etkisi.....	57
Şekil 4.9. Koagülant 2'nin farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi	58
Şekil 4.10. Koagülant 2'nin farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	58
Şekil 4.11. Koagülant 3'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi.....	59
Şekil 4.12. Koagülant 3'ün farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi.....	60
Şekil 4.13. Koagülant 3'ün farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	60
Şekil 4.14. Koagülant 4'ün farklı dozlarının TOK giderimine etkisi.....	61
Şekil 4.15. Koagülant 4'ün farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi.....	62
Şekil 4.16. Koagülant 4'ün farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	62
Şekil 4.17. Koagülant 5'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi.....	63
Şekil 4.18. Koagülant 5'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi	64
Şekil 4.19. Koagülant 5'in farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	64
Şekil 4.20. Koagülant 6'nın farklı dozlarının TOK giderimine etkisi	65
Şekil 4.21. Koagülant 6'nın farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi ...	66
Şekil 4.22. Koagülant 6'nın farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. İnorganik koagülanların yararları ve zararları.....	8
Çizelge 2.2. Su arıtımında kullanılan bazı organik koagülanlar.....	10
Çizelge 3.1. İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik'te önerilen 99 su kalite parametresi.....	21
Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri.....	36
Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ÇKS	Çevresel kalite standardı
DOM	Doğal organik madde
DYÜ	Dezenfeksiyon yan ürün
FeCl ₃	Demir III klorür
HAA	Haloasetik asit
HAN	Haloasetonitril
PACl	Polihidroksi alüminyum klorür
SÇD	Su çerçeve direktifi
SUVA	Spesifik UV absorbansı
THM	Trihalometanlar
YSKY	Yerüstü Su Kalite Yönetmeliği



1. GİRİŞ

Su, insan sağlığı için hayati öneme sahiptir ve temiz, güvenli ve kaliteli suyun tüketilmesi önem arz etmektedir. İçme suyu, genellikle doğal su kaynaklarından elde edilir ve arıtıldıktan sonra tüketilmek üzere su şebekesine verilir. İçme suyu kaynakları arasında göller, nehirler, akarsular, yeraltı suları ve barajlar bulunmaktadır. Ancak, içme suyu temini için kullanılan su kaynaklarının temizlenmesi ve korunması, su arıtma süreçleriyle yakından ilişkilidir. İnsan sağlığı için temiz ve güvenilir içme suyu temini, su kaynaklarından başlayarak kompleks bir süreç gerektirir. İçme suyu arıtımı, suyun çeşitli kirlilik kaynaklarından arıtılarak içme suyu standartlarına uygun hale getirilmesini amaçlayan önemli aşamalar bütünüdür.

Su kalitesinin izlenmesi, içme suyu arıtma tesislerinin güvenilir ve sağlıklı içme suyu üretme kapasitesini değerlendirmesine, uygun düzeltici önlemlerin alınmasına ve halk sağlığını korumasına yardımcı olmaktadır. Su kalitesi mevsimsel olarak değişebilir. Özellikle yağış miktarındaki değişiklikler, sıcaklık, su akış hızı ve bitki örtüsü gibi faktörler, su kalitesini etkileyebilir. Bu değişkenleri izlemek, mevsimsel dalgalanmaların tespit edilmesine ve uygun önlemlerin alınmasına olanak tanır. pH seviyeleri, çözünmüş oksijen, sıcaklık, renk, koku, tat gibi kimyasal ve fiziksel parametreler, içme suyu kalitesini belirlemede önemli rol oynar. Bu parametrelerin düzenli olarak izlenmesi, suyun kalitesindeki değişiklikleri belirlemek ve düzeltici önlemleri planlamak için oldukça kritiktir. Su içerisinde bulunan mikroorganizmaların, bakteri ve virüslerin izlenmesi, suyun mikrobiyolojik açıdan güvenli olduğundan emin olmayı sağlar. Bu tür analizler, suyun içme suyu standartlarına uygun olup olmadığını değerlendirmede önemlidir. Su kaynaklarından gelen kirlilik kaynakları belirlenmeli ve izlenmelidir. Tarım faaliyetleri, endüstriyel atıklar, evsel atıklar gibi kaynaklardan gelen kirliliklerin takip edilmesi, su kalitesinin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından önemlidir. Bu parametrelerin düzenli izlenmesi, su arıtma tesislerinin etkin bir şekilde çalışmasını ve içme suyu kalitesinin sürekli olarak yüksek standartlarda olmasını sağlar. Ayrıca, su

kalitesindeki herhangi bir anormal değişikliğin hızlı bir şekilde tespit edilmesi, gerekli düzeltici önlemlerin alınmasını sağlayarak halk sağlığını korur.

"İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik" kapsamında içme suyu kaynaklarının izlenmesi için gereken parametre sayısı 41'den 99'a çıkarılmıştır. Önceki uygulamalarda sadece su kaynağının kalitesinin belirlenmesine odaklanılırken, güncellenen yönetmelikle birlikte artık arıtma tesisinin hem girişinde hem de çıkışında belirli aralıklarla su kalitesi ölçümleri yapılması gerekmektedir. İçme suyu arıtma tesisleri projelendirme aşamasında, genellikle ham su kalitesini dikkate almadan standart tip projeler kullanılarak tasarım yapılmaktadır. İçme suyu temini için kullanılacak su kaynakları, 99 su kalite parametresi ölçülerek belirlenmelidir. Bu parametreler, konvansiyonel ölçümlere ek olarak mikrokirleticileri de içermektedir. İçme suyu arıtma tesisinin proses tasarımı, belirlenmiş olan insan tüketimi standartlarının üzerinde çıkan parametreleri başarıyla arıtacak şekilde yapılmalıdır. Bu yaklaşım, içme suyu kalitesini sağlamak için önemli bir adımdır ve toplumun güvenli su temini açısından büyük öneme sahiptir.

Türkiye'de son zamanlarda tamamlanan tez çalışmaları farklı içme suyu arıtma tesislerinde su kalite analizleri ve yeni mevzuat uyarınca revizyon önerilerini kapsamaktadır. Yarma (2017) tamamladığı tez çalışmasında, Balıkesir İçme Suyu Arıtma Tesisinde, İrdemez vd., (2019) Kars ilinin Sarıkamış ilçesinde belediyeye ait içme suyu arıtma tesisinde, Karabulut vd., (2019) Şanlıurfa içme suyu arıtma tesisinde, Gedikoğlu ve Şahinkaya (2021) Balıkesir içme suyu arıtma tesisinde geniş kapsamlı çalışmalar tamamlamışlardır. Bu çalışmalar 99 su kalite parametrelerinin tamamını veya bir kısmını kullanarak arıtma tesislerinin mevsimsel veya işletim performanslarını ve revizyon önerilerini bu parametreler üzerinden değerlendirmeyi amaçlamıştır.

İçme suyu arıtımı, suyun çeşitli kirleticilerden arıtılarak içme suyu standartlarına uygun hale getirilmesi amacını taşır. 1900'lü yılların başından bu güne kullanılmakta olan konvansiyonel içmesuyu arıtma tesisleri, esas olarak bulanıklık, renk gibi suyun fiziksel görünümünün iyileştirilmesi ve son aşamada

dezenfeksiyona yönelik olarak uygulanmaktaydı. Günümüzde içmesuyu arıtımında öncelikli hedef bulanıklık ve partiküler madde giderimi ile birlikte organik madde giderimi sağlamaktır. Organik bileşiklerin önem kazanması tat ve koku kalitesindeki problemlerle birlikte başlamakla beraber, giderimine yönelik çalışmalar esas olarak klorlu organik bileşiklerin tespitiyle başlamıştır. Bu süreçte uygulanan artıma ünitelerinden biri koagülasyondur. Koagülasyon, suya eklenen kimyasal maddelerin (koagülant) su içindeki partiküllerle reaksiyona girmesi sonucu oluşan pıhtılaşma sürecidir. Bu pıhtılar, su içinde bulanıklığa neden olan çeşitli kirleticileri bir araya getirir. İçme suyu arıtımında genellikle alüminyum ve demir tuzları gibi koagülantlar kullanılır (Tözüm Akgül vd., 2020). Koagülasyonun başarılı bir şekilde uygulanması, su arıtım sürecinin etkinliğini artırır. Koagülasyonun devamı olarak, flokülasyon süreci pıhtıların daha büyük flok adı verilen kümeler oluşturmasını içerir. Bu aşama, suya eklenen flokülasyon maddelerinin etkisiyle pıhtıların bir araya gelerek daha büyük yapılar oluşturmasını sağlar. Flokülasyon, su içinde asılı duran partiküllerin çöktirmeye geçişini hızlandırarak suyun berraklaşmasına katkıda bulunur. Bu aşama, su arıtma tesislerinde içme suyu kalitesini yükseltmek için kritik bir rol oynar.

Organik koagülantlar, koagülasyon işlemine yardımcı olan organik kimyasallardır. Bu maddeler, suya eklenerek koagülasyon sürecini hızlandırabilir ve daha etkili bir çöktirme oluşturabilir. Organik koagülantlar, su arıtma tesislerinde su kalitesini artırmak için yaygın olarak kullanılır (Benalia vd., 2021). Geleneksel anorganik koagülantların yanı sıra, organik koagülantlar da tercih edilmektedir. Bu maddeler genellikle doğal polimerler veya sentetik organik bileşenler olabilir (Tetteh ve Rathilal vd., 2019). Organik koagülantların kullanımı, su arıtma tesislerinde süreç kontrolünü artırabilir ve su kalitesini daha etkili bir şekilde iyileştirebilir.

Sonuç olarak, içme suyu arıtımı, su kaynaklarından başlayarak koagülasyon, flokülasyon, dezenfeksiyon gibi aşamaları kapsar. Bu süreçler, temiz ve sağlıklı içme suyu temini için önemli adımlardır ve su arıtma tesislerinde dikkatle uygulanmalıdır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, su arıtım süreçlerinin etkinliği ve içme suyu tesislerinin güvenilirliği, toplum sağlığını korumak adına

kritik öneme sahiptir. İçme suyu arıtımında koagülasyon, flokülasyon ve dezenfeksiyon, su kalitesini artırmak ve içme suyu standartlarına uygun hale getirmek için kritik öneme sahip aşamalardır. Bu tezin amacı güncel veriler eşliğinde içme suyu arıtma tesislerinde 99 su kalite parametresinin yıllık izlenmesine takiben özellikle kimyasal arıtma ünitelerinin performansının hibrit koagülantlar üzerinden değerlendirilmesi ve revizyon önerilerinin gerçekleştirilmesidir. Akademik çevrelerde bu konuların detaylı bir şekilde incelenmesi, içme suyu arıtımının sürekli geliştirilmesi ve su kaynaklarının korunması için önemli bir katkı sağlayabilir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Su kaynakları, yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu kaynaklar, insanların temel ihtiyaçlarından biri olan temiz ve güvenli içme suyunun sağlanmasında kilit bir role sahiptir. İnsanlar için içme suyu, sağlık ve yaşamın devamı için hayati bir öneme sahiptir. Temiz içme suyu olmadan, su kaynaklı hastalıkların yayılma riski artar ve ölümcül sonuçlara yol açabilir. İçme suyu kaynakları ayrıca tarımın ve gıda üretiminin de temel bileşenlerindendir. Tarım sulama suyu, dünya nüfusunu beslemek için gereklidir ve bu da içme suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğini daha da önemli hale getirir (Ulugergerli, 2021). Endüstriyel sektörler de içme suyu kaynaklarına bağımlıdır ve üretim süreçlerinde su kullanımı yaygındır.

İçme suyu kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi, gelecek nesiller için temiz ve güvenli içme suyu sağlamak için önemlidir. Ayrıca, su kaynaklarının kirletilmesinin ve tüketilmesinin çevresel etkilerini en aza indirmek de kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, içme suyu kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, suyun insan yaşamının yanı sıra ekonomik kalkınma ve çevresel koruma açısından da hayati bir kaynak olduğunu vurgulanmalıdır. Bu bölümde ülkemizdeki içme suyu kaynakları, su kaynaklarının arıtımında kullanılan prosesler ve işlemler, içme suyu arıtımının geleceği üzerine tamamlanmış bilimsel çalışmalar yer almaktadır.

2.1. İçme Suyu Arıtımında Kimyasal Arıtma Uygulamaları

Günümüzde içmesuyu arıtımında öncelikli hedef bulanıklık ve partiküler madde giderimi ile birlikte organik madde giderimi sağlamaktır. Organik bileşiklerin önem kazanması tat ve koku kalitesindeki problemlerle birlikte başlamakla beraber, giderimine yönelik çalışmalar esas olarak klorlu organik bileşiklerin tespitiyle başlamıştır. Doğal organik madde (DOM), yüzey suyu kaynaklarının çoğunda asılı parçacıklar, kolloidlerDoğal organik madde, farklı hidrolojik, biyolojik ve jeolojik etkileşimlerin bir sonucu olarak su kaynaklarında doğal olarak oluşan, heterojen hidrofobik ve hidrofilik bileşenlerden oluşan karmaşık bir matris olarak tanımlanmaktadır (Sillanpää vd., 2015; Jones ve Bridgeman,

2019). DOM çok çeşitli kimyasal bileşimlere, moleküler boyutlara, fonksiyonel grup kimyalarına, çözünürlüklere ve polaritelere sahiptir (Adusei-Gyamfi vd., 2019; Dayarathne vd., 2021).

İçme suyu arıtımında hümik asit ve fulvik asit olmak üzere DOM varlığı, klor veya kloramin gibi bir dezenfektan maddeyle temas ettiğinde dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşumuna katkıda bulunur. Trihalometanlar (THM), haloasetonitriller (HAN) ve haloasetik asitler (HAA) dahil olmak üzere içme suyundaki bu DYÜ'lerin toksik olduğu ve çeşitli kanser türleri veya diğer hastalıklarla ilişkili olduğu bulunmuştur (Sillanpää vd., 2018; Gilca ve., 2020). DYÜ'lerin potansiyel sağlık etkilerine ilişkin kamuoyu endişeleri nedeniyle İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre THM'ler için 100 µg/L üst limit belirlenmiştir (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 2013). Bu nedenle, DYÜ'lerin oluşumunu en aza indirmek için dezenfeksiyon işleminden önce ham sudaki DOM konsantrasyonu mümkün olduğunca azaltılmalıdır.

İçme suyunun arıtılmasında DOM'un giderilmesi için koagülasyon ve flokülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, ileri oksidasyon prosesleri ve membran prosesleri gibi çok arıtma teknikleri kullanılmasına rağmen, en yaygın ve uygulanabilir içme suyu arıtma süreci koagülasyon – flokülasyon – çöktürme ve kum filtrasyonu olarak kabul edilir (Dayarathne vd., 2021). Koagülasyon, pozitif yüklü metaller kullanılarak daha büyük parçacıkların (topakların) oluşması ve ardından organik kirleticilerin çökmesiyle DOM parçacıklarının kararsızlaştırılmasına dayanır. Bu genellikle $Al_2(SO_4)_3$ veya $FeCl_3$ ile gerçekleştirilir. Su arıtımının kış mevsimi koşullarda gerçekleştirilmesi özellikle zordur, çünkü düşük sıcaklıkların koagülasyon hızı, koagülasyon dozu ve oluşan flokların yapısı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle koagülasyon süreci engellenir (Xiao, 2008). Son yıllarda alüminyum bazlı koagülantlar, pH ve sıcaklık değişimine daha az duyarlı oldukları kanıtlandığından, pratikte giderek daha fazla kullanılmaktadır (Go vd., 2021). Polihidroksi alüminyum klorür (PACl) (Al^{3+} , $[Al_2(OH)_2]^{4+}$, $[Al_8(OH)_2O]^{4+}$, $[AlO_4Al_{12}(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$), yüksek oranda pozitif yüklü iyonlar içerir (Yan vd., 2008; Wang vd., 2015). Bu türlerin DOM üzerinde büyük bir nötralizasyon ve destabilize etme etkisi vardır. PACl koagülantlarının önemli bir özelliği, PACl'deki

polimerik kısmın doğasını kontrol eden bazlık derecedir (Lin vd., 2008). Gerçek uygulamalarda, DOM'u yüzey suyundan uzaklaştırmak için koagülasyon ve flokülasyonun etkinliği esas olarak koagülantın tipine ve dozajına, pH değerine, karıştırma koşullarına, suyun sıcaklığına, flokülantın tipine ve dozajına bağlıdır (Dayarathne vd., 2021).

DOM'un doğasını daha iyi değerlendirmek için toplam organik karbon (TOK), UV/Vis absorbansı ve spesifik UV absorbansı (SUVA) dahil olmak üzere birkaç genel parametre kullanılabilir (Pan vd., 2016; Masu vd., 2011). 254 nm dalga boyunda kaydedilen absorbans, aromatik gruplara sahip veya genişletilmiş konjugasyona sahip organik bileşiklerin konsantrasyonunu gösterir (Brezinski ve Gorczyca, 2019). L/mg·m cinsinden ifade edilen SUVA, $\lambda = 254$ nm'deki absorbans ve su örneğinin TOK konsantrasyonuna oranıdır ve >4 bir SUVA değeri, esas olarak hidrofobik ve özellikle aromatik DOM'un varlığını gösterirken, <3 'lük bir SUVA değeri, ham su ve içme suyunda esas olarak hidrofilik DOM'un varlığını gösterir (Masu vd., 2011).

2.2. İçme Suyu Arıtımında Hibrit Koagülant Uygulamaları

Su arıtma tesislerinde en yaygın kullanılan inorganik pıhtılaştırıcılar alüminyum ve demir tuzlarıdır. Bunlar arasında alüminyum esaslı metaller (alüminyum klorür, alüminyum sülfat, sodyum alüminat) ve demir esaslı metaller (demir sülfat, ferrik sülfat, ferrik klorür) yer almaktadır (Gebbie, 2001; Bolto ve Gregory, 2007). Bu pıhtılaştırıcıların ham suya eklenmesi, monomerik ve polinükleer türler üreten hidroksil iyonları (OH^-) ile bir dizi reaksiyona girer. Bunlar, alüminyum ve demir için sırasıyla $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ve $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ kompleks su moleküllerini vermek üzere hidratlanan üç değerlikli iyonlarını serbest bırakmak üzere metal tuzlarının ayrışmasıyla sonuçlanır (Lee vd., 2014; Yang vd., 2016). Bu, çözünebilir $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ oluşturmak üzere su moleküllerinin (H_2O) ve (OH^-) iyonlarıyla değiştirilmesiyle sonuçlanır; bu da üç değerlikli iyonların kolloidlerin negatif yüzeyine güçlü bir şekilde adsorbe edilmesiyle pıhtılaşma performansını artırır (Gupta vd., 2012). Metal bazlı pıhtılaştırıcılar, düşük maliyetleri ve bulunabilirlikleri nedeniyle en yaygın şekilde kullanılmalarına

rağmen bazı dezavantajları vardır (Bolto ve Gregory, 2007). Bu dezavantajlar arasında yüksek dozaj bağımlılığı, yüksek pH, sıcaklık değişimine karşı zayıflık ve yüksek çamur oluşumu yer almaktadır. Bu inorganik koagülantların yararları ve zararları ile Çizelge 2.1'de sunulmaktadır. Ayrıca sularda aşırı dozda alüminyum ve demir bulunması, kabızlık, kolik atakları ve spazm gibi insan sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir. Ek olarak, demir bazlı koagülantlar oldukça yakıcıdır ve kimyasal dökülmeler ve sızıntılarla ilişkili oldukça görünür pas renginde lekeler üretirler (Duan ve Gregory, 2003; Kyzas ve Matris, 2016). Bu nedenle, su arıtımı için organik ve doğal koagülantların kullanımının inorganik koagülantlara alternatif olarak kullanılmasına büyük bir ilgi vardır.

Çizelge 2.1. İnorganik koagülantların yararları ve zararları (Kweinor Tetteh ve Rathilal vd., 2019)

	Avantaj	Dezavantaj
Alüminyum Sülfat $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	Kullanımı ve uygulanması kolaydır; en çok kullanılan, kireçten daha az çamur üretir; pH 6,5 ile 7,5 arasında en etkili	Suya çözünmüş katılar (tuzlar) eklenir; sınırlı bir pH aralığında etkili
Sodyum Alüminat $Na_2Al_2O_4$	Sert sularda etkilidir; genellikle küçük dozaja ihtiyaç duyulur	Genellikle şapla birlikte kullanılır; yüksek fiyatlı, yumuşak sularda etkisizdir
Polialüminyum Klorür (PAC) $Al_{13}(OH)_{20}(SO_4)_4Cl_{15}$	Bazı uygulamalarda oluşan flok, şaptan daha yoğundur ve daha hızlı çöker	

Çizelge 2.1. İnorganik koagülantların yararları ve zararları (Kweinor Tetteh ve Rathilal vd., 2019) (Devamı)

	Avantaj	Dezavantaj
Demir Sülfat $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	pH 4–6 ve 8,8–9,2 arasında etkilidir	Suya çözünmüş katılar (tuzlar) eklenir; genellikle alkalilik eklemek gerekir
Demir Klorür $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	pH 4 ile 11 arasında etkilidir	Suya çözünmüş katılar (tuzlar) eklenir; şaptan iki kat daha fazla alkalilik tüketir
Demir Sülfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kireç kadar pH'a duyarlı değildir	Suya çözünmüş katılar (tuzlar) ekler; genellikle alkalilik eklemeniz gerekir
Kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Genel olarak kullanılan; çok etkili, ham sulara tuz eklenmez	pH'a bağımlı; büyük miktarlarda çamur üretir. Doz aşımı su kalitesinin düşmesine neden olabilir

Organik pıhtılaştırıcılar genellikle alüminyum ve demir bazlı pıhtılaştırıcıların sentezlenmiş monomerleridir ve su ortamlarında koagülasyon yardımcıları veya flokülantlar olarak uygulanabilir (Bolto ve Gregory, 2007). Çizelge 2.2.'de su arıtımında kullanılan bazı organik koagülantlar gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Su arıtımında kullanılan bazı organik koagülantlar (Kweinor Tetteh ve Rathilal vd., 2019)

Organik Koagülant	Kullanımı
Polialüminyum klorohidrat (ACH)Al ₂ (OH) ₅ Cl	Ham suyun düşük pH ve alkaliniteye sahip olduğu yerlerde şap yerine kullanılır. pH üzerinde çok az etkisi vardır.
Polialüminyum Klorür (PACl)Al ₂ (OH) ₃ Cl ₃	Ham suyun düşük pH ve alkaliniteye sahip olduğu yerlerde şap yerine kullanılır. pH üzerinde ACH'den daha büyük etkiye sahiptir
Polialüminyum silikosülfat Al ₂ (OH) ₃ .24SiO ₂ .1(SO ₄)1.58	Kolayca floklar oluşturur
Poliferrik sülfat Fe ₂ (OH) _{0.6} (SO ₄)2.7	Çoğunlukla yağ emülsiyonlu atık su için kullanılır

2.3. Türkiye'deki İçme Suyu Yönetimi

Yerüstü Su Kalite Yönetmeliği (YSKY), açık deniz dışında kalan kıyı ve geçiş suları dahil tüm yerüstü su kütlelerinin biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalite özelliklerinin tayini, kalite özelliklerine göre sınıflandırılması ile suyun nicel ve nitel özelliklerinin izlenmesi amacıyla 30/10/2012'de 28483 sayılı Resmî Gazetede yayınlanmış ve 15/4/2015'de 29327 sayılı RG ile değişikliğe uğramıştır. YSKY ile, mevcut su kütlelerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle örtüşecek şekilde, koruma ve kullanma dengesi de gözetilerek, SÇD'de belirtilen iyi su durumu hedefine ulaşılması için gerekli tedbirlere yönelik usul ve esaslar belirlenmiştir. Bu yönetmelik sayesinde, yerüstü su kütlelerinin mevcut fiziko-kimyasal ve biyolojik kalitesinin korunması, iyileştirilmesi ve o su kütlesi için belirlenen çevresel hedeflere ulaşılması garanti altına alınmıştır. YSKY'de, SÇD ile paralel olarak birçok kavram tanımlanmıştır. Su kütlesi, bir akarsu, nehir/kanal, göl/rezervuar, geçiş suyu/kıyı suyunun bir bölümü veya tamamı olan yönetilebilir bir yerüstü suyu birimini; referans su kütlesi ise, baskıların önemli olmadığı veya baskıların yaptığı

etkilerin ekosistemin işleyişini etkilemediği, bu yüzden de doğala yakın olan su kütlelerini belirtmektedir. Bir su kütesinde ulaşılabilecek en iyi su durumunu çevresel hedef kavramı belirtmektedir. ÇKS değeri ise, kirleticilerin su, dip çökeltisi ya da biyotada çevre ve insan sağlığına olumsuz etki etmemesi için aşmaması gereken konsantrasyonu gösterir (Gerçek, 2022).

Türkiye'deki içme suyu kaynakları oldukça çeşitlidir. Ülkenin coğrafi yapısı, farklı iklim bölgeleri ve hidrolojik koşullar içme suyu kaynaklarının dağılımını etkilemektedir. Türkiye'de birçok nehir ve göl vardır. Büyük nehirler arasında Dicle ve Fırat gibi akarsular yer alırken, göller arasında Van Gölü, Beyşehir Gölü, Eğirdir Gölü ve Büyükçekmece Gölü gibi önemli su kaynakları bulunmaktadır. Bu yüzey suları, içme suyu sağlama potansiyeline sahiptir. Türkiye, yeraltı su kaynakları açısından da zengin bir ülkedir (Yılmaz ve Peker, 2013). Yeraltı suyu, özellikle kurak dönemlerde ve kırsal bölgelerde içme suyu sağlama açısından önemlidir. Türkiye, içme suyu temini için birçok baraj ve gölet inşa etmiştir. Bu yapay su birikintileri hem içme suyu sağlama hem de sulama amaçları için kullanılır. Örneğin, Atatürk Barajı ve Keban Barajı hem enerji üretimi hem de içme suyu temini için kullanılır (Ardıç, 2015). Türkiye'nin sahil bölgelerinde içme suyu ihtiyacını karşılamak için desalinizasyon tesisleri kullanılarak deniz suyu arıtılmaktadır. Bu tesisler deniz suyunu tuzdan arındırarak içme suyu haline getirir (Bakış ve Gürcan, 2010). Türkiye'nin iç kesimlerinde yüksek dağlar ve akarsular, temiz içme suyu sağlama potansiyeline sahiptir. Bu bölgelerdeki kayak merkezleri ve dağ köyleri için bu sular oldukça önemlidir (Şahin, 2009). Türkiye'nin içme suyu kaynakları, şehirler, kasabalar, tarım alanları ve sanayi bölgeleri gibi farklı kullanım alanlarına hizmet etmektedir. Ancak, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve korunması önemlidir, çünkü nüfus artışı, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, su kaynaklarına olan talebi artırmaktadır. Bu nedenle Türkiye, su kaynaklarını korumak, temizlemek ve etkili bir şekilde yönetmek için çeşitli projeler ve politikalar geliştirmektedir.

Türkiye, su kaynaklarını daha etkili bir şekilde yönetmek ve gelecekteki su taleplerini karşılamak için su kaynakları planlaması ve yönetimi konusunda büyük çaba harcamaktadır. Büyük projeler ve planlar, su kaynaklarının daha

dengeli bir şekilde dağıtılmasını ve sürdürülebilir kullanımını hedeflemektedir. Türkiye, içme suyu kaynaklarının kalitesini izlemek ve korumak için düzenli su kalitesi ölçümleri yapmaktadır. Bu ölçümler, suyun güvenli ve temiz olmasını sağlamaktadır. Türkiye, içme suyu sağlama ve sulama amaçları için birçok büyük baraj ve gölet inşa etmiştir (Yücel vd., 2013). Bu projeler, su kaynaklarının daha iyi yönetilmesine ve suyun depolanmasına yardımcı olmaktadır. Türkiye, su kaynaklarını daha verimli kullanmak ve su tasarrufu önlemlerini teşvik etmek için çeşitli projeler ve politikalar geliştirmiştir. Bu projeler ve politikalar suyun sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını teşvik etmektedir. Türkiye, su kaynaklarını kirleten endüstriyel atıkları ve kentsel atıkları kontrol etmek için çevresel düzenlemeler ve denetimler uygulamaktadır. Bu düzenleme ve denetimler su kaynaklarını korumak ve temizlemek için önemlidir. Türkiye, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu değişikliklere uyum sağlamak için çalışmalar yapmaktadır. Daha düzensiz yağışlar ve kuraklık dönemlerine karşı hazırlıklar yapılmaktadır. Türkiye'nin su kaynakları yönetimi, suyun sürdürülebilir kullanımını teşvik etme ve su kaynaklarını koruma amacıyla bir dizi çaba içermektedir. Ancak, su kaynaklarının yönetimi her zaman karmaşık bir görevdir ve nüfus artışı, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi faktörlerle daha da karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle Türkiye, su kaynakları yönetimi alanında sürekli olarak çalışmalarını sürdürmekte ve su kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanmak için yeni stratejiler geliştirmektedir.

Türkiye'deki sular, kalite bakımından genellikle üç ana grupta sınıflandırılır (Canpolat, 2019). İçme suyu kaynakları insan tüketimi için kullanıldığından dolayı en yüksek kalite standartlarına uymalıdır. Türkiye'de içme suyu kalitesi, sıkı denetim ve analizlerle izlenmekte ve belirli su kalitesi parametrelerine göre düzenlenmektedir. Endüstriyel veya tarımsal kullanım için sular, tarım sulaması, sanayi üretimi ve diğer endüstriyel kullanımlar için kullanılan suları da içermektedir. Bu suların kalitesi, kullanıldıkları amaçlara göre değişebilir ve belirli endüstriyel süreçler veya tarım uygulamaları için uygun olmalıdır. Her bir su türü için farklı su kalitesi kriterleri ve standartları bulunur ve bu standartlar, suyun hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak belirlenmektedir. Türkiye'de

çeşitli yönetmelikler ve kurumlar, su kalitesini izlerken ve su kaynaklarının korunması için gerekli önlemleri de almaktadırlar. Bu önlemler, suların temiz, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır.

İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması "İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik" ile düzenlenmektedir. Bu yönetmelik, içme suyu temini ve kalitesini belirlemek, izlemek ve korumak amacıyla çeşitli standartlar ve düzenlemeler içermektedir. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmeliğinin amacı, insan sağlığı için güvenli ve kaliteli içme suyunun temini, içme suyu arıtma tesislerinin işletilmesi, su kalitesinin izlenmesi ve içme suyu kaynaklarının korunmasıdır. Yönetmeliğe göre içme suyu kalitesi standartları içme suyu kaynaklarının kalitesini ve içme suyu arıtma tesislerinin işleyişini düzenleyen çeşitli standartlar içermektedir. Bu standartlar, içme suyu kaynaklarının korunmasını ve suyun güvenli bir şekilde tüketilmesini sağlamaktır. Su kalitesi izleme ve kontrol, su kaynaklarından alınan numunelerin düzenli olarak analiz edilmesi yoluyla su kalitesinin izlenmesidir. Bu analizler sayesinde suyun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri değerlendirilebilir. İçme suyu arıtma tesislerin güvenli ve etkili bir şekilde işletilmesi, içme suyu kalitesinin korunmasında kritik bir rol oynar.

İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'e göre içme ve kullanma suları kalite kategorilerine ayrılmıştır. Bu kategoriler, suların kalite seviyelerini ve kullanım amaçlarını belirlemek için kullanılır.

- **İçme Suyu (A Kategorisi):** Bu kategori, insanların doğrudan içmesi amaçlanan suları kapsar. İçme suyu kalite kategorisi, içme suyu standartlarına uyan suları tanımlar. Bu suların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri, içme suyu standartlarına uygun olmalıdır. İçme suyu kalitesi çok yüksek olmalıdır ve insan sağlığına zarar vermeyen suyu ifade etmektedir.

- **Kullanma Suyu (B Kategorisi):** Bu kategori, insanların doğrudan içmeyi amaçlamadığı ancak diğer kullanım amaçları için (örneğin, ev temizliği, bahçe sulama) kullandığı suları içerir. Kullanma suyu kalitesi, içme suyu kadar yüksek olmak zorunda değildir, ancak sağlık riski taşımamalıdır. Kullanma suyu için belirli kalite standartları ve parametreler bulunur.
- **Endüstriyel Sular (C Kategorisi):** Bu kategori, endüstriyel işlemler, soğutma sistemleri ve diğer endüstriyel kullanımlar için tasarlanmış suları içerir. Bu suların kalite gereksinimleri, kullanıldıkları endüstriyel süreçlere ve ekipmanlara göre değişebilir.
- **Tarımsal Sulama Suları (D Kategorisi):** Bu kategori, tarım alanlarının sulanması için kullanılan suları ifade eder. Tarımsal sulama sularının kalitesi, bitki büyümesini desteklemek ve toprak tuzluluğunu artırmamak için belirli gereksinimlere sahip olmalıdır.

Bu kalite kategorileri, suların kullanım amaçlarına ve sağlık risklerine göre belirlenir ve İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Her kategori için farklı kalite parametreleri ve standartlar belirlenir ve sular, bu standartlara uygun olarak sınıflandırılır. Bu düzenlemeler, suların insan sağlığına ve çevreye zarar vermeden güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için uygulanır.

İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te İçme Suyu kategorisi, farklı alt kategorilere ayrılmıştır ve bu alt kategoriler İçme Suyu A1, A2 ve A3 olarak gruplandırılmıştır.

- **İçme Suyu A1 Kategorisi:** İçme suyunun en yüksek kalite gereksinimlerini karşılayan ve içme suyu standartlarına tam olarak uyan suları ifade eder. İçme Suyu A1 kategorisine dahil olan sular, insan sağlığını korumak için en güvenli ve en temiz içme suyu olarak kabul edilir. Bu suların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri içme suyu standartlarına uyar ve insan tüketimi için tamamen güvenlidir. İçme Suyu A1 kategorisindeki sular, doğrudan içme suyu tüketimi için kullanılır.

- **İçme Suyu A2 Kategorisi:** İçme suyu standartlarına uygun olmakla birlikte bazı kalite parametrelerinde sınırlı sapmaları olan suları ifade eder. Bu sular, insan sağlığına zarar vermediği sürece içme suyu olarak kullanılabilir. İçme Suyu A2 kategorisindeki sular, belirli kalite sınırlarının altındaki fiziksel, kimyasal veya mikrobiyolojik özelliklere sahip olabilir, ancak yine de insan tüketimi için güvenli kabul edilir.
- **İçme Suyu A3 Kategorisi:** İçme suyu standartlarına uymayan veya içme suyu kalitesi açısından belirgin sorunlar taşıyan suları ifade eder. İçme Suyu A3 kategorisindeki sular, doğrudan içme suyu olarak kullanılamazlar ve özel işlem gerektirebilirler. Bu sular, insan sağlığına zarar verebilecek kadar düşük kaliteli veya kirlenmiş olabilir.

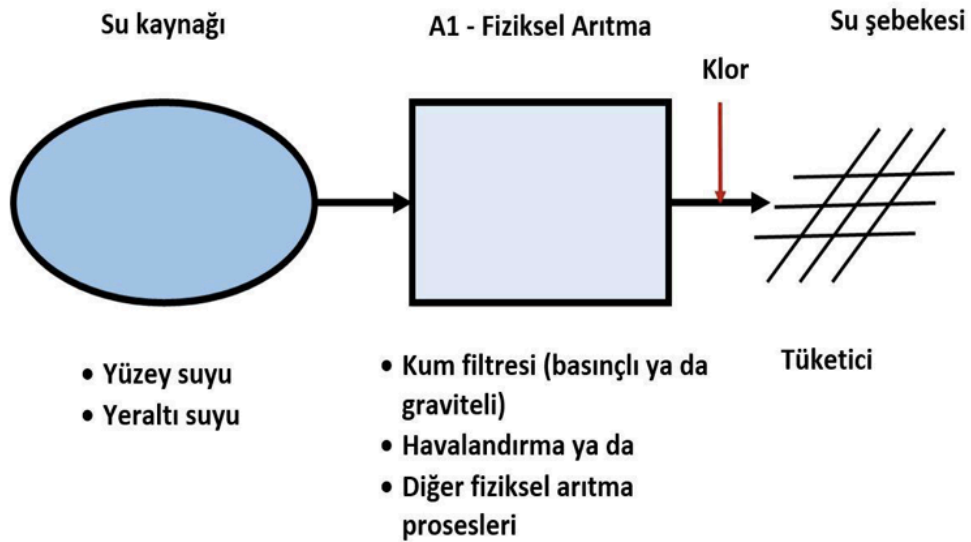
2.4. Su Arıtımında Kullanılan Süreçler ve İşlemler

İçme Suyu A1 Kategorisi arıtma tesisi, içme suyu olarak kullanılacak suyun en yüksek kalite gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış ve işletilen bir su arıtma tesisini ifade eder. Bu tesisler, içme suyu standartlarına tam olarak uyan suların üretimini sağlamak amacıyla inşa edilir. İçme Suyu A1 Kategorisi arıtma tesisleri, genellikle aşağıdaki temel bileşenleri içerir.

- **Su Alma ve Ön Arıtma:** Tesis, su kaynağından (örneğin, nehir veya göl) suyu alır ve ön arıtma işlemleriyle suyu temizler. Bu aşamada büyük partiküller, sedimentler ve yüzeysel kirlilikler giderilir.
- **Filtrasyon:** Su, filtrelerden geçirilir. Filtreler, suyun daha fazla partikül ve kirleticiden arındırılmasını sağlar.
- **Dezenfeksiyon:** Su, mikrobiyolojik kirleticileri ortadan kaldırmak veya etkisiz hale getirmek için dezenfeksiyon işlemine tabi tutulur. Bu işlem genellikle klor, ozon veya ultraviyole (UV) ışık kullanılarak yapılır.
- **Su Depolama ve Dağıtım:** Arıtılmış su, depo tanklarına veya su kulelerine pompalanır ve ardından şehir veya kasaba şebekesine dağıtılır. Bu aşama, içme suyunun kullanıcılara ulaştırılmasını sağlar.

- **Sürekli İzleme ve Kalite Kontrolü:** İçme suyu A1 Kategorisi tesislerinde sürekli izleme yapılır ve su kalitesi düzenli olarak kontrol edilir. Bu, suyun kalitesinin sürekli olarak yüksek seviyelerde tutulmasını sağlar.

İçme suyu A1 Kategorisi arıtma tesisleri, içme suyunun en yüksek kalite standartlarına uygun olmasını ve insan sağlığını korumasını amaçlar. Bu tür tesisler, su kaynaklarından alınan suyu en etkili şekilde işler ve içme suyu standartlarına uyan suyun üretimini sağlar. Bu sayede insanlar güvenli ve temiz içme suyu tüketebilirler. İçme suyu A1 Kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

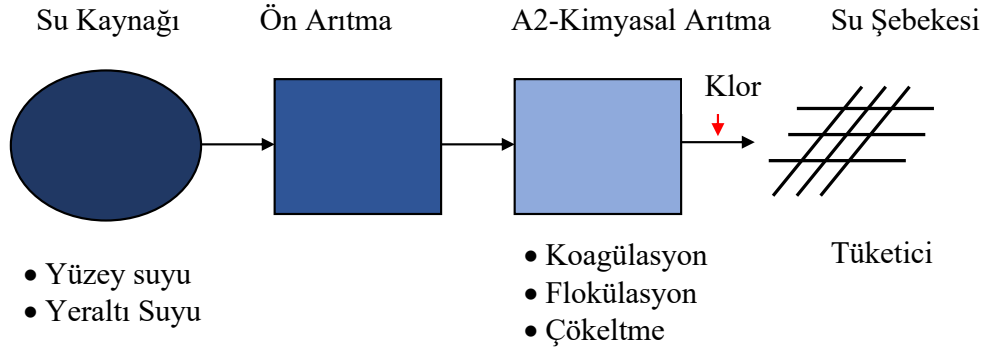


Şekil 2.1. İçme suyu A1 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi

İçme Suyu A2 Kategorisi arıtma tesisi, içme suyu standartlarına uyan ancak bazı kalite parametrelerinde sınırlı sapmaları olan suları arıtmak ve insan sağlığını korumak için tasarlanmış bir su arıtma tesisi olarak kullanılır. İçme Suyu A2 Kategorisi, içme suyu kalitesinin yüksek olduğu ancak belirli sınırların altında olan su kaynaklarını işlemek için idealdir.

- **Su Alma ve Ön Arıtma:** Su, su kaynağından alınır ve ön arıtma işlemlerine tabi tutulur. Bu aşamada büyük partiküller, sedimentler ve yüzeysel kirlilikler giderilir.
- **Koagülasyon ve Çökeltme:** Su, kimyasal koagülasyon ile işlenir, bu da su içindeki küçük partiküllerin bir araya gelmesine ve çökmesine yol açar. Bu işlem, suyun daha fazla arıtma için hazırlanmasına yardımcı olur.
- **Filtrasyon:** Su, filtrelerden geçirilir. Filtreler, suyun daha fazla partikül ve kirleticiden arındırılmasını sağlar.
- **Dezenfeksiyon:** Su, mikrobiyolojik kirleticileri ortadan kaldırmak veya etkisiz hale getirmek için dezenfeksiyon işlemine tabi tutulur. Bu işlem genellikle klor, ozon veya ultraviyole (UV) ışık kullanılarak yapılır.
- **Su Depolama ve Dağıtım:** Arıtılmış su, depo tanklarına veya su kulelerine pompalanır ve ardından şehir veya kasaba şebekesine dağıtılır. Bu aşama, içme suyunun kullanıcılara ulaştırılmasını sağlar.
- **Sürekli İzleme ve Kalite Kontrolü:** İçme suyu A2 Kategorisi tesislerinde sürekli izleme yapılır ve su kalitesi düzenli olarak kontrol edilir. Bu, suyun kalitesinin sınırlar içinde tutulmasını ve insan sağlığını korumayı amaçlar.

İçme Suyu A2 Kategorisi arıtma tesisleri, içme suyunun genel olarak kaliteli olduğu ancak belirli parametrelerde sınırlı sapmaların olduğu su kaynaklarından gelen suları işlemek için tasarlanır. Bu tesisler, içme suyu kalitesini iyileştirmek ve içme suyu standartlarına uyan suyu sağlamak için kullanılır. Bu sayede insanlar güvenli ve temiz içme suyu tüketebilirler. İçme suyu A2 Kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



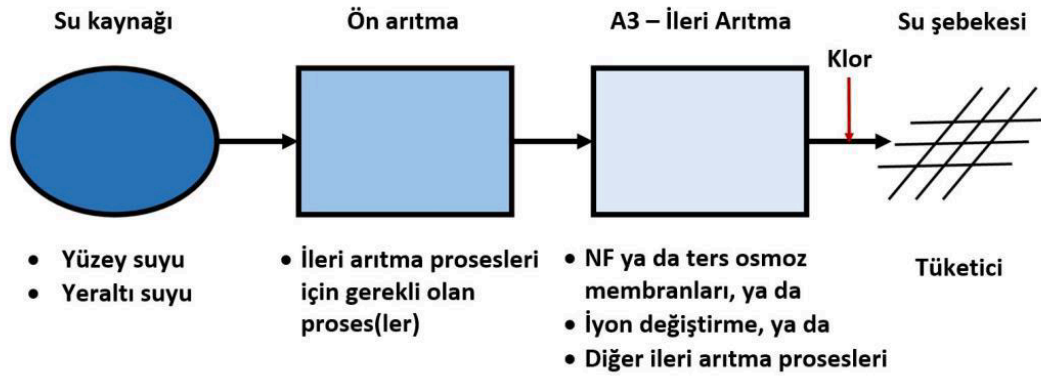
Şekil 2.2. İçme suyu A2 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi

İçme Suyu A3 Kategorisi arıtma tesisi, içme suyu standartlarına uymayan veya içme suyu kalitesi açısından belirgin sorunlar taşıyan suları işlemek ve temiz içme suyu üretmek için tasarlanmış bir su arıtma tesisi olarak kullanılır. İçme Suyu A3 Kategorisi, içme suyu için gerekli kalite standartlarını karşılamayan veya insan sağlığına zarar verebilecek kadar düşük kaliteli veya kirlenmiş su kaynaklarından gelen suları düzelter bir işleme sürecini ifade etmektedir.

- **Su Alma ve Ön Arıtma:** Su, su kaynağından alınır ve ön arıtma işlemlerine tabi tutulur. Bu aşamada büyük partiküller, sedimentler ve yüzeysel kirlilikler giderilir.
- **Koagülasyon ve Çökeltme:** Su, kimyasal koagülasyon ile işlenir, bu da su içindeki küçük partiküllerin bir araya gelmesine ve çökmesine yol açar. Bu işlem, suyun daha fazla arıtma için hazırlanmasına yardımcı olur.
- **Filtrasyon:** Su, filtreler aracılığıyla geçirilir. Filtreler, suyun daha fazla partikül ve kirleticiden arındırılmasını sağlar.
- **Dezenfeksiyon:** Su, mikrobiyolojik kirleticileri ortadan kaldırmak veya etkisiz hale getirmek için dezenfeksiyon işlemine tabi tutulur. Bu işlem genellikle klor, ozon veya ultraviyole (UV) ışık kullanılarak yapılır.

- **İleri Arıtma:** İçme Suyu A3 Kategorisi arıtma tesisleri, içme suyunun kalitesini iyileştirmek için ileri işleme adımları da içerebilir. Bu, özellikle suda bulunan belirgin kirlilikler veya kalite sorunları varsa uygulanabilir.
- **Su Depolama ve Dağıtım:** Arıtılmış su, depo tanklarına veya su kulelerine pompalanır ve ardından şehir veya kasaba şebekesine dağıtılır. Bu aşama, içme suyunun kullanıcılara ulaştırılmasını sağlar.

İçme Suyu A3 Kategorisi arıtma tesisleri, içme suyu kalitesini düzelter ve içme suyu standartlarına uyan suyu sağlayan önemli tesislerdir. Bu tesisler, su kaynaklarından gelen sorunlu suları işleyerek insan sağlığını korumayı amaçlar. Bu sayede, sıkıntılı su kaynaklarından gelen su, güvenli ve temiz içme suyuna dönüştürülür, böylece insanlar sağlıklı su tüketebilirler. İçme suyu A3 Kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. İçme suyu A3 kategorisi arıtma tesisi şematik gösterimi

3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışması deneysel açıdan iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada “İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik” kapsamında önerilen 99 su kalite parametresinin 12 aylık analizi tamamlanmıştır. Tezin ikinci aşamasında ise toplam organik karbon üzerinden farklı koagülantların performanslarının değerlendirilmesi amacıyla jar testleri ile tamamlanmıştır.

3.1. Su Numunelerinin Temini

Tez çalışması kapsamında Ocak 2023-Aralık 2023 dönemi 12 ay boyunca içme suyu arıtma tesisi giriş ve çıkışından numuneler alınmıştır. Her bir noktadan 5L yedek olacak şekilde ISO 4796 standardına uygun şeffaf ve amber payreks cam şişelere iki farklı şişede toplam 10 L numune alınmıştır. Şişelerin her biri içerisinde hava kalmayacak şekilde tamamen numune ile doldurulmuştur. Her bir numune şişesi işaretlendikten sonra analiz zamanına kadar soğuk dolaplarda muhafaza edilmiştir.

3.2. Su Kalitesi Analizleri

İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik’te önerilen 99 su kalite parametresi Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
pH		Elektrometrik Metot	SM 4500 H+ B	
Bulanıklık	NTU	Türbidimetrik	TS 5091 EN ISO 7027	0,02
İletkenlik (20 °C'de)	µS/cm	Elektrot yöntemi	SM 2510 B	0
Renk	Pt/Co	Spektrofotometrik	TS EN ISO 7887	5
Bromat	µg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN ISO 15061	0,1
Florür	µg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	200
Klorür	mg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	0,2
Bromür	µg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	25
Nitrat	mg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	0,2
Nitrit	mg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	0,1
Amonyum	mg/L	Phenate Method	SM 4500 NH ₃ F	0,02
Ortofosfat	mg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	0,15
Siyanür	µg/L	Spektrofotometrik	SM 4500-CN C/ SM 4500-CN E	1
Sülfat	mg/L	İyon kromatografisi (IC)	TS EN 10304-1	0,2
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/L	TOC-İnfararet	TS 8195 EN 1484	0,3

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Artırılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Alüminyum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	2
Antimon	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	5
Arsenik	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Bakır	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Baryum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Berilyum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Bor	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	100
Cıva	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	0,1
Çinko	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Demir	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1,5
Kadmiyum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	0,1
Kobalt	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Krom	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Kurşun	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Mangan	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Nikel	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Selenyum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Sodyum	mg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	100
Vanadyum	µg/L	ICP/MS	TS EN ISO 17294 1-2	1
Poliklorlubifeniller (PCB'ler)	µg/L	SPE&GC/ECD	EPA 8082A	0,01
Fenoller	mg/L	SPE&GC/MS	EPA 8270 D	0,00001
Trihalometanlar	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
1-1 Dikloroetan	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
1,2-Dikloroetan	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Vinil klorür	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Tetrakloroetilen	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Benzen	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Trikloroetilen	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Diklorometan	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,1
Benzo(a)piren	µg/L	SPE&GC/MS	EPA 8270 D	0,005

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Artırılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Naftalin	µg/L	SPE&GC/MS	EPA 8270 D	0,1
Akrilamid	µg/L	PT&GCMS	EPA 524.2	0,05
Di (2-etilhekzil) fitalat (DEHP)	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-15/Rev.00)	0,1
Hekzakloro-benzen	µg/L	SPE&GC-MS	EPA 8270 D	0,01
Hekzakloro-sikloheksan	µg/L	GC/ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,01
Oktabromodifenil eter	µg/L	GC/ECD	In House Method (N-18/Rev.00)	0,1
Toplam Pestisit	mg/L	GC/MS&ECD-LC/MSMS	Hesaplama metodu	0,01
Toplam DDT	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,01
2,4-d izooktil ester	µg/L	GC-ECD	EPA 8151A	0,01
4-kloroanilin	µg/L	GC-MS	EPA 8270 D	0,01
Alaklor	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-14/Rev.00)	0,001
Aldrin	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,001
Asetoklor	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Bromoksinil	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Dieldrin	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,001

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Artırılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Dikloroasetik asit	µg/L	GC/ECD	EPA552.2	0,01
Diklobenil	µg/L	GC/MS	İşletme İçi Metot (N-02/Rev.00)	0,01
Diklorvos	µg/L	GC-MS	EPA 525.2	0,0001
Dikofol	µg/L	GC-MS	In House Method (N-02/Rev.00)	0,00003
Diuron	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-14/Rev.00)	0,005
Etilen tiyoüre (ETU)	µg/L	GC/MS	EPA 8270	0,005
Fentiyon	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-14/Rev.00)	0,05
Heptaklor	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,01
Heptaklor epoksit	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,01
Kaptan	µg/L	GC-MS	İşletme İçi Metot(N-02/Rev.00)	0,01
Karbendazim	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-14/Rev.00)	0,05
Klorotalonil	µg/L	GC-MS	İşletme İçi Metot (N-02/Rev.00)	0,05
Klordan	µg/L	GC-ECD	TS 2627 EN ISO 6468	0,01
Klorpirifos	µg/L	LC/MSMS	In House Method (N-14/Rev.00)	0,05
Linuron	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Artırılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Metolaklor	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Kloroasetik asit	µg/L	GC/ECD	EPA552.2	0,01
Parakuat	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Paration	µg/L	GC/MS	EPA8270	0,01
Paration-metil	µg/L	GC/MS	EPA8270	0,01
Pebulate	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	
Pendimetalin	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Pentaklorobenzen	µg/L	GC-MS	EPA 8270 D	0,0001
Pentaklorofenol	µg/L	GC-MS	EPA 8270 D	0,01
Permetrin	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Sipermetrin	µg/L	GC-ECD	In House Method(N-20/Rev.00)	0,01
Terbutrin	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Tribenuron-metil	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05
Trikloroasetik asit	µg/L	GC/ECD	EPA552.2	0,01
Trikloran	mg/L	LC/MSMS	In House Method(N-14/Rev.00)	0,05

LOQ: Limit of Quantification

Çizelge 3.1. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te belirtilen 99 su kalite parametresi (Devamı)

Parametre	Birim	Cihaz/Yöntem	Analiz Metodu	LOQ*
Anatoksin	µg/L	LC/MSMS	EPA 545	0,1
Silindrospermopsin	µg/L	LC/MSMS	EPA 545	0,03
Mikrosistin-LR	µg/L	LC/MSMS	EPA 544	0,03
Saksitoksin (STX)	µg/L	LC/MSMS	In House Method(N-17/Rev.00)	
Cryptosporidium ookist	ookist/L	Elisa	İşletme İçi Metot	
Fekal Koliform	EMS/100 mL		TS EN ISO 9308-2	2
Fekal Streptokok	EMS/100 mL		TS EN ISO 7899-2	2
Toplam Koliform (37 °C'de)	EMS/100 mL		TS EN ISO 9308-2	2

LOQ: Limit of Quantification

3.3. Jar Testi Deneyleri

900 ml'lik 3 behere 500'er ml su numunesi doldurulmuştur. Numuneler düzeneğe yerleştirilmiştir. Numuneler 100 devir/dakikada 2 dk hızlı karıştırılırken beherlere sırasıyla 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L koagülant ilave edilmiştir. Her koagülant 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Daha sonra numuneler 30 – 40 devir/dakikada 20-30 dakika arasında yavaş karıştırılmıştır. Gözle görülen yumakların oluşmasına kadar geçen süre ve meydana gelen yumakların boyut ve görünüşleri izlenmiştir. Yumaklaşma tamamlandıktan sonra karıştırma çubukları çıkartılmış ve beherler 30 dk çökmeye bırakılmıştır. 30 dakika sonra beherin üst kısmındaki berrak sudan numuneler alınmış ve her bir dozlama sonrası numunelerde toplam organik karbon, pH, iletkenlik, bulanıklık ve 254 nm'de UV absorpsiyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan koagülantlar Şekil 3.1'de, flokülasyon esnasındaki kullanılan jar testi düzeneği Şekil 3.2'de ve çökeltim esnasında jar testi düzeneği Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kullanılan koagülantlar



Şekil 3.2. Flokülasyon esnasında jar testi düzeneği



Şekil 3.3. Çökeltim esnasında jar testi düzeneği

Numunelerin toplam organik karbon içeriği yüksek sıcaklıkta yanma metoduna (Standart Metot 5310B) göre TOC-L CPH (Shimadzu) cihazında tayin edilmiştir. Potasyum hidrojen fitalat (EM-PX1476-3, EMD) kullanılarak 0,2-25 mg/L arasında 8 tane kalibrasyon standartı hazırlanmıştır.

Giriş numunesinin pH değeri 9,40 – 7,87 arasında, çıkış numunesinin pH değeri ise 8,92 – 7,73 arasında değişmektedir. Giriş numunesinden bulanıklık değeri 2,70 – 1,52 NTU arasında değişirken, çıkış suyundaki bulanıklık değeri ölçüm limitlerinin altındadır. İletkenlik, sulu bir çözeltinin elektrik akımı taşıma kapasitesinin sayısal bir ifadesidir. İletkenlik genel olarak kirliliğinin izlenmesi amacıyla da kullanılan bir gösterge parametredir. Doğal nehirlerin ve göllerin iletkenlik değeri 10-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyesinde değişmektedir. Bu seviyenin üzerindeki değerler bu yüzeysel suların kirli olduğunun göstergesidir. İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde numune alım noktalarında en yüksek iletkenlik değeri 442 $\mu\text{S}/\text{cm}$ giriş numunesinde şubat ayında, en düşük ise 328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ giriş numunesinde eylül ayında ölçülmüştür. Giriş numunesinde renk değeri 17,30 – 6,14 Pt-Co arasında, çıkış numunesinde renk değeri 10,39 – 3,39 Pt-Co arasında değişmektedir. Giriş numunesinde alüminyum konsantrasyonu 134 – 17 $\mu\text{g}/\text{L}$ arasında, çıkış numunesinde alüminyum konsantrasyonu 130 – 30 $\mu\text{g}/\text{L}$ arasında ölçülmüştür. Toplam azot (TN), toplam Kjeldahl azotu (organik azot ve amonyak azotu), amonyum azotu, nitrat azotu ve nitrit azotunun toplamıdır. Su kaynaklarındaki TN'un başlıca kirletici kaynakları evsel atıksu deşarjı, tarımsal faaliyette uygulanan gübre ve endüstriyel atıksu deşarjıdır ve toplam azot değerinin artmasına neden olmaktadır (Özgür vd., 2020). Nitrat yüzeysel sularda genellikle eser miktarda bulunmaktadır. Tarım alanları dışında, yüzey ya da yeraltı suları genel olarak 0-10 mg/L düzeyinde nitrat konsantrasyonuna sahiptir. İçme sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (İTASHY) nitrat için üst sınır 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Avrupa birliği 50 mg/L'lik bir üst sınır getirirken, EPA (US Environmental Protection Agency) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 10 mg/L Nitrat-N (45 mg/L Nitrat) üst sınır olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan azotlu bileşikler, su kirliliği açısından önemli bileşenlerdir ve alıcı ortamlarda nitrit, nitratın yüksek konsantrasyonlarda bulunması başta ötrofikasyon olmak üzere içme sularında toksik etkilere neden olmaktadır. İçme Suyu Arıtma Tesisi girişinde 12 aylık nitrat, nitrit ve amonyum değerleri ölçülmüştür. Giriş numunesinde en yüksek nitrat konsantrasyonu nisan ayında 5,23 mg/L iken en düşük nitrat konsantrasyonu ekim ayında 0,36 mg/L'dir. Çıkış numunesinde ise en yüksek nitrat konsantrasyonu 5,27 mg/L olup nisan ayında gözlemlenirken en düşük

nitrat konsantrasyonu ekim ayında 0,41 mg/L olarak gözlenmiştir. En yüksek nitrit konsantrasyonu 0,26 ile giriş numunesinde temmuz ayında gözlemlenirken, 10 ay boyunca nitrit konsantrasyonu ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Nitrit konsantrasyonu çıkış numunesinde 12 ay boyunca ölçülebilir değerlerde tespit edilememiştir. Amonyum konsantrasyonu giriş numunesinde 0,08 – 0,01 mg/L, çıkış numunesinde 0,04 – 0,01 mg/L arasında tespit edilmiştir. Antimon ve arsenik konsantrasyonu giriş ve çıkış numunelerinde ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Bakır ölçümü giriş numunesinde tespit edilemezken, çıkış numunesinde 11 µg/L olarak ölçülmüştür. Baryum konsantrasyonu giriş suyu numunesinde 73 – 100 µg/L, çıkış suyu numunesinde ise 45 – 102 µg/L arasında belirlenmiştir. Berilyum, bor, bromat ve cıva konsantrasyonları giriş ve çıkış suyu örneklerinde tespit edilememiştir. Çinko konsantrasyonu giriş suyunda 52 – 123 µg/L arasında, çıkış suyunda ise 11 µg/L olarak ölçülmüştür. Demir konsantrasyonu giriş numunesinde 13 – 115 µg/L arasında, çıkış suyunda 19 – 75 µg/L arasında değişmektedir. Fenoller giriş ve çıkış numunesinde ölçülebilir konsantrasyonlarda tespit edilememiştir. Giriş suyunda florür konsantrasyonu 67 – 208 µg/L arasında, çıkış suyunda ise 40 – 210 µg/L arasında tespit edilmiştir. Kadmiyum konsantrasyonu giriş ve çıkış suyunda tespit edilememiştir. Klorür konsantrasyonu giriş suyunda 7,50 – 34,66 µg/L arasında, çıkış suyunda 3,30 – 17,79 µg/L arasında ölçülmüştür. Kobalt ve krom konsantrasyonları giriş ve çıkış su numunelerinde tespit edilememiştir. Kurşun konsantrasyonu giriş suyunda 14 µg/L, çıkış suyunda 11 µg/L olarak tespit edilmiştir. Mangan konsantrasyonu giriş suyunda 14 – 62 µg/L arasında tespit edilirken, çıkış suyunda ölçülememiştir. Nikel giriş suyunda tespit edilememiştir, çıkış suyunda ise 10 µg/L olarak ölçülmüştür. Fosfor gübrelerde, insan ve hayvan atıklarında ve bahçe atıklarında bulunmaktadır. Atmosferik (buhar) fosfor formu ise yoktur. Az sayıda doğal fosfor kaynağı olduğu ve atmosferik döngü olmadığı için fosfor genellikle su sistemlerinde sınırlayıcı bir besindir (Gorde ve Jadhav, 2013). Toplam fosfor (TP) çözünmüş ve partiküler fosfor formlarını içermekte ve 0,03 mg/L üzerindeki TP konsantrasyonları göllerde ve rezervuarlarda yosun patlamalarına neden olmaktadır. 12 ay izleme süresince tüm numune noktalarında ortofosfat dedeksiyon limitinin altında

kaldığı için rapor edilmemiştir. Selenyum ve siyanür konsantrasyonları giriş ve çıkış numunelerinde tespit edilememiştir. Sodyum konsantrasyonu giriş suyunda 1,98 – 6,80 mg/L arasında, çıkış suyunda ise 1,10 – 5,29 mg/L arasında ölçülmüştür. İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde belirlenen noktalarda 12 ay boyunca İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik kapsamında belirlenen pestisitler izlenmiştir. 1-1 Dikloroetan, 1,2-Dikloroetan, 2,4-d izooktil ester, 4-Kloroanilin, Akrilamid, Alaklor, Aldrin, Asetoklor, Benzen, Benzo(a)piren, Bromoksinil, Bromür, Di (2-etilhekzil) fitalat (DEHP), Dieldrin, Dikloroasetik asit, Diklobenil, Diklorometan, Diklorvos, Dikofol, Diuron, Etilen tiyoüre (ETU), Fentiyon, Hekzakloro-benzen, Hekzakloro-sikloheksan, Heptaklor, Heptaklor epoksit, Kaptan, Karbendazim, Klorotalonil, Klordan, Klorpirifos, Linuron, Metolaklor, Kloroasetik asit, Naftalin, Oktabromodifenil eter, Parakuat, Paration, Paration-metil, Pebulate, Pendimetalin, Pentaklorobenzen, Pentaklorofenol, Permetrin, Poliklorlubifeniller (PCB'ler), Sipermetrin, Terbutrin konsantrasyonları giriş ve çıkış su numunelerinde ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Trihalometanlar giriş suyunda tespit edilemezken çıkış suyunda 9,39 – 63,50 µg/L arasında ölçülmüştür. Tetrakloroetilen, Toplam DDT, Toplam Pestisit, Tribenuron-metil, Trifluralin konsantrasyonları giriş ve çıkış suyunda ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Trikloroasetik asit konsantrasyonu giriş suyunda ölçüm limitlerinin altında kalmıştır. Çıkış suyunda Trikloroasetik asit konsantrasyonu 0,15 µg/L olarak ölçülmüştür. Trikloroetilen, Trikloran, Vanadyum, Vinil klorür, Anatoksin, Silindrospermopsin, Mikrosistin-LR, Saksitoksin, Cryptosporidium ookist giriş ve çıkış sularında tespit edilememiştir. Fekal Koliform giriş suyunda 6 EMS 100 ml olarak gözlemlenirken, çıkış suyunda gözlemlenmemiştir. Fekal Streptokok giriş ve çıkış numune alım noktasında tespit edilememiştir. Toplam Koliform giriş numunesinde 143 EMS 100 ml olarak gözlemlenirken, çıkış suyunda gözlemlenmemiştir. 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Aydın Er (2023) tamamladığı tez çalışmasında Kızılırmak ve Yeşilirmak havzalarında birden fazla su kalitesi analizi tamamlamıştır. Bu tez çalışmasında Kızılırmak havzasında pH değerleri 7,90 – 8,55 arasında, Yeşilirmak havzasında pH değerleri 7,63 – 8,97 arasında ölçülmüştür. Kızılırmak havzasında renk değerleri 3,0 – 60,58 Pt/Co arasında, Yeşilirmak havzasında renk değerleri

1,20-368,50 Pt-Co arasında ölçülmüştür. Kızılırmak havzasında iletkenlik değerleri 357 - 1772 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, Yeşilirmak havzasında iletkenlik değerleri 215 - 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında ölçülmüştür. Kızılırmak havzasında nitrat değerleri 0,70-122,73 mg/L arasında, Yeşilirmak havzasında nitrat değerleri 2,56- 106,33 mg/L arasında ölçülmüştür. Kızılırmak havzasında klorür değerleri 2,47-352,16 mg/L arasında, Yeşilirmak havzasında klorür değerleri 4,83-152,16 mg/L arasında ölçülmüştür. Kızılırmak havzasında demir değerleri 19,23-742,96 $\mu\text{g}/\text{L}$ arasında, Yeşilirmak havzasında demir değerleri 0,10-6.656,94 $\mu\text{g}/\text{L}$ arasında ölçülmüştür. Durmuş (2021) tez çalışmasında Ankara çayında tamamladığı doktora tezinde su kalite analizleri gerçekleştirmiştir. Tüm istasyonlarda en yüksek su sıcaklığı 25,3°C en düşük su sıcaklığı ise kış mevsiminde 4,7°C olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama olarak en yüksek pH değeri 8,27, ortalama en düşük pH değeri 7,66 olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama en yüksek nitrat konsantrasyonu 2,01 mg/L, ortalama en düşük nitrat konsantrasyonu 0,37 mg/L tespit edilmiştir.

Özgür (2019) tamamladığı doktora çalışmasında Eğirdir gölü havzasında su kalite analizleri gerçekleştirmiştir. Numune alma dönemi boyunca Eğirdir gölü en yüksek pH değeri 8,54; en düşük pH değeri ise 7,75 olarak tespit edilmiştir. Eğirdir Gölü'nde tespit edilen maksimum ve minimum sıcaklık değerleri ise 25; 9 °C'dir. Eğirdir Gölü'nde tespit edilen en yüksek iletkenlik değeri 391 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en düşük değer ise 372 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Eğirdir Gölü en yüksek ve en düşük TOK konsantrasyonları sırasıyla 4,02; 2,71 mg/L olarak tespit edilmiştir. Su kalite parametrelerinin noktasal ve zamansal ölçümleri dezenfeksiyon yan ürünleri gibi çeşitli parametrelerin tahmin modellerinin oluşturulmasında fayda sağlamaktadır. Özgür vd., (2023) Isparta şebekesinde ölçülen serbest klor konsantrasyonu, UV_{254} absorbansı, sıcaklık ve pH parametrelerini kullanarak trihalometan konsantrasyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çoklu lineer regresyon analizi neticesinde ölçülen trihalometan değerleri ile hesaplanan trihalometan değerleri arasındaki R^2 : 0,51; kök-ortalama-kare hata: 0,16 $\mu\text{g}/\text{L}$; ortalama mutlak yüzde hata: %3; hassasiyet analizi ise %51 oranla sıcaklık olarak bulunmuştur. Farklı su kalite parametreleri kullanılarak çeşitli kirleticiler için tahmin modellerinin geliştirilebilirliği ortaya konulmuştur. İçme suyu arıtma

tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.



Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
1	Sıcaklık (°C)	8,87	17,60	17,10	4,47			
2	pH	8,97	8,39	8,52	8,60	≤9,6 – 6,5≤	≤9,6 – 6,5≤	≤9,6 – 6,5≤
3	Bulanıklık (NTU)	<1	1,52	1,95	2,64	1	50	500
4	İletkenlik (µS/cm)	403,33	404,67	354,33	415,33	2.500	-	25.000
5	Renk (Pt/Co)	13,68	11,10	12,41	8,26	15	30	50
6	Alüminyum (µg/L)	80,33	24,33	23,00	36,00	200	500	2000
7	Amonyum (mg/L)	0,02	0,01	0,08	0,04	0,5	2,5	5
8	Antimon (µg/L)	<5	<5	<5	<5	5	15	50
9	Arsenik (µg/L)	<10	<10	<10	<10	10	40	100
10	Bakır (µg/L)	<10	<10	<10	<10	2000	5000	20000
11	Baryum (µg/L)	80,67	83,00	80,50	93,67	2000	-	20000
12	Berilyum (µg/L)	<10	<10	<10	<10	60	300	600
13	Bor (µg/L)	<50	<50	<50	<50	1000	1250	5000
14	Bromat (µg/L)	<10	<10	<10	<10	10	12	100

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
15	Cıva (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1	2,5	5
16	Çinko (µg/L)	123,00	52,00	<10	<10	3000	6000	12000
17	Demir (µg/L)	81,67	79,67	67,00	41,00	200	1000	2000
18	Fenoller (mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,005	0,01
19	Florür (µg/L)	146,33	106,00	140,33	189,50	1500	5000	7500
20	Kadmiyum (µg/L)	<3	<3	<3	<3	5	15	50
21	Klorür (mg/L)	8,53	7,80	17,38	10,67	250	-	1250
22	Kobalt (µg/L)	<10	<10	<10	<10	800	-	2600
23	Krom (µg/L)	<10	<10	<10	<10	50	500	1000
24	Kurşun (µg/L)	<10	<10	14,00	<10	10	50	100
25	Mangan (µg/L)	<10	<10	33,33	<10	50	100	250
26	Nikel (µg/L)	<10	<10	<10	<10	20	30	200
27	Nitrat (mg/L)	4,66	2,87	1,34	1,15	50	-	330
28	Nitrit (mg/L)	<0,1	0,23	<0,1	<0,1	0,5	-	3,33

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
29	Ortofosfat (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	0,7	-
30	Selenyum (µg/L)	<5	<5	<5	<5	10	20	100
31	Siyanür (µg/L)	<20	<20	<20	<20	50	-	125
32	Sodyum (mg/L)	2,56	2,23	3,61	3,26	200	-	2000
33	Sülfat (mg/L)	26,38	20,52	26,02	25,08	250	-	1250
34	Toplam Organik Karbon (mg/L)	2,66	2,46	2,85	2,69	4	4,7	10
35	1-1 Dikloroetan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	140	-	700
36	1,2-Dikloroetan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	3	-	15
37	2,4-d izooktil ester (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,14	0,25
38	4-Kloroanilin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	-	0,33
39	Akrilamid (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,3
40	Alaklor (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,1	0,14	0,5
41	Aldrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,03	0,04	0,1
42	Asetoklor (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,11	0,25

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
43	Benzen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1	-	3
44	Benzo(a)piren (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,03
45	Bromoksinil (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,2
46	Bromür (µg/L)	<100	<100	<100	<100	2000	4000	6500
47	Di (2-etilhekzil) fitalat (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	10	15	35
48	Dieldrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,03	0,04	0,15
49	Dikloroasetik asit (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,5
50	Diklobenil (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,25
51	Diklorometan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	20	-	100
52	Diklorvos (µg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1	0,12	0,5
53	Dikofol (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	0,5	0,65
54	Diuron (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,3	1
55	Etilen tiyoüre (ETU) (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,25	0,5
56	Fentiyon (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	-	0,5
57	Hekzakloro-benzen (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	0,15	0,25

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
58	Hekzakloro-sikloheksan (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	-	0,5
59	Heptaklor (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,03	0,06	0,1
60	Heptaklor epoksit (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,03	0,045	0,15
61	Kaptan (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,5
62	Karbendazim (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,2
63	Klorotalonil (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,3	0,5
64	Klordan (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	0,13	0,5
65	Klorpirifos(µg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,1	0,15	0,5
66	Linuron (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,25
67	Metolaklor (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,11	0,3
68	Kloroasetik asit (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,5
69	Naftalin (µg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	100	120	500
70	Oktabromodifenil eter (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	9	13	30
71	Parakuat (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,33
72	Paration (µg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,1	0,5	2

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
73	Paration-metil (µg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,1	0,5	2
74	Pebulate (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	-
75	Pendimetalin (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,25
76	Pentaklorobenzen (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3	6	10
77	Pentaklorofenol (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,5
78	Permetrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	-	0,5
79	Poliklorlubifeniller (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	-	0,15
80	Sipermetrin (µg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,1	-	1
81	Terbutrin (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,1	0,2	0,5
82	Trihalometanlar (µg/L)	<1	<1	<1	<1	100	-	250
83	Tetrakloroetilen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	10	50	100
84	Toplam DDT (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	0,25	0,5
85	Toplam Pestisit (µg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005	-	-
86	Tribenuron-metil (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1	0,11	0,25
87	Trifluralin (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,1	0,5	1

Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisinin giriş suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	A1	A2	A3
		Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş	Giriş
88	Trikloroasetik asit (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	-	0,5
89	Trikloroetilen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	10	20	50
90	Trikloran (µg/L)	<0,000001	<0,000001	<0,000001	<0,000001	0,3	-	0,8
91	Vanadyum (µg/L)	<10	<10	<10	<10	15	50	150
92	Vinil klorür (µg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	2,5	10
93	Anatoksin (µg/L)	<3	<3	<3	<3	3	-	15
94	Silindrospermopsin (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1	-	5
95	Mikrosistin-LR (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1	-	5
96	Saksitoksin (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1	-	5
97	Cryptosporidium ookist (µg/L)	0	0	0	0	0,075	-	1
98	Fekal Koliform (EMS/100 mL)	Üremedi	6,00	Üremedi	Üremedi	20	2.000	20.000
99	Fekal Streptokok (EMS/100 mL)	Üremedi	Üremedi	Üremedi	Üremedi	20	1.000	10.000
100	Toplam Koliform (37 °C) (EMS/100 mL)	35,00	53,67	71,00	12,00	50	5.000	50.000

"İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" Türkiye'de içme ve kullanma sularının kalitesini düzenleyen bir mevzuattır. Bu yönetmelik, suyun insan sağlığına zarar vermemesi için belirli kriterleri ve standartları belirler. Yönetmeliğin amacı, insani tüketim amaçlı suların sağlıklı ve güvenli olmasını sağlamak, suyun kalitesini korumak ve tüketiciye sağlıklı içme ve kullanma suyu sunmaktır. Bu kapsamda, suyun fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve radyoaktif özelliklerinin belirli standartlar dahilinde olması gerekmektedir. Çizelge 4.2.'de içme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri ve "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kapsamında önerilen kılavuz değerler gösterilmektedir.



Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
1	Sıcaklık (°C)	8,47	17,03	16,97	4,53	
2	pH	8,77	8,02	8,32	8,29	6,5-9,5
3	Bulanıklık (NTU)	<1	<1	<1	<1	
4	İletkenlik (µS/cm)	405,33	396,67	385,33	414,67	
5	Renk (Pt/Co)	8,07	5,50	3,39	7,03	
6	Alüminyum (µg/L)	101,00	43,00	68,50	33,00	200
7	Amonyum (mg/L)	<0,013	<0,013	0,03	0,02	0,50
8	Antimon (µg/L)	<5	<5	<5	<5	5.0
9	Arsenik (µg/L)	<10	<10	<10	<10	10
10	Bakır (µg/L)	11,00	<10	<10	<10	
11	Baryum (µg/L)	81,00	80,67	66,00	93,33	
12	Berilyum (µg/L)	<10	<10	<10	<10	
13	Bor (µg/L)	<50	<50	<50	<50	
14	Bromat (µg/L)	<10	<10	<10	<10	

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
15	Cıva (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1,0
16	Çinko (µg/L)	11,00	<10	11,00	<10	
17	Demir (µg/L)	47,00	36,67	35,50	23,00	200
18	Fenoller (mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
19	Florür (µg/L)	135,00	80,33	140,33	183,00	1,5
20	Kadmiyum (µg/L)	<3	<3	<3	<3	5,0
21	Klorür (mg/L)	11,41	8,39	12,74	13,04	250
22	Kobalt (µg/L)	<10	<10	<10	<10	
23	Krom (µg/L)	<10	<10	<10	<10	50
24	Kurşun (µg/L)	<10	<10	<10	<10	10
25	Mangan (µg/L)	<10	<10	<10	<10	50
26	Nikel (µg/L)	10,00	<10	<10	10	20
27	Nitrat (mg/L)	4,53	2,44	0,50	1,16	50
28	Nitrit (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,50

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
29	Ortofosfat (mg/L)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
30	Selenyum (µg/L)	<5	<5	<5	<5	10
31	Siyanür (µg/L)	<20	<20	<20	<20	
32	Sodyum (mg/L)	2,77	2,19	2,64	4,02	200
33	Sülfat (mg/L)	23,14	17,82	20,38	26,21	250
34	Toplam Organik Karbon (mg/L)	2,10	2,01	2,97	2,24	
35	1-1 Dikloroetan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
36	1,2-Dikloroetan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	3,0
37	2,4-d izooktil ester (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
38	4-Kloroanilin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
39	Akrilamid (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
40	Alaklor (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
41	Aldrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
42	Asetoklor (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
43	Benzen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	1.0
44	Benzo(a)piren (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010
45	Bromoksinil (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
46	Bromür (µg/L)	<100	<100	<100	<100	
47	Di (2-etilhekzil) fitalat (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
48	Dieldrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
49	Dikloroasetik asit (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
50	Diklobenil (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
51	Diklorometan (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
52	Diklorvos (µg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	
53	Dikofol (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
54	Diuron (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
55	Etilen tiyoüre (ETU) (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
56	Fentiyon (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
57	Hekzakloro-benzen (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
58	Hekzakloro-sikloheksan (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
59	Heptaklor (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
60	Heptaklor epoksit (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
61	Kaptan (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
62	Karbendazim (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
63	Klorotalonil (µg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
64	Klordan (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
65	Klorpirifos(µg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	
66	Linuron (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
67	Metolaklor (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
68	Kloroasetik asit (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
69	Naftalin (µg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
70	Oktabromodifenil eter (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,05	
71	Parakuat (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
72	Paration (µg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
73	Paration-metil (µg/L)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	
74	Pebulate (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
75	Pendimetalin (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
76	Pentaklorobenzen (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
77	Pentaklorofenol (µg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
78	Permetrin (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
79	Poliklorlubifeniller (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
80	Sipermetrin (µg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	
81	Terbutrin (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
82	Trihalometanlar (µg/L)	35,37	30,75	40,42	33,80	100
83	Tetrakloroetilen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
84	Toplam DDT (µg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
85	Toplam Pestisit (µg/L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,50
86	Tribenuron-metil (µg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
87	Trifluralin (µg/L)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	

Çizelge 4.2. İçme suyu arıtma tesisinin çıkış suyu 99 su kalite parametresi ölçümlerinin mevsimsel ortalama değerleri (Devamı)

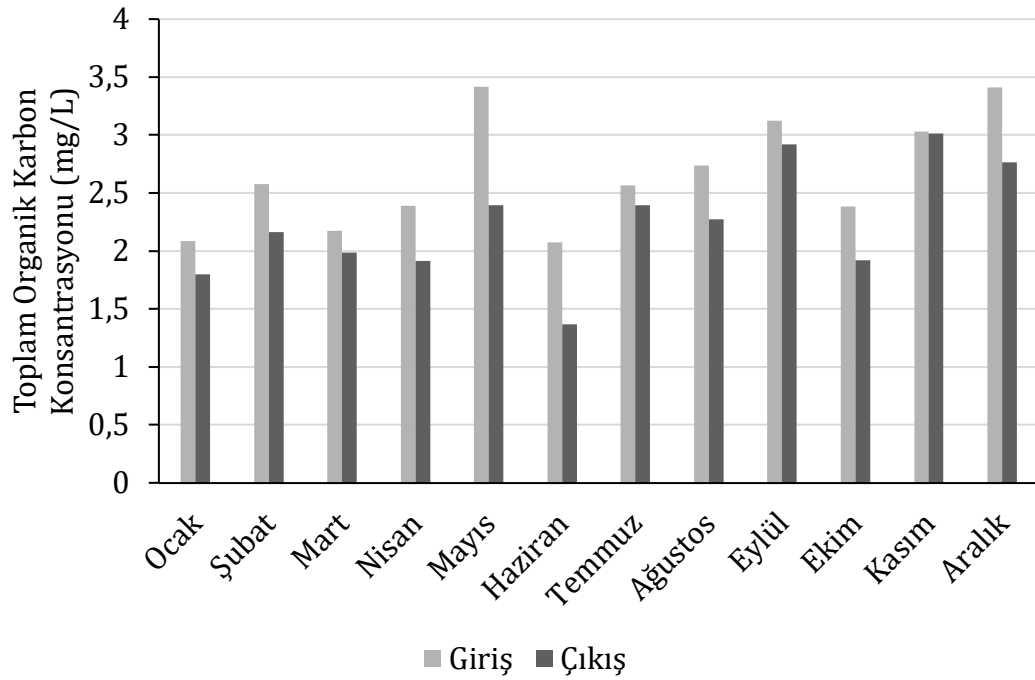
		İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kılavuz Değer
		Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
88	Trikloroasetik asit (µg/L)	0,15	<0,1	<0,1	0,15	
89	Trikloroetilen (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
90	Triklosan (µg/L)	<0,000001	<0,000001	<0,000001	<0,000001	
91	Vanadyum (µg/L)	<10	<10	<10	<10	
92	Vinil klorür (µg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
93	Anatoksin (µg/L)	<3	<3	<3	<3	
94	Silindrospermopsin (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
95	Mikrosistin-LR (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
96	Saksitoksin (µg/L)	<1	<1	<1	<1	
97	Cryptosporidium ookist (µg/L)	0	0	0	0	
98	Fekal Koliform (EMS/100 mL)	Üremedi	Üremedi	Üremedi	Üremedi	0
99	Fekal Streptokok (EMS/100 mL)	Üremedi	Üremedi	Üremedi	Üremedi	0
100	Toplam Koliform (37 °C) (EMS/100 mL)	Üremedi	Üremedi	Üremedi	Üremedi	0

Tamamladığımız tez çalışmasının su kalite sonuçlarına göre sıcaklık, pH, iletkenlik, renk, alüminyum, baryum, demir, florür, klorür nitrat, sodyum, sülfat ve toplam organik karbon analizleri dışındaki tüm su kalite parametreleri ölçüm aralığının altında kalmıştır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre analiz edilen 99 su kalite parametrelerinden tespit edilebilen benzer çalışmalar bu kısımda verilmektedir.

4.2. Doğal organik madde izleme sonuçları

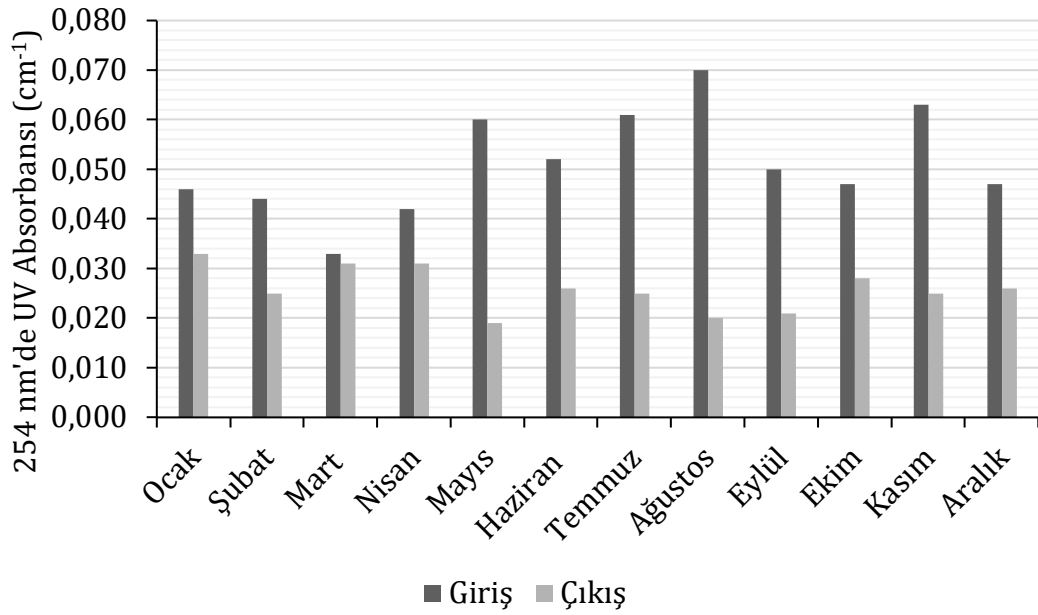
DOM makro-moleküler hümik yapılar, küçük molekül ağırlıklı hidrofilik asitler, proteinler, yağlar, karboksilik asitler, amino asitler, karbohidratlar ve hidrokarbonlar gibi organik maddeleri içeren heterojen bir karışımdır ve TOK, DOM'ların bir göstergesidir (Kitis vd., 2001). İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde giriş ve çıkış noktalarında belirlenen 12 aylık TOK değerleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Yıllık ortalama TOK değerleri giriş suyunda 2,66 mg/L, çıkış suyunda 2,27 mg/L olarak ölçülmüştür. TOK değerlerinde sonbahar mevisiminde bir artış görülmüştür ve bu artışın mevsimsel yağışlar sebebi ile yüzey akışlarla organik maddelerin baraja taşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle içme suyu kaynaklarında sularda yüksek konsantrasyonlarda organik madde bulunması (TOK>2-3 mg/L) istenmemektedir. İçme sularında yüksek TOK konsantrasyonları koagülant dozunu arttırmakta, dezenfeksiyon yan ürün oluşumuna yol açmakta, şebekede mikrobiyal büyümeye sebep olmakta, bunların yanında arıtma süreçlerinde pestisit gibi mikrokirleticilerin gideriminde rekabete neden olmaktadır. Bu nedenle su arıtımı ve şebekede dağıtımının güvenli ve ekonomik bir şekilde yönetilmesi için içme suyu kaynaklarında TOK değerlerinin izlenmesi ve özellikle dezenfeksiyon prosesi öncesinde arıtılmaları önemlidir (Hashempour vd., 2020). İçme suyu arıtma tesisi içinde TOK konsantrasyonunda kayda değer değişim tespit edilmemiştir. Ülkemizdeki TOK parametresi için bir standart olmamasına rağmen bu parametre su kalitesi açısından çok önemli bir parametredir. Sağlık Bakanlığının yayınlamış olduğu “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te TOK sadece bir gösterge parametresi olarak yer almıştır. Ancak, klorlama sonrası DYÜ kontrolü için ve şebekede tat, koku, renk ve mikrobiyal yeniden büyüme risklerinin en aza

indirgenmesi için şebekelerde <2 mg/L TOK seviyelerinin sağlanması önerilmektedir.



Şekil 4.2. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık TOK değerleri

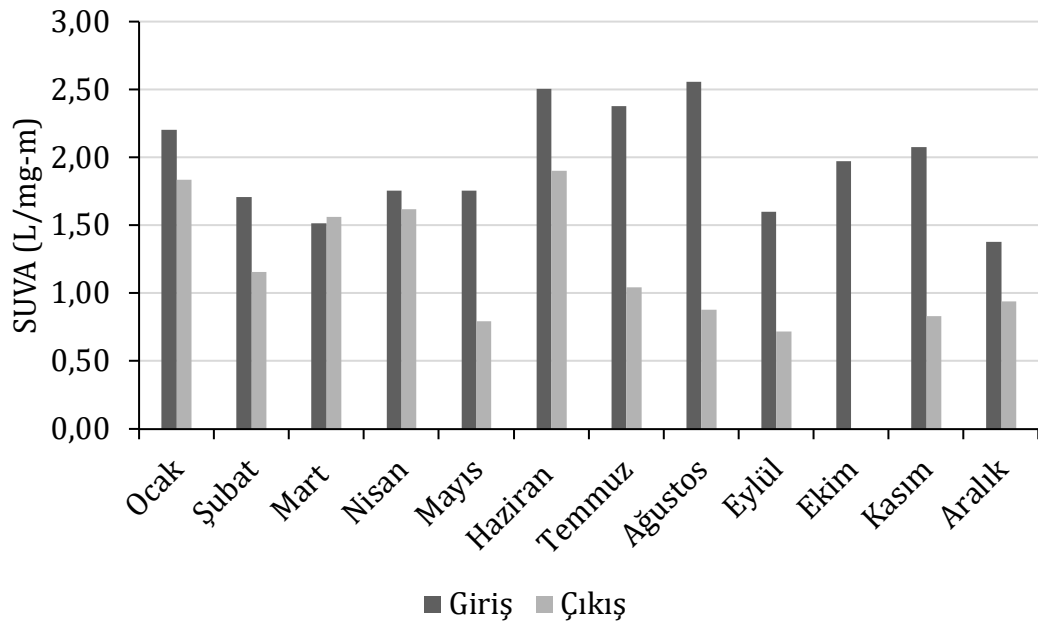
DOM'ları karakterize etmek için 254-280 nm dalga boylarındaki UV absorbansı gibi spesifik olmayan parametreler kullanılmaktadır (Kitis vd., 2001). Su numunesinin aromatik karbon içeriği ve UV absorbansı arasında kuvvetli korelasyon saptanmıştır. DOM çözeltilerinin 254-280 nm arasında UV absorbansının ölçümü ile sulardaki aromatik bileşiklerin (doymamış çift bağların ve π - π elektron etkileşimlerin) miktarı genel absorbans değeri ile dolaylı olarak tespit edilmektedir (Ates vd., 2007). İçme suyu arıtma tesisi ham suyun ortalama UV_{254} absorbans değeri $0,262 \text{ cm}^{-1}$ olarak, çıkış suyunda ise ortalama $0,025 \text{ cm}^{-1}$ ölçülmüştür. İçme Suyu Arıtma Tesisi giriş ünitesi numune noktasında UV_{254} absorbans değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Özellikle İçme Suyu Arıtma Tesisi giriş suyundaki UV_{254} nm değerinin koagülasyon girişine kadar azalması, tesiste yapılan ön klorlamanın organik maddelerin oksidasyonuna yol açtığını göstermektedir. İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde belirlenen noktalarda 12 aylık 254 nm UV absorbansı değerleri Şekil 4.3.'te verilmiştir



Şekil 4.3. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık 254 nm UV absorbansı değerleri

TOK ve UV_{254} değerleri kullanılarak hesaplanan, İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde belirlenen noktalarda 12 aylık Spesifik UV absorbansı ($SUVA_{254}$) değerleri Tablo 4.4'te gösterilmektedir. $SUVA_{254}$ 254 nm'de belirli bir numunenin UV absorbans değerinin TOK konsantrasyonuna bölünmesi ile hesaplanmaktadır. $SUVA_{254}$, DOM'larda mevcut olan aromatik karbon miktarı hakkında fikir vermektedir. DOM, farklı organik bileşiklerin heterojen bir karışımı olduğu için ölçülen $SUVA_{254}$, DOM'daki kromoforların (çift bağlar ve/veya aromatik yapılar) dağılımını gösteren ortalama bir değerdir. Aynı zamanda elde edilen oranlar sudaki DOM'un hidrofilik ve hidrofobik özelliklerini tanımlamaktadır (Ates vd., 2007; Matilainen vd., 2011). Bir su numunesinde $SUVA_{254} > 3,5-4$ L/mg-m ise esas olarak hidrofobik ve özellikle aromatik materyali belirtirken, $SUVA_{254} < 3$ L/mg-m olan sular esas olarak hidrofilik materyali göstermektedir (Edzwald ve Tobiason, 1999). Numunelerde hesaplanan $SUVA_{254}$ değerleri aylık bazda değişkenlik göstermiştir. En yüksek $SUVA_{254}$ değeri 2,56 L/mg-m ile Ağustos ayında giriş noktasında, en düşük ise 1,90 L/mg-m ile Haziran ayında çıkış noktasında gözlenmiştir. İzleme noktalarında genel olarak $SUVA_{254} < 3$ L/mg-m'dir ve hidrofilik karakterdedir. Kış aylarında TOK değerlerinin sonbahar aylarındaki TOK değerlerine göre daha

yüksek olmasına rağmen SUVA değerlerinin kış aylarında düşük çıkması, yağışlarla beraber yüzey sularına düşük aromatik içerikli organik fraksiyonların katıldığını göstermektedir. Diğer taraftan, sonbahar aylarında düşük TOK yüksek SUVA değerleri ise yaz aylarında sıcaklıkla beraber düşük moleküler ağırlıklı nisbeten hidrofilik organiklerin bozunduğuna işaret etmektedir. İçme Suyu Arıtma Tesisi'nde belirlenen noktalarda 12 aylık SUVA değerleri Şekil 4.4.'te verilmiştir



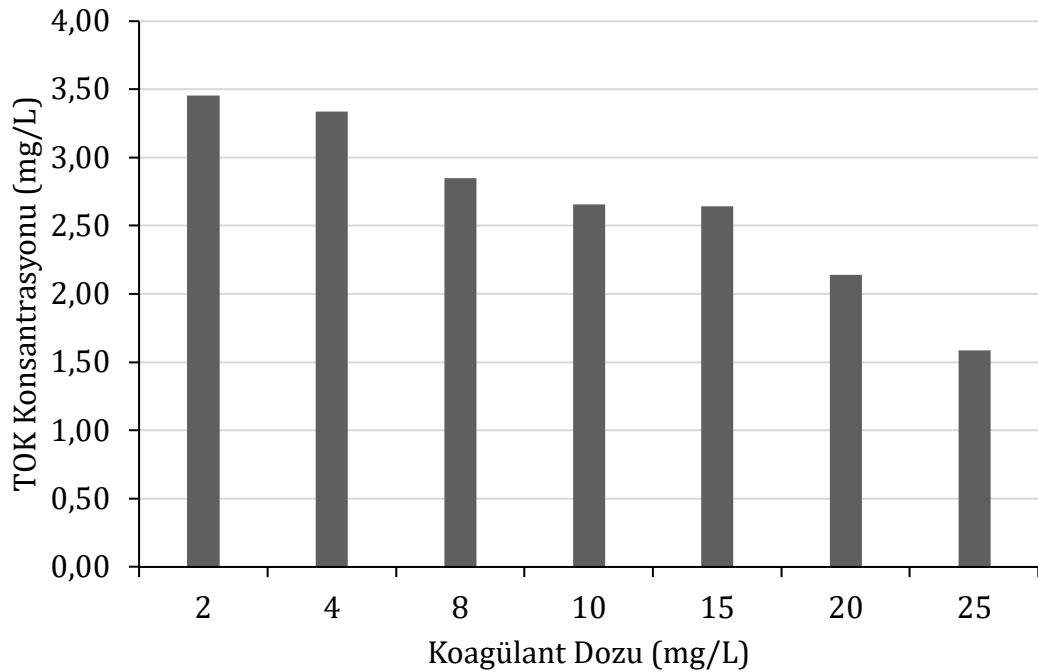
Şekil 4.4. İçme suyu arıtma tesisi 12 aylık SUVA değerleri

4.3. Koagülant Testleri

Tez çalışması kapsamında 6 farklı koagülant kullanılmıştır. “Koagülant 1” olarak kodlanan ilk kimyasal, poli alüminyum klorür hidroksit sülfat (PACS), kentsel arıtmada, atık su arıtmasında ve proses arıtmalarında koagülant olarak kullanılan inorganik bir polimerdir. “Koagülant 2” olarak kodlanan kimyasal, organik içeriğe sahip poli alüminyum klorür hidroksit sülfat (PACS), organik + inorganik bir polimerdir. “Koagülant 3” olarak kodlanan kimyasal, organik + inorganik içeriğe sahip bir hibrit koagülanttir. “Koagülant 4” olarak kodlanan kimyasal, organik + inorganik içeriğe sahip bir hibrit koagülanttir. “Koagülant 5” olarak kodlanan kimyasal polialüminyum klorür (PAC), koagülant olarak

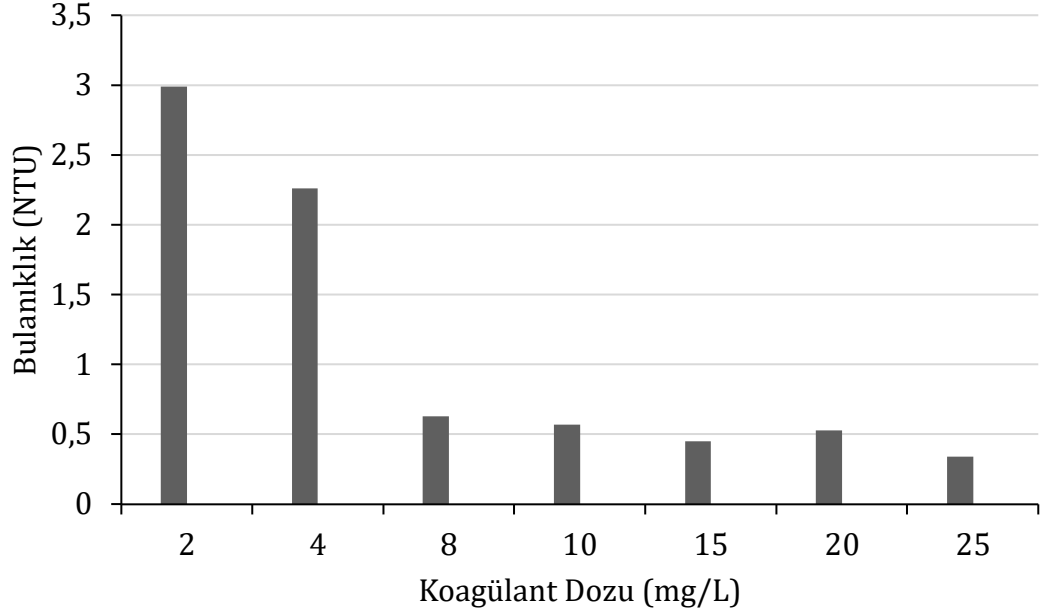
kullanılan inorganik bir kimyasaldır. “Koagülant 6” olarak kodlanan kimyasal, demir ve alüminyum klorür içerikli inorganik + inorganik hibrit bir koagülanttir.

Koagülant 1: Koagülant 1 olarak kodlanan ilk kimyasal, poli alüminyum klorür hidroksit sülfat (PACS) içerikli inorganik bir koagülanttir. Koagülant 1’in etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 1’in TOK giderim etkinliği 2 mg/L’den 25 mg/L’ye yükseltildiğinde % 54 olarak belirlenmiştir. Koagülant 1’in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi Şekil 4.5’te gösterilmektedir.



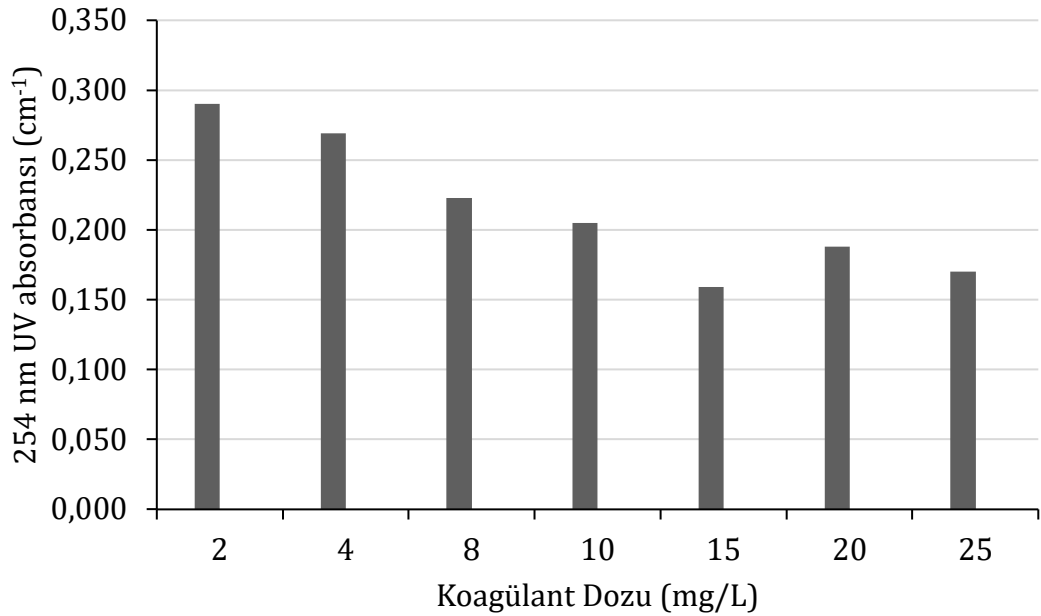
Şekil 4.5. Koagülant 1’in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 1’in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 2,99 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,34 NTU olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %72’lik giderim oranıyla 4 mg/L’den 8 mg/L’ye geçişte görülmüştür. Koagülant 1’in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



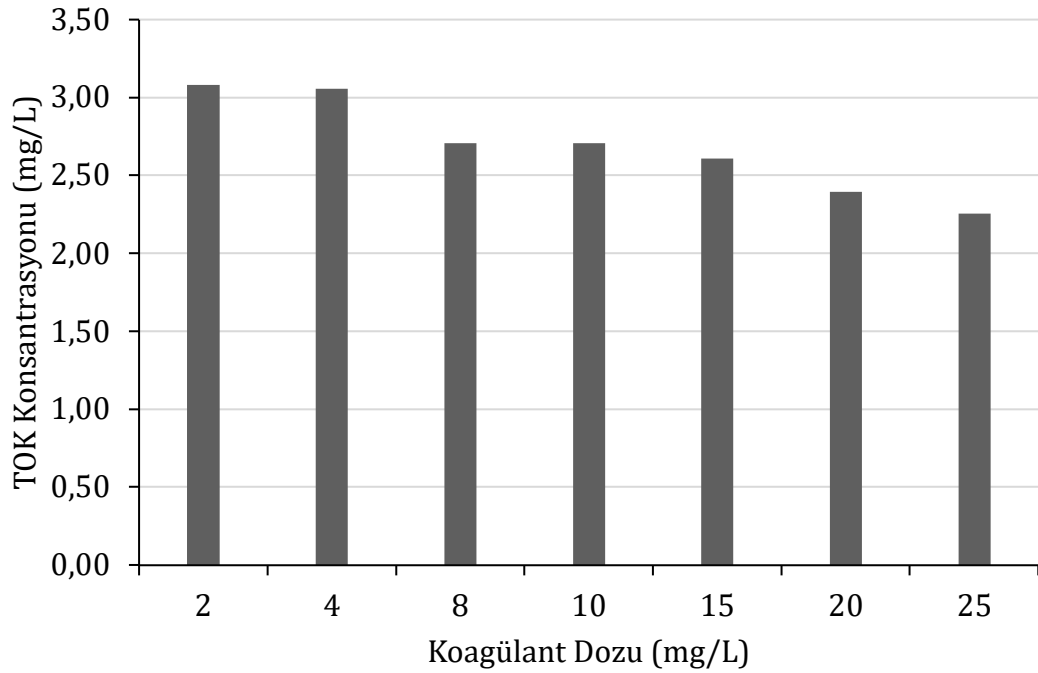
Şekil 4.6. Koagülant 1'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 1'in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbansı $0,290 \text{ cm}^{-1}$ olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbansı ise $0,159 \text{ cm}^{-1}$ olarak 15 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 1'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbansı giderimine etkisi Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



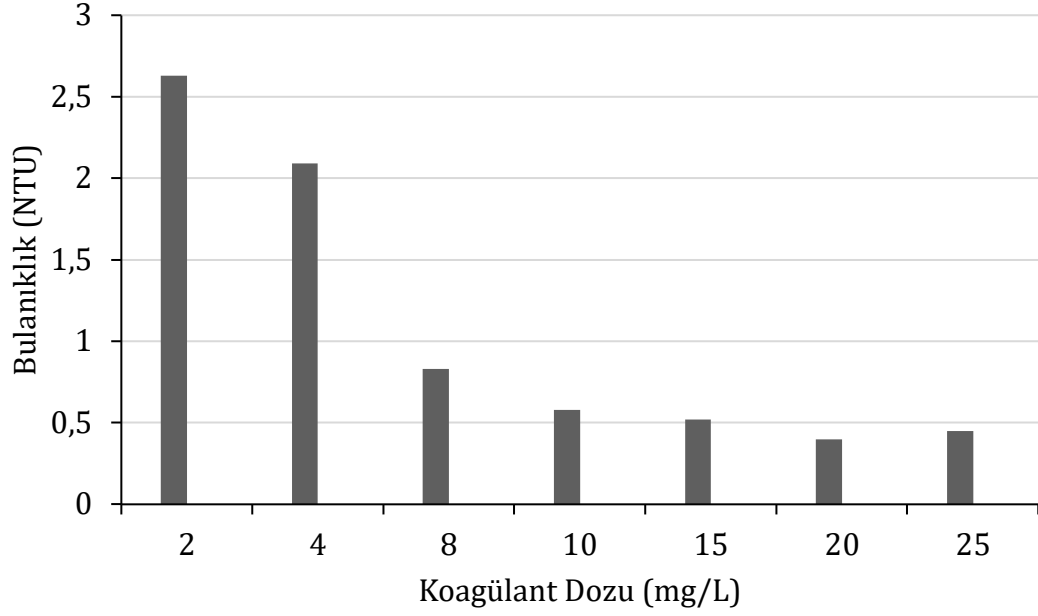
Şekil 4.7. Koagülant 1'in farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi

Koagülant 2 Bulguları: Koagülant 2 olarak kodlanan kimyasal, organik içeriğe sahip poli alüminyum klorür hidroksit sülfat (PACS), organik + inorganik içerikli bir hibrit koagülanttir. Koagülant 2'nin etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 2'nin TOK giderim etkinliği 2 mg/L'den 25 mg/L'ye yükseltildiğinde % 27 olarak belirlenmiştir.



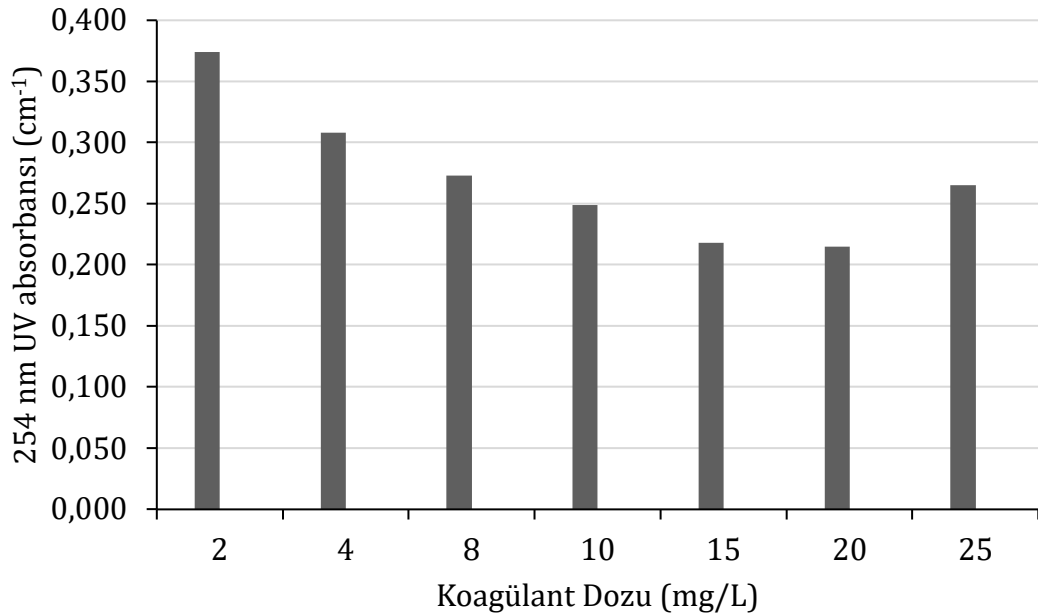
Şekil 4.8. Koagülant 2'nin farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 2'nin etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 2,63 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,40 NTU olarak 20 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %60'lık giderim oranıyla 4 mg/L'den 8 mg/L'ye geçişte görülmüştür. Koagülant 2'nin farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



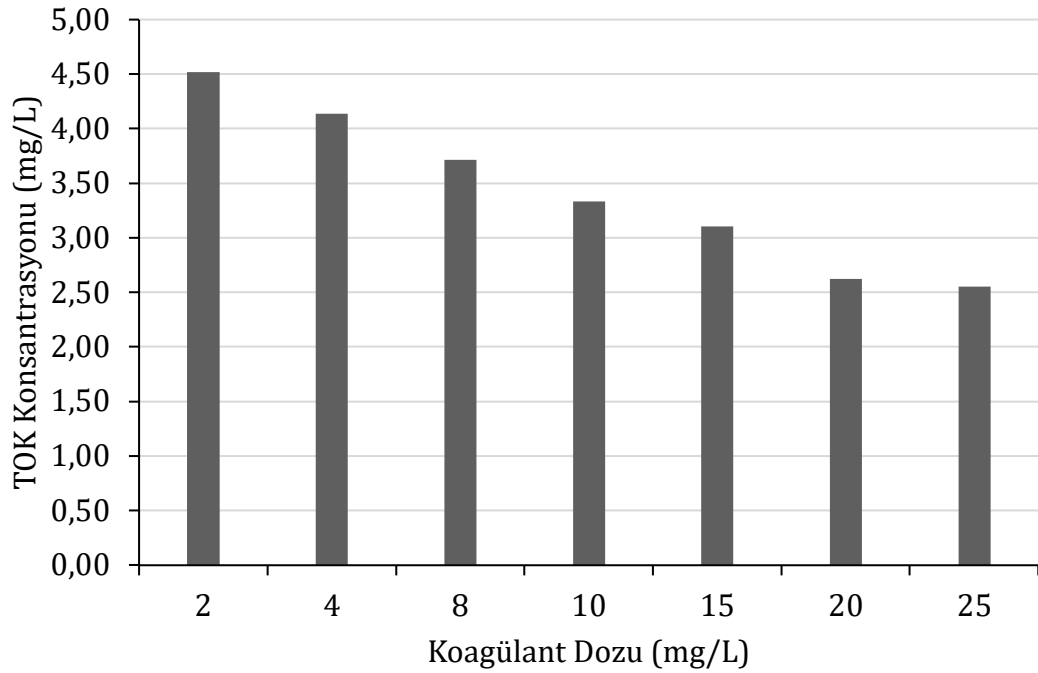
Şekil 4.9. Koagülant 2'nin farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 2'nin etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbansı $0,374 \text{ cm}^{-1}$ olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbansı ise $0,215 \text{ cm}^{-1}$ olarak 20 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 1'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbansı giderimine etkisi Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



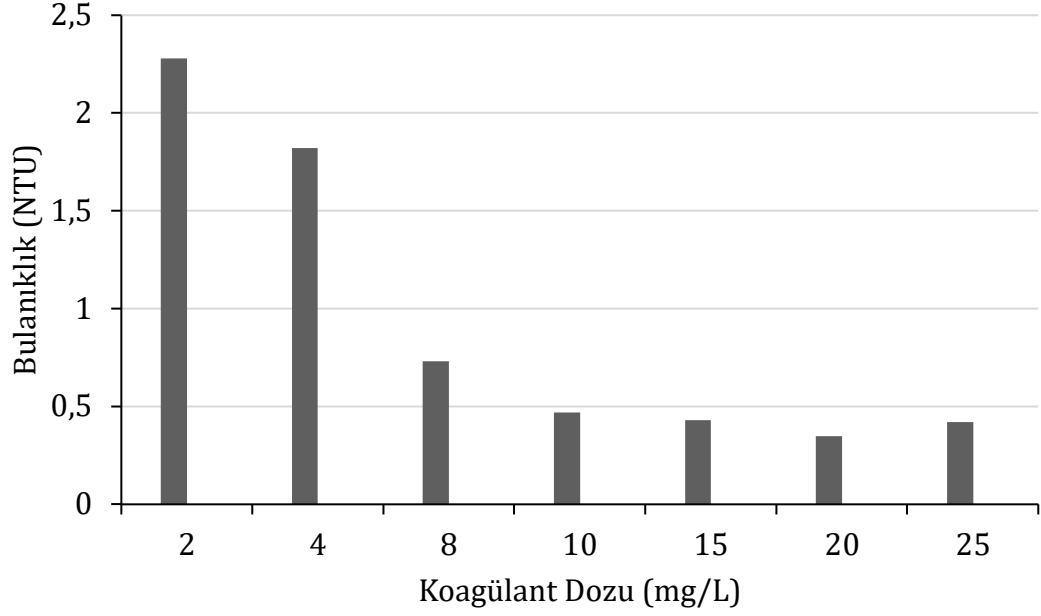
Şekil 4.10. Koagülant 2'nin farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi

Koagülant 3 Bulguları: Koagülant 3 olarak kodlanan kimyasal, organik + inorganik içeriğe sahip bir hibrit koagülanttır. Koagülant 3'ün etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 3'ün TOK giderim etkinliği 2 mg/L'den 25 mg/L'ye yükseltildiğinde % 44 olarak belirlenmiştir. Koagülant 3'ün farklı dozlarının TOK giderimine etkisi Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



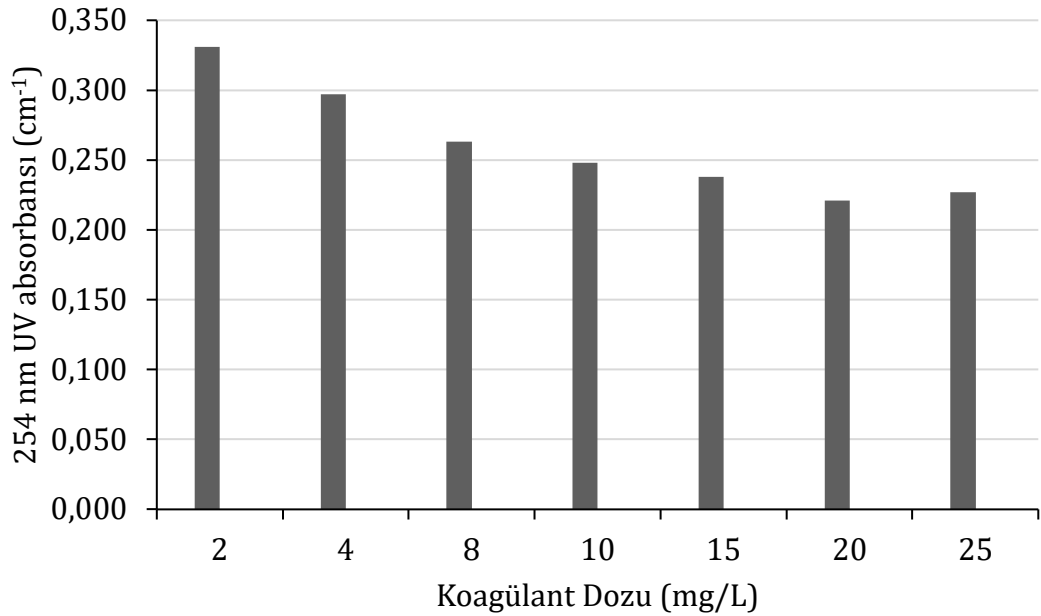
Şekil 4.11. Koagülant 3'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 3'ün etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 2,28 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,35 NTU olarak 20 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %60'lık giderim oranıyla 4 mg/L'den 8 mg/L'ye geçişte görülmüştür. Koagülant 3'ün farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



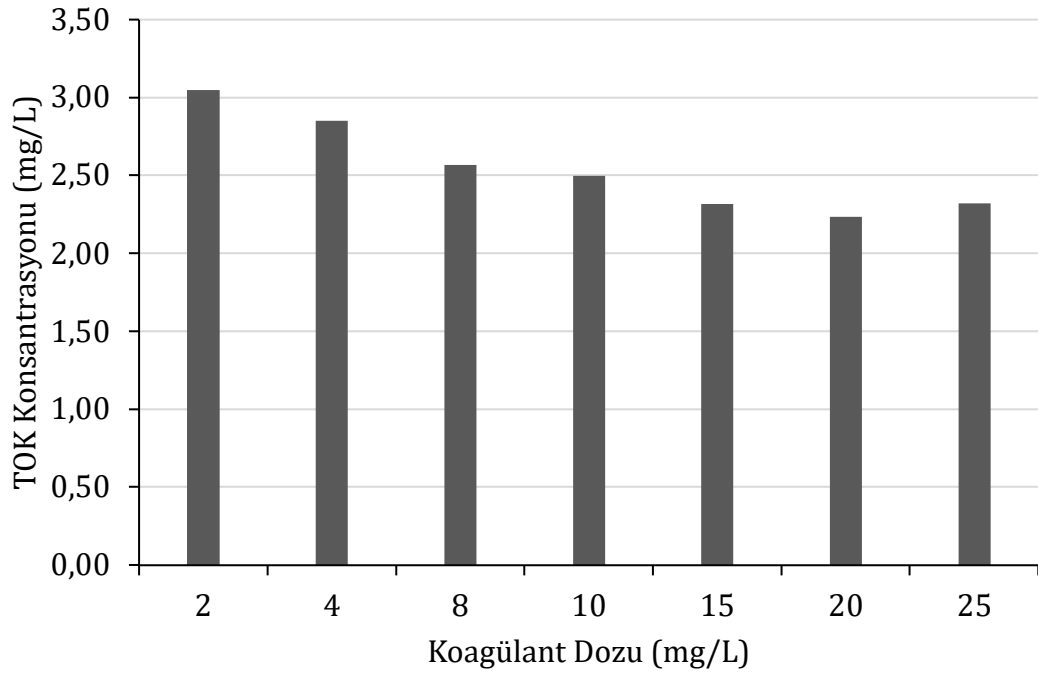
Şekil 4.12. Koagülant 3'ün farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 3'in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbansı $0,331 \text{ cm}^{-1}$ olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbansı ise $0,221 \text{ cm}^{-1}$ olarak 20 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 1'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbansı giderimine etkisi Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



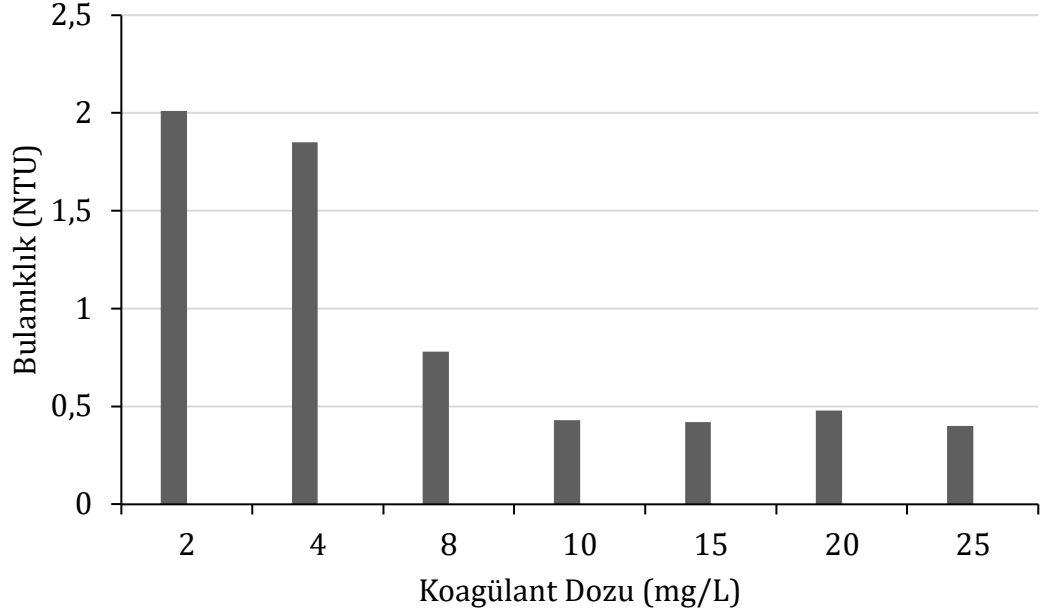
Şekil 4.13. Koagülant 3'ün farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi

Koagülant 4 Bulguları: Koagülant 4 olarak kodlanan kimyasal, organik + inorganik içeriğe sahip bir hibrit koagülanttır. Koagülant 4'ün etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 3'ün TOK giderim etkinliği 2 mg/L'den 25 mg/L'ye yükseltildiğinde % 7 olarak belirlenmiştir. Koagülant 4'ün farklı dozlarının TOK giderimine etkisi Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



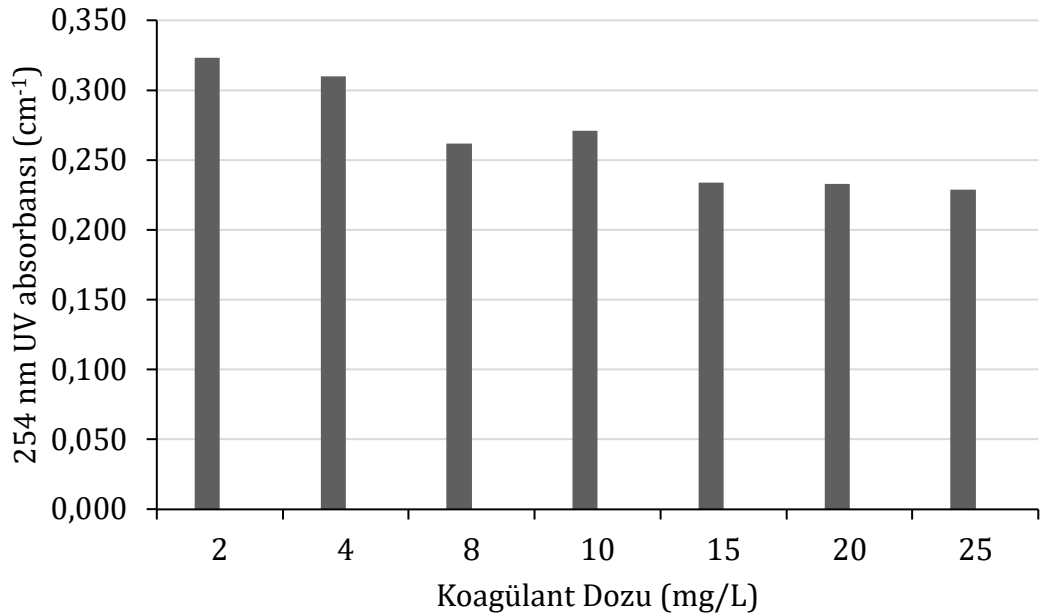
Şekil 4.14. Koagülant 4'ün farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 4'in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 2,01 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,20 NTU olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %58'lik giderim oranıyla 4 mg/L'den 8 mg/L'ye geçişte görülmüştür. Koagülant 4'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



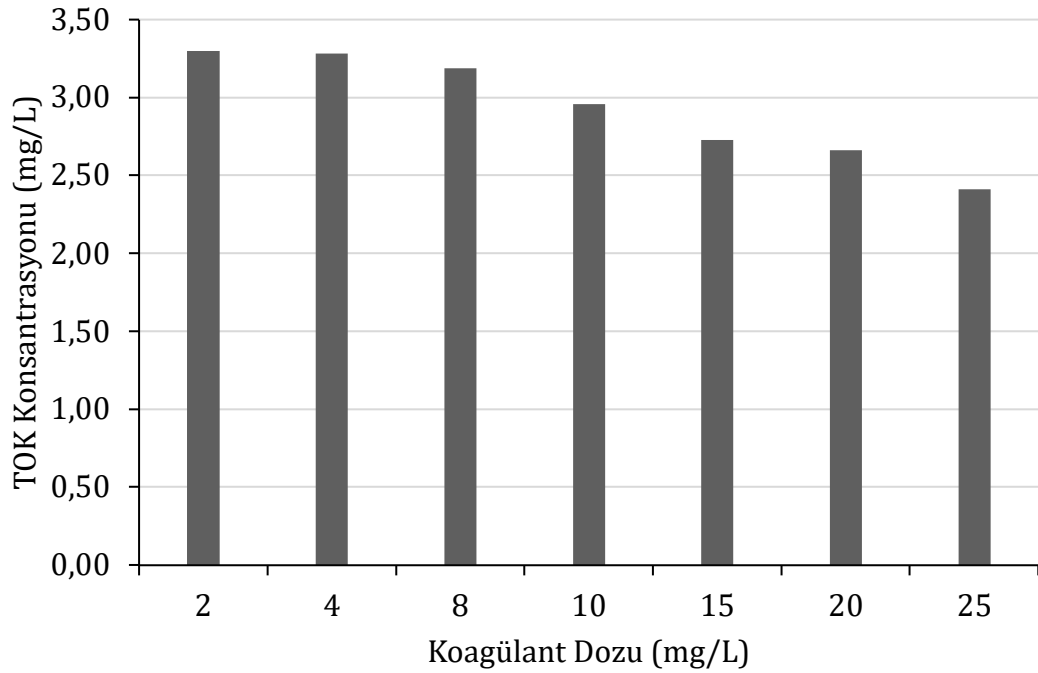
Şekil 4.15. Koagülant 4'ün farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 4'ün etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbanı 0,323 cm^{-1} olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbanı ise 0,229 cm^{-1} olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 4'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbanı giderimine etkisi Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



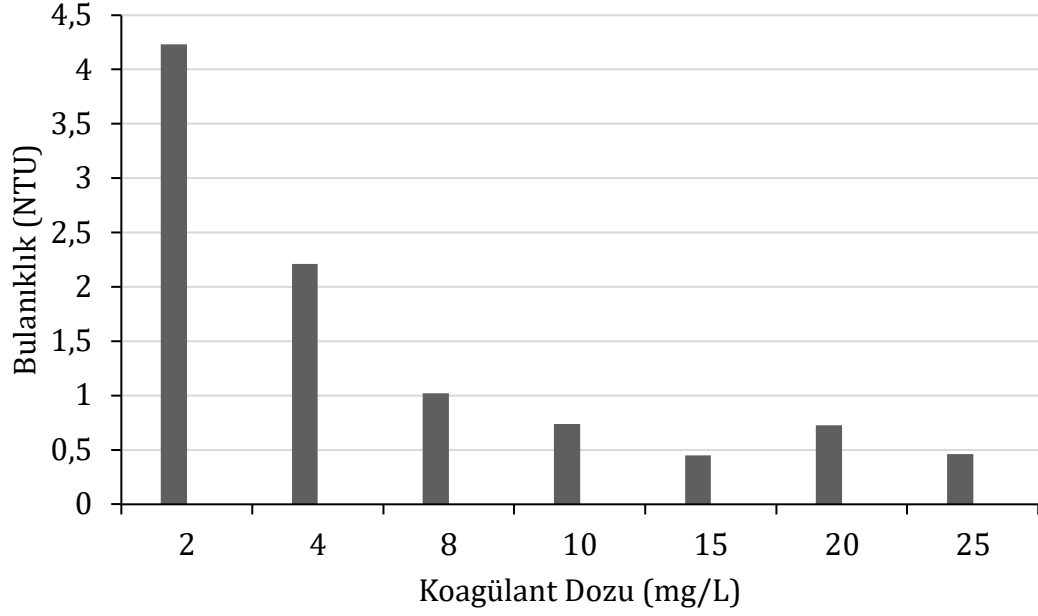
Şekil 4.16. Koagülant 4'ün farklı dozlarının UV absorbanı giderimine etkisi

Koagülant 5 Bulguları: Koagülant 5 olarak kodlanan kimyasal polialüminyum klorür (PAC), koagülant olarak kullanılan inorganik bir polimerdir. Koagülant 5'in etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 5'ün TOK giderim etkinliği 2 mg/L'den 25 mg/L'ye yükseltildiğinde % 27 olarak belirlenmiştir. Koagülant 5'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



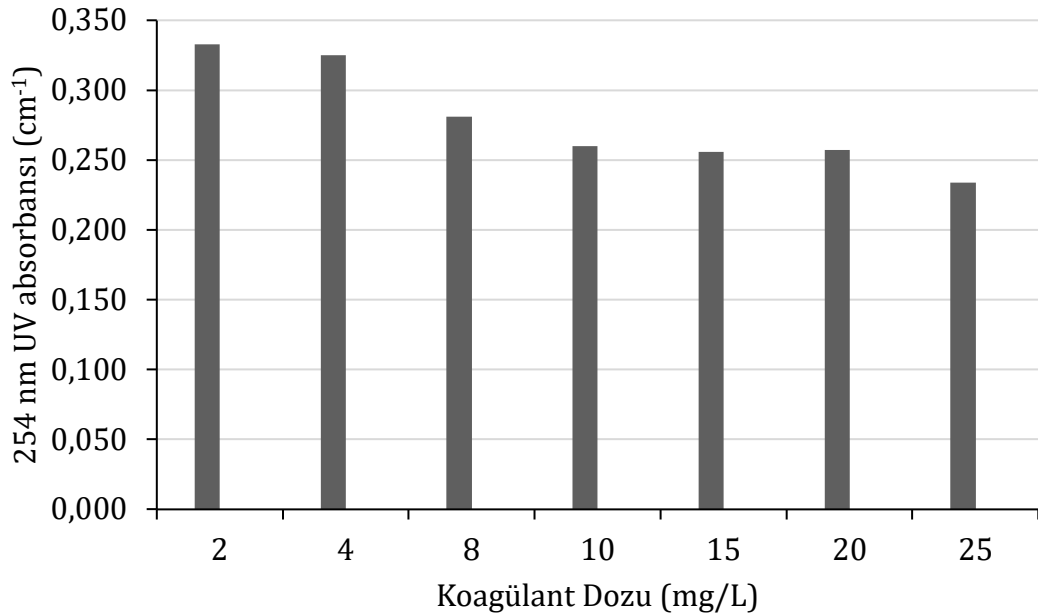
Şekil 4.17. Koagülant 5'in farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 5'in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 4,23 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,45 NTU olarak 15 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %54'lük giderim oranıyla 4 mg/L'den 8 mg/L'ye geçişte görülmüştür. Koagülant 5'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



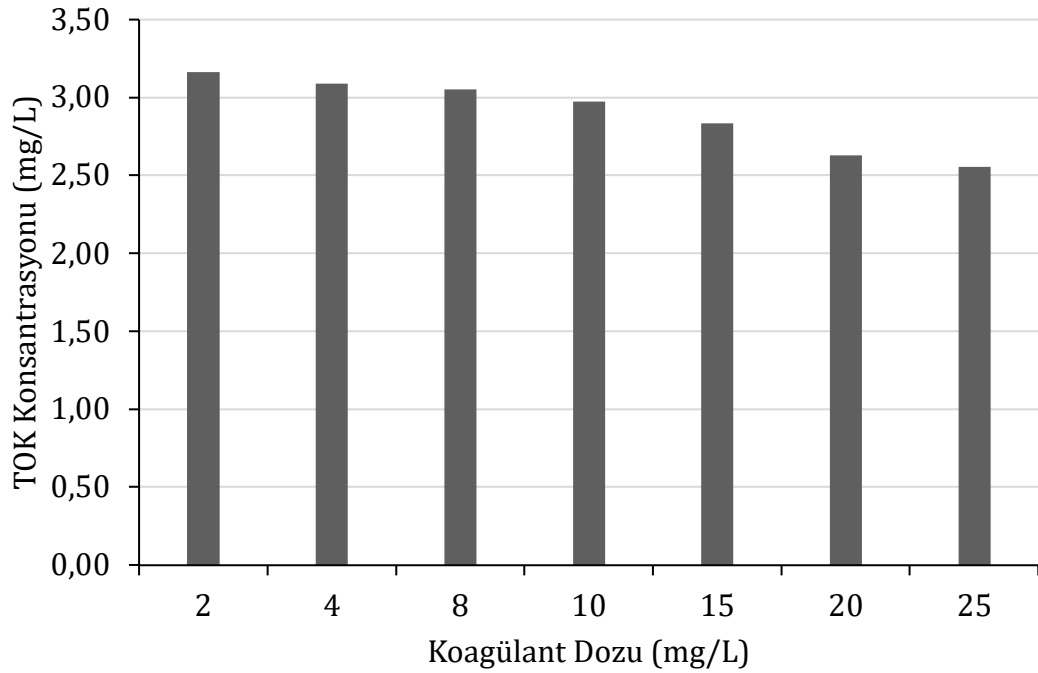
Şekil 4.18. Koagülant 5'in farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 5'in etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbansı $0,333 \text{ cm}^{-1}$ olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbansı ise $0,234 \text{ cm}^{-1}$ olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 5'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbansı giderimine etkisi Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



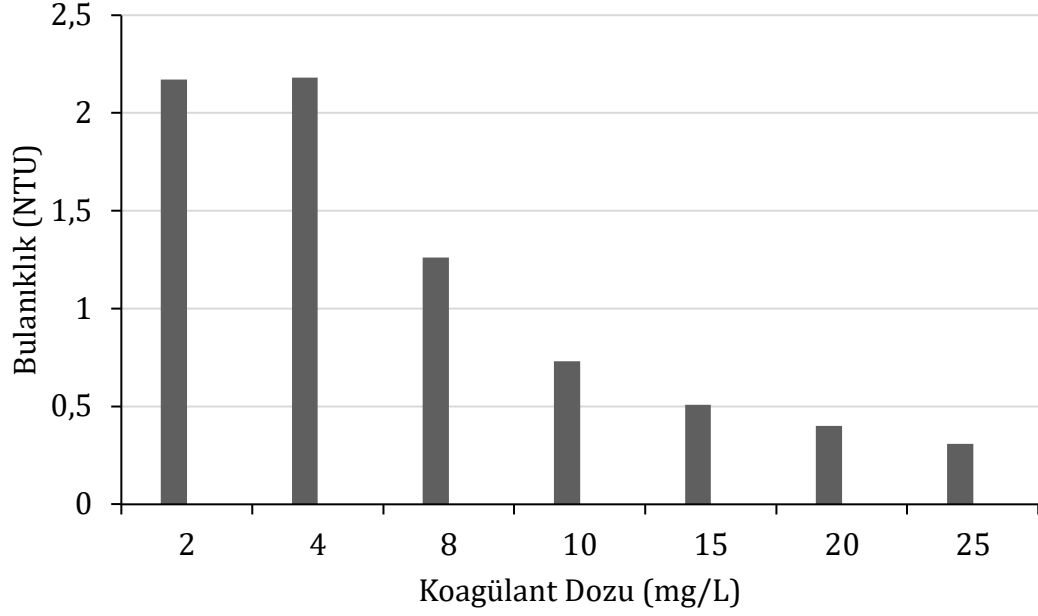
Şekil 4.19. Koagülant 5'in farklı dozlarının UV absorbansı giderimine etkisi

Koagülant 6 Bulguları: Koagülant 6 olarak kodlanan kimyasal, demir ve alüminyum klorür içerikli inorganik bir polimerdir. Koagülant 6'nın etkinliğini belirlemek için 2 – 4 – 8 – 10 – 15 – 20 – 25 mg/L dozlarında sırasıyla 3 tekrarlı olarak test edilmiştir. Koagülant 6'nın TOK giderim etkinliği 2 mg/L'den 25 mg/L'ye yükseltildiğinde % 19 olarak belirlenmiştir. Koagülant 6'nın farklı dozlarının TOK giderimine etkisi Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



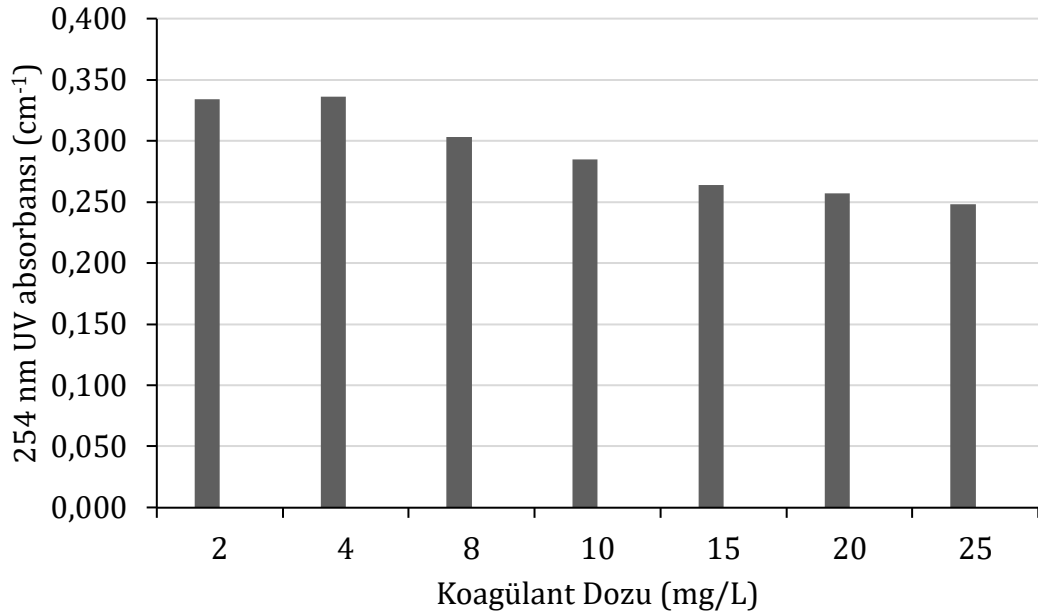
Şekil 4.20. Koagülant 6'nın farklı dozlarının TOK giderimine etkisi

Koagülant 6'nın etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek bulanıklık seviyesi 2,17 NTU olarak 2 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük bulanıklık düzeyi ise 0,31 NTU olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. En kayda değer bulanıklık giderimi ise %42'lik giderim oranıyla 4 mg/L'den 8 mg/L'ye geçişte görülmüştür. Koagülant 6'nın farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Koagülant 6'nın farklı dozlarının bulanıklık giderimine etkisi

Koagülant 6'nın etkinliğinin test edildiği deney düzeneğinde en yüksek 254 nm UV absorbanı 0,336 cm^{-1} olarak 4 mg/L koagülant dozunda ölçülmüştür. En düşük 254 nm UV absorbanı ise 0,248 cm^{-1} olarak 25 mg/L koagülant dozunda tespit edilmiştir. Koagülant 1'in farklı dozlarının 254 nm UV absorbanı giderimine etkisi Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Koagülant 6'nın farklı dozlarının UV absorbanı giderimine etkisi

Koagülasyon prosesinin uygulanmasında, koagülantın türü ve miktarının seçimi son derece kritik öneme sahiptir. Çünkü koagülantın türü ve miktarı, oluşan flokların boyutunu ve giderim mekanizmalarını (yük nötralizasyonu, adsorpsiyon vb.) etkiler. Bu nedenle, etkili bir DOM giderimi için DOM'un bileşimi ve su kaynağının özellikleri iyi anlaşılmalı ve buna göre uygun koagülant türü ve miktarı belirlenmelidir. Geleneksel olarak, alüminyum sülfat, demir klorür, demir sülfat gibi inorganik koagülantlar yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu koagülantların %30 ila %80 arasında DOM gideriminde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, geleneksel koagülantların kullanımıyla ortaya çıkan büyük miktardaki çamurun bertarafı önemli bir sorundur. Bu nedenle, çamur bertarafı sorununu çözmek için zirkonyum ve titanyum bazlı alternatif koagülantlar gibi alternatifler geliştirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar, bu tür koagülantların daha büyük ve daha güçlü floklar oluşturarak yüksek sedimentasyon hızına sahip olduğunu ve %90'a varan DOM giderim verimliliği sağlayabildiğini göstermektedir.

Su arıtımında koagülasyon-flokülasyon prosesini geliştirmek için hibrit malzemeler kullanılmaktadır. Son zamanlarda pek çok araştırmacı, bulanıklık, renk ve KOİ'nin başarılı bir şekilde giderilmesi için hibrit malzeme(ler)in çoklu özellik topluluklarına sahip hibrit koagülantlar kullanarak su arıtımında koagülasyon-flokülasyon teknikleri incelenmiş ve geliştirilmiştir. İnorganik-inorganik hibrit malzemelerin üretimi, suyun arıtılmasında koagülasyon-flokülasyon işleminin etkinliğini arttırmak için inorganik polimerik pıhtılaştırıcıları (IPC'ler) içerir. IPC pıhtılaştırıcıları tipik inorganik pıhtılaşma tuzlarından daha verimlidir (Gao vd., 2007; Tzoupanos ve Zouboulis, 2011; Xie vd., 2015), çünkü IPC'ler su pH'ı ve sıcaklığının etkilerine karşı daha dayanıklıdır (Gao vd., 2003; Moussas ve Zouboulis, 2009). Her ne kadar inorganik-inorganik hibrit pıhtılaşma prosesi kentsel, endüstriyel ve çöp sızıntı suyu gibi birçok atık su türü için yaygın olarak kullanılsa da; giderme verimlilikleri KOİ, TOK ve renk için %46 - 100 arasında değişir. Çalışmalar, yağlı atık sulardan organik parçacıkların ve endüstriyel atık sulardan ağır metallerin önemli ölçüde giderildiğini de bildirmiştir. Yüksek konsantrasyonda organik ve ağır metal

içeren endüstriyel atıksular için inorganik-inorganik hibrit malzemelerle koagülasyon işlemi önerilmektedir. Ön-hidrolize edilmiş metalik tuzlar (hibrit pıhtılaştırıcılar), alüminyum sülfat (şap) ve ferrik sülfat (Gao vd., 2007) gibi hidrolize edici metalik tuzlarla karşılaştırıldığında yüksek verimlilik gösterirken, PACS (polialüminyum-klorür-sülfat) ve PFSiS (poliferrik- silikat-sülfat) düşük sıcaklıklarda bile daha fazla renk ve yağ giderme eğilimindedir ve daha az çamur oluşturulur (Gao vd., 2003; Li vd., 2009; Verma vd., 2012). Bunun nedeni ise; bu tür hibrit malzemeler, geleneksel inorganik pıhtılaştırıcılara kıyasla toplama kapasitesini geliştirmek ve daha büyük moleküler yapı oluşturmak için birden fazla kimyasal gruba (örneğin alüminyum, sülfat ve magnezyum) sahip olmasıdır. Ayrıca maliyet açısından iki aşamalı pıhtılaşma sürecini ortadan kaldırmak için arıtmanın tek bir üniteye yapılabilmesi de önemlidir.

Belirli kısıtlamalara sahip inorganik pıhtılaştırıcılar, organik pıhtılaştırıcıların ayrı ayrı kullanılmasıyla karşılaştırıldığında koagülasyon yeteneklerini olumsuz yönde etkiler (Lee vd., 2011). Poliakrilamid (PAM) (Casse TL ve Shazwan, 2014; Lee vd., 2011; Vedoy ve Soares, 2015) ve polidimetildialilamonyum klorür (PDMDAAC) (Ariffin vd., 2012) gibi organik polimerik malzemeler, yüksek verimlilikte KOİ ve bulanıklık giderimi sergilemiştir. Kompozit polimerler, bir malzemedeki birleştirilen inorganik ve organik bileşenlerin sinerjik etkisi nedeniyle ayrı bileşenlerden daha iyi performans gösterir (Yang vd., 2004). IPC'lerin ve inorganik pıhtılaştırıcıların örnekleri $Al(OH)3Al2(SO4)3$ 'tür (Qian vd., 2004; Sun vd., 2008; Zhao vd., 2009), $CaCl2$, $FeCl3$ (AlMubaddal vd., 2009), $MgCl2$ (Lee vd., 2012, 2017; Su vd., 2016), PFC (Gao vd., 2008) PAC (Hoa ve Hue, 2018) ve PAFC/CPAM (You vd., 2021). Hibrit malzemeler elde etmek için organik ve inorganik bileşenler PAFC/CPAM'in uygun kombinasyonu, suyun arıtılmasında koagülasyon-flokülasyon prosesinin etkinliğini etkili bir şekilde artırabilir; bu çalışmalarda KOİ (%89), boya (%70), bulanıklık (%98) için mükemmel giderme verimliliği kaydedilmiştir (Lee vd., 2011, 2015; Tan ve Lai, 2017; You vd., 2021). Bu uygulamanın (inorganik-organik koagülant) temel avantajı, pH ayarlaması için kullanılan kimyasalların maliyetini en aza indirmek amacıyla atıksu arıtımında uygulanabilen farklı pH değerlerinde

çalışabilmesidir. Çoğu uygulama için en uygun çalışma koşulları pH > 9 ve < 7 olarak tespit edilmiştir.

4.4. İçme Suyu Arıtma Tesisinde Karşılaşılan Sorunlar ve Revizyon Önerileri

Problem 1: Kaynakta Alg Oluşumu

Evsel ve endüstriyel atıklar, deterjanlar, tarımsal ve hayvansal uygulamalardan gelen atıklar yüzey akış ile su kaynağına karışarak su kaynağında azot ve fosfor gibi besin maddelerinin artmasına sebep olmakta ve yaz aylarında sıcaklığın artışına bağlı olarak da su kaynaklarında alg oluşumuna ve önlenmezse ötrofikasyona sebebiyet verebilmektedir.

Çözüm Önerisi: Mümkün mertebe sorun kaynağında çözülmelidir. Su kaynağına karışması muhtemel kirleticiler sıkı denetimden geçirilmeli ve atık suları arıtılarak kaynağa verilmelidir. Bu hususun mümkün olmadığı durumlarda yaz aylarının başlaması ile su kaynaklarının yüzeyine alg oluşumunu önleyici bakır sülfat veya algasit kimyasalları dozlanarak problem giderilebilir.

Problem 2: Su Alma Yapılarındaki Tasarım Hatası

Kademeli olmayan su alma yapıları ham suyun yapısının mevsimlere göre değişmesine ve su kaynağının seviye değişimlerinde su kalitesinin bozulmasına sebebiyet verebilmektedir.

Çözüm Önerisi: Su alma yapıları kademeli sistem olarak kurulmalıdır. Kademeli su alma yapılarında, kaynak yüzeyinden su alındığı takdirde başta bulanıklık olmak üzere demir, mangan gibi birçok kirletici konsantrasyonu düşük ham su temin edilerek su arıtma tesisine alınabilir. Bu sayede arıtma tesisinde işletme maliyetleri de düşebilmektedir.

Problem 3: Arıtma Tesisi Girişinde Fiziksel Arıtmada Tıkanıklıklar

Arıtma tesislerinin giriş yapılarında veya durultucu havuzları girişlerinde su kaynağından gelebilecek olan, su alma yapısı eleklerinden geçecek büyüklükte canlılar, yaprak, ot vb. bitkiler elekleri tıkayabilmektedir. Tıkanan eleklerin üzerinden havuzlara geçiş yapan bu kirleticiler başta trident borular olmak üzere çamur boşaltma sistemlerini tıkamaktadır. Böyle durumlarda çamur yapısında bozulmalara ve bulanıklık artışına sebebiyet verebilmektedir.

Çözüm Önerisi: Operatör bu konuda iyi eğitilmelidir ve elekleri sürekli kontrol ederek gerektiğinde değiştirmeli ve temizliğini sağlamalıdır. Mümkün olması halinde otomatik temizlemeli hareketli elekleri kullanmak büyük fayda sağlamakta ve tüm havuzlara eşit su debisi girmesine de olanak sağlamaktadır. Bu sayede tüm durultucu havuzlarında stabil bir çamur battaniyesi oluşur ve arıtma verimi yükselebilir.

Problem 4: Debideki Ani Değişimler

Su debisindeki ani değişimler başta durultucularda çamur dalgalanmasına sebebiyet vererek bulanıklık artışına sebebiyet vermektedir

Çözüm Önerisi: Özellikle arıtma tesisi öncesinde hidroelektrik santrali olan tesislerde bu problemler ile karşılaşılabilir. Santralden kaynaklanan arızalar, hava koşullarından dolayı arıtma tesisini besleyen boru hattı önündeki ızgaraların tıkanması gibi sebeplerden dolayı arıtma tesisine geçiş yapan suyun debisinde dalgalanma ve debide ani değişimler oluşabilmektedir. Öncelikle isale hattının zarar görmemesi için hat üzerinde uygun mesafelerde konumlanmış vantuz sistemleri kurulmalıdır. Ayrıca işletme açısından su alma yapısı çıkışı ve tesis girişine debimetre konulmalıdır. Bu debimetreler sayesinde tesis giriş debisi scada sistemi ile anlık ve online ölçülebilmelidir. Bu sayede anlık debi değişimleri önceden tespit edilerek debi değişimlerinde uygun koagülant dozlamaları ayarlanarak çamur dalgalanmalarının önüne geçilebilir.

Problem 5: Ham Suda Ani Bulanıklık Artışları

Hava şartlarına bağılı olarak özellikle yağışlı havalarda su kaynağına hızla giriş yapan sel suları su kaynağında bulanıklığı artırabilmektedir. Böyle durumlarda özellikle tarımsal ilaçlamaların yapıldığı dönemde ise suda renk ve organik madde içeriğı büyük oranda artabilir ve arıtma tesisinde serbest klorda ani düşmelere sebebiyet verebilir.

Çözüm Önerisi: Arıtma tesisleri girişinde anlık bulanıklık ölçer analizörleri ve numune alma muslukları olmalıdır. Bu sayede bulanıklık değışimleri anlık olarak tespit edilerek müdahale edilebilir. Böyle durumlarda ham sudan numune alınarak jar tesleri ile optimum dozlamalar belirlenmeli ve tesiste dozlanan kimyasallar jar testi sonuçlarına göre yenilenmelidir. Jar testleri bulanıklık ve toplam organik karbon parametreleri birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca organik madde yüklenmesi ve renk oluşumu durumlarında ön dezenfeksiyon şoklaması yapılmalı ancak dezenfeksiyon yan ürün oluşumları da göz önüne alınarak sürekli takip edilmeli mümkün ise anlık dezenfeksiyon yan ürün ölçüm analizörleri kullanılmalıdır. Koagülasyon-flokülasyon ve çöktürmenin toplam organik karbon giderim performansına etkisini belirlemek için durultucu çıkışlarına toplam organik karbon analizörü eklenmelidir. İçme suyu arıtma tesisi çıkışına toplam organik karbon analizörü eklenerek şebekede devam edecek dezenfeksiyon yan ürünü oluşumları hakkında ön bilgi sağlanabilir.

Problem 6: Yetersiz veya Kırılgan Flok Oluşumu

Yetersiz veya kırılgan flok oluşumu durultucu ünitelerinde flok kaçaklarının artmasına, çamur yapısının bozulmasına ve buna bağılı olarak filtre ünitesine geçiş yapan suyun bulanıklık yükünün artmasına sebebiyet vermektedir.

Çözüm Önerisi: Koagülant ve flokülant dozlarının uygun olup olmadığının kontrolü için jar testler yapılmalıdır. Ayrıca koagülant dozlamaları optimum dozlamada olsa dahi karıştırma süresi yetersiz veya ihtiyaçtan fazla olabilmektedir. Bu yüzden yeterli temas süresi de jar testleri ile belirlenmelidir.

Özellikle kış aylarında suyun sıcaklığı düşeceğinden koagülasyon işlemi daha yavaş gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak temas süresini artırmak gerekmekte, bu sebeple koagülant dozajı uygun temas süresini sağlayacak şekilde daha geriden verilmelidir veya su debisi azaltılarak temas süresi uzatılabilir.

Problem 7: Filtre Yıkama İhtiyacı Sürelerinin Kısalması

Durultucu havuzları çıkışı verimi ile filtre yıkama ihtiyacı doğru orantılıdır. Durultucu havuzlarından kaçan kirleticiler filtre havuzlarının tıkanmasına ve geri yıkama gerekliliğinin hızlı gelmesine sebebiyet verebilir.

Çözüm Önerisi: Ham su bulanıklığı kontrol edilmelidir. Mevcut bulanıklığa göre optimum kimyasal dozlamalar belirlenmelidir. Durultucu ünitesinde flok kaçağı, çamur şişmesi gibi durumların oluşumu kontrol edilmelidir. Çamur şişmesi gibi durumlarda dip drenajlar açılarak çamurun aşağı yönde hareketi sağlanabilir. Ayrıca çamur numunesi alınarak çamur yoğunluğu kontrol edilmeli çamur yoğunluğu yüksek havuzlarda çamur boşaltma sistemleri bypass edilerek boşaltılarak çamur seviyesinin azalması sağlanabilir. Eğer çamur yapısında da problem yoksa, filtrelerde bulunan filtre kumu kontrol edilmeli gerekli görülürse kum eklemesi veya kum değişimi yapılmalıdır. Ayrıca filtre yıkama sistemleri (nozullar, blowerler ve geri yıkama motorları) kontrol edilmelidir.

Problem 8: Temiz Suda Yüksek Bakiye Alüminyum Konsantrasyonu

Tesislerde kullanılan kimyasal alüminyum içerikli ise ve optimum dozlamalar altında kullanılıyor ise durultucu ünitesinden kaçan floklar filtre ünitesinde tutulsa dahi çıkış suyunda alüminyum konsantrasyonunun artmasına sebep olabilir. Fazla koagülant kullanımı da suda çözünen alüminyum oranını artıracığından bakiye alüminyum oranını artırabilir. Ayrıca optimum dozlama var ise ve çamur yapısı stabil halde olmasına rağmen alüminyum konsantrasyonu yine yüksek çıkmakta ise mevcut kullanılan koagülant yapısında bozulma olmuş olabilir.

Çözüm Önerisi: Önce ham sudan alınan numuneler ile optimum dozlamanın belirlenmesi için jar testleri yapılmalıdır. Optimum dozlama belirlendikten sonra tesiste kimyasal dozlamalar revize edilmelidir. Ancak koagülant dozajı zaten optimumda olmasına rağmen bu problemle karşılaşıyor ise, önce farklı ph aralıklarında jar testler tekrarlanmalı uygun sonuca ulaşırsa tesiste asit veya baz ilavesi ile ph istenilen aralığa getirilmeli ancak yine sonuç alınamazsa kimyasal yapısında bozulma oluşmuş olabilir. Böyle durumlarda farklı koagülant yaklaşımları ile jar testleri tekrarlanmalı ve optimum dozlamada suda bakiye alüminyum bırakmayan koagülant kimyasallar tercih edilmelidir.

Problem 9: Dezenfeksiyon Belirsizlikleri ve Dezenfeksiyon Yan Ürünü Oluşumları

Dezenfeksiyon sürecinde karşılaşılan sorunlar arasında klor yönetiminin manuel olarak yapılması, debi ve bakiye klor ayarlı, SCADA kontrollü, otomatik klorlama sistemlerinin kullanılmaması, ön klorlamada şebeke üzerindeki klor seviyelerinin kontrol edilmemesi, klor taleplerinin belirsizliği, servis suyunda ön klor ve son klor kontrolünün ihmal edilmesi, bağlı klor analizlerinin yapılmaması, klorlamanın sadece mikrobiyel etkileri göz önüne alınarak gerçekleştirilmesi, dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolü için herhangi bir önlem alınmaması, toplam organik halojenlerin izlenmemesi, bromür ve HOBr takibinin yapılmaması, paçallama ve klor yönetiminin bir arada düşünülmemesi yer almaktadır.

Çözüm Önerisi: Tesislerde, debi ve bakiye klor ayarlı, SCADA kontrollü, otomatik klorlama sistemlerine geçilmesi ve ayrıca şebeede hidrolik ve klor bozunma modellerine göre konumlandırılan online klor analizörleriyle etkili bir klor yönetimi yapılması (gerektiğinde ara klorlamalar dahil) önerilmektedir. Şebekeler alt bölgelere ayrılmalı, alt bölgelerde basınç ve debi izlenerek klor ve basınç yönetimleri uygulanmalıdır. Hidrolik ve klor bozunma modellerine göre şebekelerde online klor analizörlerinin yerleri belirlenmeli ve yerleştirilmelidir. İhtiyaç halinde otomatik ara klorlama uygulanmalıdır. Serbest klorun yanı sıra içme suyu arıtma tesisi çıkışında ve şebekede birkaç noktada toplam ve bağlı klor

da izlenebilir. Farklı toplam organik karbon miktarları, değişen arka plan su kimyası ve farklı su sıcaklıklarına göre laboratuvarlarda en azından mevsimsel olarak klor bozunma kinetikleri ve katsayıları belirlenmelidir. Ön klorlama sonrası ve son klorlama temas tankı çıkışında serbest klorun yanı sıra toplam klor da online olarak ölçülebilir; böylece kırılma noktası klorlaması ve bağlı klor mevcudiyeti hakkında bilgi sağlanmış olur. En azından haftada bir kez şebekenin farklı noktalarında kontrol amaçlı toplam klor ve bağlı klor analizlerinin yapılması önerilmektedir. Şebekede izleme yapılan noktaların seçimi, hidrolik modellemelere veya model olmadığı durumlarda deneyime ve tesisat durumlarına dayanarak su bekleme süreleri, su yaşları, boru tipleri ve yaşları, arka plan su kalitesi, sıcaklık ve klor tüketimleri dikkate alınarak optimize edilmelidir. Klor izlemesi yapılan noktaların seçimi optimize edilmeli, seçilen noktalar tüm şebekeyi temsil etmeli, şebekelerde klorsuz bölgelerin olmaması veya şebeke girişlerinde aşırı klor bulunmaması doğrulanmalıdır. Klor doz optimizasyonları sadece mikrobiyel su kalitesine değil, aynı zamanda dezenfeksiyon yan ürünü oluşumunu kontrol açısından da yapılmalıdır. Klor yönetimine dezenfeksiyon yan ürünü bileşeni de eklenmelidir. İçme suyu arıtma tesisleri, arıtılmış sularında dezenfeksiyon yan ürünü oluşumlarını takip etmek için yılda en az 4-5 kez toplam organik halojen analizlerini yaptırmalıdır. Midye kontrolü için su alma yapısında ön klorlama ve/veya diğer oksidanlarla ön oksidasyon yapılmalı, tesis boyunca suda bakiye dezenfektan/oksidan kalması sağlanmalıdır. Ham sulardaki potansiyel mikrobiyolojik riskler ve klorun bazı virüs ve protozoalara karşı etkisiz olabilme durumları göz önünde bulundurularak, paçallama yaklaşımının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Şebekede oluşabilecek herhangi bir su kalitesi sorununda soruna sebep olan içme suyu arıtma tesisinin belirlenebilmesi için su şebekeleri alt basınç bölgelere ayrılmalı, debiler SCADA kontrolü ile izlenerek karışım yerleri ve oranları bilinmelidir. İçme suyu arıtma tesislerinin dezenfeksiyon yan ürünü türleri ve bunların bilinen toksikolojik etkilerine göre klorlama protokollerini uygulaması gerekmektedir. Trihalometan veya diğer dezenfeksiyon yan ürünü gruplarının belirlenen limitleri sağlayamayan tesisler, havzada toplam organik karbon kontrolü, ön klorlamanın terk edilmesi, iyileştirilmiş koagülasyon, membran filtrasyonu, toz aktif karbon veya granül aktif karbon adsorpsiyonu,

ozonlama ve kloraminasyon kombinasyonu, klor dozaj optimizasyonu, ileri oksidasyon ve benzeri birçok teknolojiyi veya işletme varyasyonlarını test etmelidir.

Problem 10: Su Depolarında Kirlilik Birikimi

Ham ve temiz su depolarında karşılaşılan sorunlar arasında depoların yetersiz sıklıkta temizlenmemesi sonucu özellikle temiz su depolarında bulanıklık ve kirlilik artışı oluşabilir.

Çözüm Önerisi: Ham su ve temiz su depolarının yılda en az 1-2 kez boşaltılarak, basınçlı suyla fiziksel olarak ve şok klorlama yöntemiyle kimyasal olarak temizlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, filtre geri yıkama sularının biriktirildiği toplama/tutma tanklarının periyodik olarak temizlenmesi de tavsiye edilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, hem bir yıllık içme suyu arıtma tesisi izlenmesi hem de farklı koagülantların içme suyu arıtma tesislerinin arıtma performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlamıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen bulgulara dayanarak şu sonuçlara ulaşılmıştır: Hibrit koagülantlar organik içerikleri sebebiyle suda daha az kimyasal kalıntı bırakırlar ve dolayısıyla daha az çevresel etkiye sahiptirler. Ancak inorganik koagülantlara göre yüksek maliyetli olmaları sebebiyle fayda-maliyet oranı düşük kalmaktadır. Ancak organik içeriği yüksek bir ham su arıtımı için bu oranın değişme ihtimali vardır. Yüksek kirletici içerikli bir ham su arıtımı için kullanılacak organik içerikli hibrit koagülant dozaj miktarı, kullanılacak inorganik koagülant dozaj miktarından çok daha az olabilmektedir. Su kaynağından alınan numunelerde yapılan analiz sonuçlarına göre, ham su kirliliği düşük olduğu için inorganik koagülantların kirletici giderim verimlerinin hibrit koagülantların verimlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Maliyet sebepleri de göz önünde bulundurulduğunda, düşük kirletici konsantrasyonuna sahip su kaynaklarında hibrit koagülant kullanımı gereksiz kalmaktadır.

Ancak hibrit koagülantların mali açıdan daha aşağı seviyelerde olması durumunda ve ham su kirletici konsantrasyonu düşük olsa dahi, inorganik koagülantlara oranla daha düşük kimyasal dozajı, daha az çamur oluşumu, sıkıştırılabilir flok, geniş pH aralığında çalışabilme, bakiye ağır metal içermeme gibi avantajlara sahip olduklarından dolayı kullanılması önerilebilir.

Deneylerimiz, farklı koagülantların içme suyu arıtma tesislerinde farklı arıtma verimlilikleri sağladığını göstermektedir. Özellikle, koagülant 1 ve koagülant 3 koagülantları, çöktürme ve flokülasyon süreçlerinde daha etkili bulunmuştur. Koagülant dozajının artmasıyla birlikte, çöktürme ve flokülasyon süreçlerinde daha etkili bir arıtma performansı elde edilmiştir. Ancak, dozajın aşırı artması, su kalitesinde istenmeyen değişikliklere neden olabilir. Optimum arıtma performansı için, koagülantın uygulanacağı pH ve sıcaklık değerlerinin dikkate alınması önemlidir. İncelenen koagülantların ekonomik ve çevresel etkileri de

göz önüne alınmalıdır. Daha ucuz ve çevre dostu koagülantlar, içme suyu arıtma tesislerinin işletme maliyetlerini düşürebilir ve çevresel sürdürülebilirliği artırabilir.

Sonuç olarak, içme suyu arıtma tesislerinin verimliliğini artırmak için koagülant seçimi ve dozajı gibi faktörlerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın elde ettiği bulgular, içme suyu arıtma proseslerinin optimize edilmesine ve daha sağlıklı içme suyu sağlanmasına katkı sağlayabilir. Ancak, daha fazla araştırma ve saha çalışmalarıyla bu konudaki bilgi ve anlayışın derinleştirilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Adusei-Gyamfi, J.; Ouddane, B.; Rietveld, L.; Cornard, J.-P.; Criquet, J. Natural organic matter-cations complexation and its impact on water treatment: A critical review. *Water Res.* 2019, 160, 130–147.
- Ardıç, M. (2015). Baraj göllerindeki sediment birikimlerinin zamansal değişimi ve CBS ile görselleştirilmesi (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ates, N., Kitis, M., Yetis, U. 2007 "Formation of chlorination by-products. in waters with low SUVA-correlations with SUVA and differential UV spectroscopy". *Water Research* 41 (18), 4139-4148.
- Aydın Er, B., (2023). Kızılırmak ve Yeşilirmak Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Bakış, R., & Gürcan, A. R. I. (2010). Bodrum Yarımadasının İçme-Kullanma Suyu Problemi ve Çözüm Önerileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (2), 71-80.
- Benalia, A., Derbal, K., Khalfaoui, A., Bouchareb, R., Panico, A., Gissoni, C., ... & Pizzi, A. (2021). Use of Aloe vera as an organic coagulant for improving drinking water quality. *Water*, 13(15), 2024.
- Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water research*, 41(11), 2301-2324.
- Brezinski, K.; Gorczyca, B. Multi-spectral characterization of natural organic matter (NOM) from Manitoba surface waters using high performance size exclusion chromatography (HPSEC). *Chemosphere* 2019, 225, 53–64.
- Canpolat, A. (2019). Şanlıurfa konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinin toplam organik karbon bakımından arıtma veriminin belirlenmesi/Determination of treatment efficiency of Şanlıurfa conventional drinking water treatment plant for total organic carbon (Doctoral dissertation).
- Chandrasekhar, V. (2005). *Inorganic and organometallic polymers* (pp. 209-248). Berlin: Springer.
- Dayarathne, H.N.; Angove, M.J.; Aryal, R.; Abuel-Naga, H.; Mainali, B. Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. *J. Water Process Eng.* 2021, 40, 101820.
- Duan, J., & Gregory, J. (2003). Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in colloid and interface science*, 100, 475-502.

- Durmuş, M.T., (2021). Ankara Çayı Su Kalitesinin Nsf-Wqı İndeksi Kullanılarak Belirlenmesi Ve Çözüm Önerilerinin Değerlendirilmesi. Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Edzwald, J.K., Tobiason, J.E. 1999 "Enhanced coagulation: US requirements and a broader view". Water Science and Technology 40 (9), 63-70.
- Gebbie, P. (2001, September). Using polyaluminium coagulants in water treatment. In 64th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference (pp. 39-47).
- Gedikoğlu, H., & Şahinkaya, S. (2021). Balıkesir ili merkez içme suyu arıtma tesisi su kalitesinin yıllık değişiminin değerlendirilmesi ve revizyon önerileri (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
- Gerçek, A.B., (2022). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde Tanımlanan Belirli Kirleticiler İçin Kaynak Eşleştirilmesinin Sayısallaştırılması. Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Gilca, A.F.; Teodosiu, C.; Fiore, S.; Musteret, C.P. Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes. Chemosphere 2020, 259, 127476.
- Go, R.J.C.; Yang, H.L.; Kan, C.C.; Ong, D.C.; Garcia-Segura, S.; de Luna, M.D.G. Natural organic matter removal from raw surface water: Benchmarking performance of chemical coagulants through excitation-emission fluorescence matrix spectroscopy analysis. Water 2021, 13, 146.
- Gupta, V. K., Ali, I., Saleh, T. A., Nayak, A., & Agarwal, S. (2012). Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview. Rsc Advances, 2(16), 6380-6388.
- Hashempour, Y., Nasser, M., Mohseni-Bandpei, A., Motesaddi, S., Eslamizadeh, M. 2020 "Assessing vulnerability to climate change for total organic carbon in a system of drinking water supply". Sustainable Cities and Society 53, 101904.
- Irdemez, Ş., Özger, H., TORUN, F. E., & Sinan, K. U. L. (2021). Kars ili Sarıkamış ilçesi içme suyu arıtma tesisi giriş ve çıkış su kalitesinin aylara göre değişiminin incelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(1), 235-248.
- İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. (<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7510&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>) , (Erişim Tarihi: 11.03.2024).

- Jones, A.N.; Bridgeman, J. A fluorescence-based assessment of the fate of organic matter in water treated using crude/purified Hibiscus seeds as coagulant in drinking water treatment. *Sci. Total Environ.* 2019, 646, 1–10.
- Karabulut, B. Y., Canpolat, A., & Yeşilnacar, M. İ. Evaluation Of Total Organic Carbon Removal Efficiency In Sanliurfa Drinking Water Treatment Plant. *Middle East Journal of Science*, 5(2), 106-112.
- Kitiş, M., Karanfil, T., Kilduff, J.E., Wigton, A., 2001. The reactivity of natural organic matter to disinfection by-products formation and its relation to specific ultraviolet absorbance. *Water Science and Technology*, 43(2), 9-16.
- Kyzas, G. Z., & Matis, K. A. (2016). Electroflotation process: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 220, 657-664.
- Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process safety and environmental protection*, 92(6), 489-508.
- Lin, J.-L.; Huang, C.; Chin, C.-J.M.; Pan, J.R. Coagulation dynamics of fractal flocs induced by enmeshment and electrostatic patch mechanisms. *Water Res.* 2008, 42, 4457–4466.
- Masu, S.; Burtica, G.; Manea, F.; PISOI, I. Spectrophotometric parameters for organic matter characterization in raw and treated surface water. *Environ. Eng. Manag. J.* 2011, 10, 1451–1457.
- Matilainen, A., Gjessing, E.T., Lahtinen, T., Hed, L., Bhatnagar, A., Sillanpaa, M. 2011 "An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment". *Chemosphere* 83 (11), 1431-1442.
- Özgür, C., (2019). Farklı Su Kaynaklarında ve Şebekelerde Karbonlu Ve Azotlu Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özgür C., Barış D., Kaçikoç M., Kaplan B. Ş. Ş. (2020). Su kaynaklarında ve şebekelerde çözünmüş organik azotun mevsimsel değişiminin izlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8, 961-972.<https://doi.org/10.21923/jesd.724137>
- Özgür C., Civelekoğlu G., Kaplan B. Ş. Ş. (2023). Düşük SUVA Değerlikli Sular için Trihalometan Tahmin Modelinin Geliştirilmesi ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile En İyi Tahmin Modelinin Belirlenmesi. *Firat Üniversitesi*, 35, 25-45.<https://doi.org/10.35234/fumbd.1143444>

- Pan, Y.; Li, H.; Zhang, X.; Li, A. Characterization of natural organic matter in drinking water: Sample preparation and analytical approaches. *Trends Environ. Anal. Chem.* 2016, 12, 23–30.
- Sillanpää, M.; Matilainen, A.; Lahtinen, T. Characterization of NOM. In *Natural Organic Matter in Water*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2015; pp. 17–53. ISBN 9780128015032.
- Sillanpää, M.; Ncibi, M.C.; Matilainen, A.; Vepsäläinen, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere* 2018, 190, 54–71.
- Şahin, İ. F. (2009). Erzincan İli'nin Turizm Potansiyeli ve İldeki Ekoturizm Uygulamaları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 69-88.
- Tetteh, E. K., & Rathilal, S. (2019). Application of organic coagulants in water and wastewater treatment. *Org. Polym*, 1, 51-68.
- Tözüm Akgül, S., Kaplan Bekaroğlu, Ş. Ş., & Yiğit, N. Ö. (2020). Zenginleştirilmiş koagülasyon prosesiyle içme sularından doğal organik madde giderimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1138-1147.
- Ulugergerli, F. G. (2021). İçme Suyu Havzalarının Ekosistem Yaklaşımlı Planlama Paradigmalarının Kapsamı. *Resilience*, 5(2), 119-141.
- Wang, C.; Alpatova, A.; McPhedran, K.N.; Gamal El-Din, M. Coagulation/flocculation process with polyaluminum chloride for the remediation of oil sands process-affected water: Performance and mechanism study. *J. Environ. Manag.* 2015, 160, 254–262.
- Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., & Yang, H. (2018). Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. *Water research*, 143, 608-631.
- Xiao, F.; Ma, J.; Yi, P.; Huang, J.-C.H. Effects of low temperature on coagulation of kaolinite suspensions. *Water Res.* 2008, 42, 2983–2992.
- Yan, M.; Wang, D.; Ni, J.; Qu, J.; Chow, C.W.K.; Liu, H. Mechanism of natural organic matter removal by polyaluminum chloride: Effect of coagulant particle size and hydrolysis kinetics. *Water Res.* 2008, 42, 3361–3370.
- Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water research*, 95, 59-89.
- Yarma, Z. (2017). Balıkesir içme suyu arıtma tesisi performans değerlendirilmesi ve iyileştirme önerileri (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).

Yılmaz, M. L., & Peker, H. S. (2013). Su kaynaklarının Türkiye açısından ekono-politik önemi ekseninde olası bir tehlike: Su savaşları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(1), 57-74.

Yücel, P., İşliyen, K., Tekin, E., Akgün, İ., & Ünsal, M. (2013). Kahramanmaraş'taki Barajlar ve Kullanım Amaçları. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 109-118.

