



**YERALTI MADEN İŞLETMELERİ ATIKSU ARITIMININ
İNCELENMESİ: TKİ TUNÇBİLEK ÖMERLER YERALTI KÖMÜR
OCAĞI ÖRNEĞİ**

Melih ÖZBAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2024

ETİK BEYAN

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

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

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

Melih ÖZBAY

20/12/2024

YERALTI MADEN İŞLETMELERİ ATIKSU ARITIMININ İNCELENMESİ: TKİ
TUNÇBİLEK ÖMERLER YERALTI KÖMÜR OCAĞI ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Melih ÖZBAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2024

ÖZET

Ülkemizde ve dünyada enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan en önemli madenlerden biri kömürdür. Ancak kömürün kullanımı sonucu çevre kirliliği oluşması kaçınılmazdır. Madencilik faaliyetleri sırasında kullanım sularının kirliliği çevre için önemli bir sorun olarak gösterilebilir. Ülkemizde doğal kaynakların kullanılması gerektiği düşünüldüğünde çevreye en az zarar verilerek madencilik faaliyetlerinin yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmanın amacı; Türkiye’de kamu kurumu uhdesinde çalışmasını sürdürmekte olan Kütahya/Tunçbilek Atıksu Arıtma Tesisinin verimlilik ve öneminin araştırılmasıdır. Ayrıca geleneksel atıksu arıtma tesislerinden farkının ortaya konulması amacıyla madencilik sektöründe oluşan atıksuların özellikleri ve arıtım tasarımları da incelenerek, sonuçlar tartışılmıştır. Bu anlamda tesisin giriş ve çıkış suyu analizleri değerlendirilmiş, yaşanabilecek sorunlar ele alınmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde madencilik sektöründe toprak ve kayalarla suların kirlenmesi olası olduğundan bulanıklık, iletkenlik ve askıda katı madde yükü fazla giriş suyu karakterizasyonu olduğu görülmüştür. Buna ek olarak giriş suyunda ölçülen nitrat ve nitrit değerinin düşük olması da biyolojik yükün az olduğuna kanıt olarak gösterilebilir. Bu nedenle tesiste koku problemi bulunmamaktadır. Çıkış suları incelendiğinde ise bahse konu tesisin yüksek verimde giderim sağladığı söylenebilir.

Bilim Kodu : 90301
Anahtar Kelimeler : Askıda katı madde, iletkenlik, bulanıklık, pH, atıksu
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Prof. Dr. Aysel ÇAĞLAN GÜNAL

INVESTIGATION OF WASTEWATER TREATMENT IN UNDERGROUND MINING
OPERATIONS: THE CASE OF TKİ TUNÇBİLEK ÖMERLER UNDERGROUND
COAL MINE
(M. Sc. Thesis)

Melih ÖZBAY

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
December 2024

ABSTRACT

Coal is one of the most important mines that is used to meet energy needs in our country and in the world. However, environmental pollution is inevitable as a result of the use of coal. Pollution of domestic water during mining activities can be shown as a significant problem for the environment. Considering that natural resources should be utilized in our country, it is inevitable to carry out mining activities with minimum damage to the environment. The purpose of this study is to investigate the efficiency and importance of the Kütahya/Tunçbilek Wastewater Treatment Plant, which continues to operate under the auspices of a public institution in Turkey. In addition, the characteristics and treatment designs of the wastewater generated in the mining sector were also examined and the results were discussed in order to reveal the difference from conventional wastewater treatment plants. In this sense, the inlet and outlet water analyses of the facility were evaluated and possible problems were discussed. As a result of the researches carried out, it has been observed that turbidity, conductivity and suspended solids loaded inlet water characterization is high since it is possible to contaminate water with soil and rocks in the mining sector. In addition, the low nitrate and nitrite values measured in the inlet water can be shown as evidence that the biological load is low. Therefore, there is no odor problem in the facility. When the effluents are analyzed, it can be said that the plant in question provides high efficiency removal.

Bilim Kodu : 90301
Anahtar Kelimeler : Suspended solids, conductivity, turbidity, pH, wastewater
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Prof. Dr. Aysel ÇAĞLAN GÜNAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bilgi ve deneyimleriyle bana her konuda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans, ders ve tez aşamalarında desteğini ve anlayışını esirgemeyen, tez çalışmamı sonuçlandırmam da büyük katkısı olan ve çalışmamın son aşamalarında vefat haberini derin üzüntü ile aldığım değerli Başmühendisim Ferda BAYRAK'a teşekkürlerimi sunuyorum ve saygıyla anıyorum.

Tezin hazırlanması aşamasında mensubu olmaktan onur duyduğum Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun imkanlarından faydalanmamı sağlayan saygıdeğer Kurum yöneticilerine, ders ve tez aşamalarında desteğini ve anlayışını esirgemeyen değerli Müdürüm Şebnem ALPAY'a, her zaman görüşlerini ve tecrübesine başvurduğum değerli meslek büyüğüm Onur Fevzi KEVENLİK'e ve tüm değerli çalışma arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Benim için büyük fedakarlık gösteren değerli eşim Mihriban Mutlu ÖZBAY'a ve babası olmaktan gurur duyduğum Alp Aras'a teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Atıksular.....	5
2.1.1. Evsel atıksular	6
2.1.2. Endüstriye atıksular	6
2.1.3. Madencilik sektöründe atıksular ve karakterizasyonu	7
2.2. Geleneksel Atıksu Arıtma Tesisleri.....	8
2.3. Kömür Madenciliği Faaliyetlerinde Atıksu Arıtma Tesislerinin Önemi	10
2.3.1. Kömür madenciliği faaliyetlerinde oluşan atıksu arıtımı ile ilgili bazı terimler	10
2.4. Kömür Madenciliği Sonucu Oluşan Kirli Suyun İşlemsiz Deşarjının Sonuçları .	16
2.5. Madencilikte Atıksu Arıtımındaki Aşamalar	17
2.6. Kömür Madenciliğin Faaliyetlerinin Yüzeysel Sulara Olan Etkisi	17
2.7. Kömür Madenciliği Faaliyetlerinin Yer Altı Suyuna Etkisi	17
2.8. Membran Teknolojileri ile Arıtım	18

	Sayfa
2.9. Kullanılmış Suların Geri Kazanımının Önemi	18
2.9.1. Endüstriyel sektörlerde su tüketimleri ve kullanılmış su geri kazanımının önceliklendirilmesi.....	18
2.10. Atıksu Oluşumunun Mevcut Durumu	19
3. MATERYAL ve METOT	21
3.1. Kömür Sahası Bilgileri.....	21
3.2. TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Arıtma Tesisi	23
3.2.1. Tesis detayları	23
3.3. Yer Altı ve Kuyu Suyu Arıtımı Kapsamında Gerçekleştirilen Çalışmalar	24
3.4. Tesis Bölgesinin Genel Şartları.....	26
3.4.1. İklim	26
3.4.2. Arıtılmış suyun deşarj edilebileceği potansiyel su varlıkları	26
3.4.3. Jeolojik durum	26
3.5. Analiz Metotları	27
3.5.1. Jar testi.....	28
3.6. Tesis Deşarj Standartları	29
3.6.1. Alıcı ortama deşarj	29
3.6.2. İnsani kullanım standartları	29
3.7. Arıtma Aşamaları ve Arıtma Tesisi Tasarımı	31
3.7.1. Fiziksel arıtma aşamaları	32
3.7.2. Fizikokimyasal arıtma aşamaları	34
3.7.3. İleri arıtma binası	36
3.7.4. Çamur yoğunlaştırma havuzu	38
3.7.5. Kimyasal madde hazırlama, çamur susuzlaştırma ve geçici çamur depolama binası.....	39

	Sayfa
4. ÇIKTILAR.....	41
4.1. Analizler.....	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Toplam çözünmüş madde değerlerine göre suların sınıflandırılması.....	8
Çizelge 3.1. Yer altı suyu ölçüm sonuçları	25
Çizelge 3.2. İleriye yönelik yer altı suyu miktarı tahminleri	25
Çizelge 3.3. Kullanım yerlerine göre su ihtiyacı	25
Çizelge 3.4. Parametreler ve analizinde kullanılan metotlar	27
Çizelge 3.5. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Tablo 7.2: Sektör: Maden sanayii (kömür üretimi ve nakli) deşarj standartları	29
Çizelge 3.6. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliği	29
Çizelge 4.1. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen iletkenlik değeri verim oranları	43
Çizelge 4.2. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen sülfat değeri verim oranları	46
Çizelge 4.3. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen amonyum değeri verim oranları.....	49
Çizelge 4.4. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen bor değeri verim oranları.....	52
Çizelge 4.5. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen demir değeri verim oranları.....	55
Çizelge 4.6. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrat değeri verim oranları.....	58
Çizelge 4.7. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrit değeri verim oranları.....	61
Çizelge 4.8. Atıksu arıtma tesisindeki AKM-pH-Bulanıklık analizleri.....	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dünya kömür tüketimi, 2022-2024(tahmin)	1
Şekil 1.2. Küresel su çekiminin oransal dağılımı	2
Şekil 2.1. Ülkelerin sektörel su kullanımlarının	5
Şekil 2.2. Su kalitesinin farklı yeniden kullanım alternatifleri için değişimi	6
Şekil 2.3. Geleneksel atıksu arıtma tesisi akım şeması	9
Şekil 2.4. Türkiye’de alıcı ortama göre deşarj edilen atıksuyun dağılımı.....	19
Şekil 2.5. Türkiye’de Belediyeler tarafından arıtılan atıksuların tesis tipine göre dağılımı	20
Şekil 3.1. TKİ uhdesinde kömür üretimi yapılan iller	22
Şekil 3.2. Arıtma tesisi akım şeması	31
Şekil 4.1. Kullanım yerine göre farklı şekilde arıtılan atıksu	41
Şekil 4.2. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen iletkenlik değerleri	42
Şekil 4.3. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen iletkenlik değerleri.....	43
Şekil 4.4. Atıksu arıtma tesisi iletkenlik parametresinin verim karşılaştırması	44
Şekil 4.5. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen sülfat değeri	45
Şekil 4.6. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen sülfat değeri.....	46
Şekil 4.7. Atıksu arıtma tesisi sülfat parametresinin verim karşılaştırması	47
Şekil 4.8. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen amonyum değeri	48
Şekil 4.9. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen amonyum değeri	49
Şekil 4.10. Atıksu arıtma tesisi amonyum parametresinin verim karşılaştırması.....	50
Şekil 4.11. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen bor değeri.....	51
Şekil 4.12. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen bor değeri	52
Şekil 4.13. Atıksu arıtma tesisi ölçülen bor parametresinin verim karşılaştırması.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen demir değeri	54
Şekil 4.15. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen demir değeri	55
Şekil 4.16. Atıksu arıtma tesisi demir parametresinin verim karşılaştırması	56
Şekil 4.17. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen nitrat değeri.....	57
Şekil 4.18. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen nitrat değeri	58
Şekil 4.19. Atıksu arıtma tesisi nitrat parametresinin verim karşılaştırması	59
Şekil 4.20. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen nitrit değeri	60
Şekil 4.21. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen nitrit değeri.....	61
Şekil 4.22. Atıksu arıtma tesisi nitrit parametresinin verim karşılaştırması.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Asit Maden Drenajı örnekleri	12
Resim 3.1. Kömür sahası görseli	21
Resim 3.2. Yer altı ocağı girişi.....	22
Resim 3.3. Tesis bölgesini gösterir görsel	23
Resim 3.4. GLİ arıtma tesisi görseli.....	24
Resim 3.5. Tesisin kuşbakışı fotoğrafı	24
Resim 3.6. Kütahya ilinin Türkiye haritasındaki konumu	26
Resim 3.7. Bölgeden kayaç yapısı gösterir bir fotoğraf.....	27
Resim 3.8. Kullanılan ekipmanlar.....	28
Resim 3.9. Jar testi görseli.....	28
Resim 3.10. Lamella ünitesi fotoğrafları.....	33
Resim 3.11. Dengeleme havuzu fotoğrafı	33
Resim 3.12. Hızlı ve yavaş karıştırma üniteleri fotoğrafı	34
Resim 3.13. Çöktürme havuzu fotoğrafları	35
Resim 3.14. Kum filtresi fotoğrafı	36
Resim 3.15. Ters ozmos fotoğrafları.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Mt

μ S

cm

mg

L

m²

m³

NTU

°C

g

cm³

μ

μ g

Açıklamalar

Milyonton

Mikrosiemens

Santimetre

Miligram

Litre

Metrekare

Metreküp

Nefelometrik bulanıklık birimi

Santigrat

Gram

Santimetreküp

Mikro

Mikrogram

Kısaltmalar

AKM

AMD

BOİ

GLİ

KOI

TKİ

Açıklamalar

Askıda katı madde

Asit maden drenajı

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

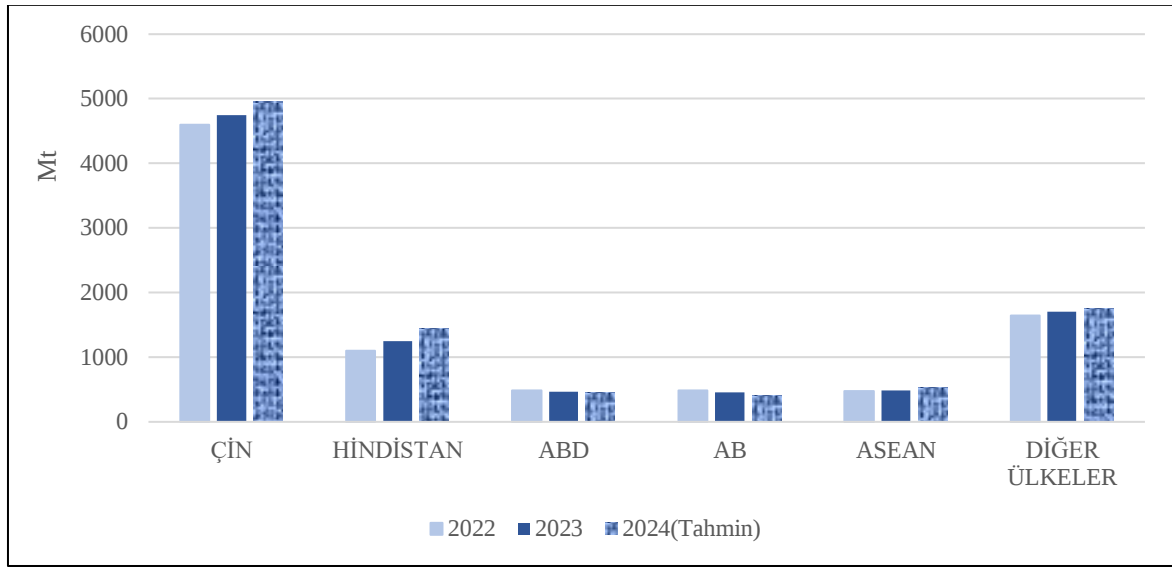
Garp Linyitleri İşletme Müdürlüğü

Kimyasal oksijen ihtiyacı

Türkiye Kömür İşletmeleri

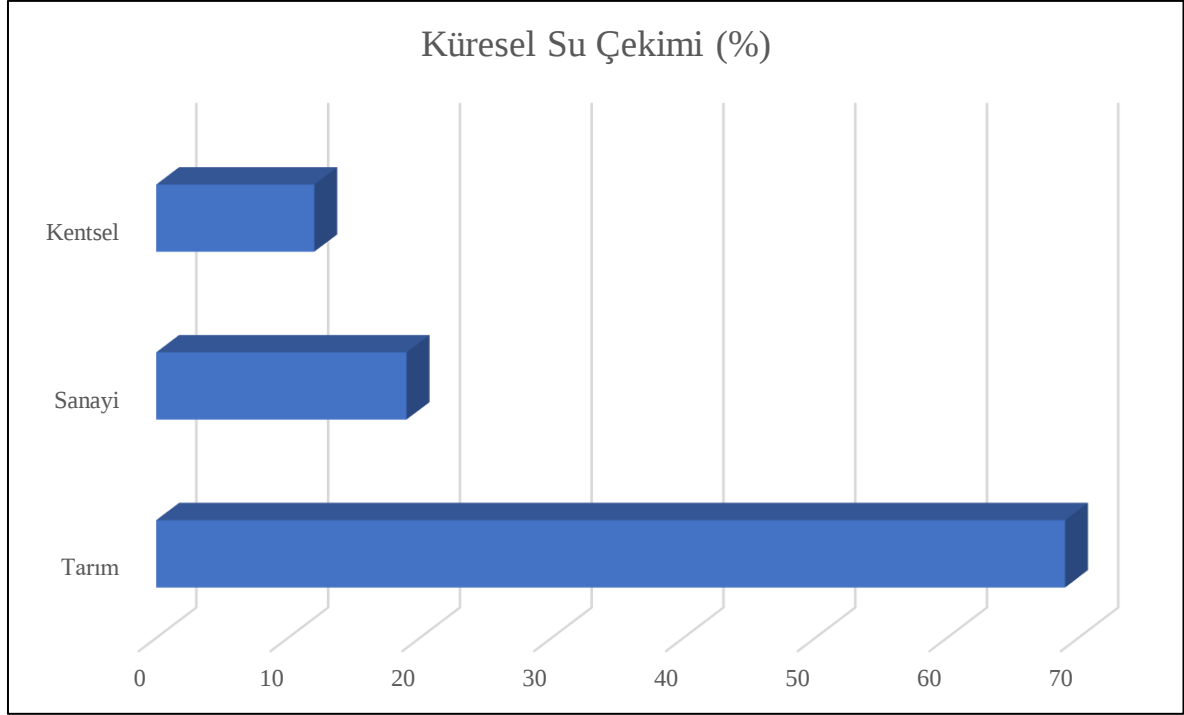
1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada enerji ihtiyacının karşılanması için en önemli madenlerden biri kömürdür. Buna rağmen günümüzde kömür ve diğer fosil yakıtların çevre kirliliğine katkısı fark edildiği için, birçok alanda kullanım seviyesinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu azalmaya rağmen kömür tüketiminin küresel olarak 2040 yılına kadar %15 artacağı düşünülmektedir [1].



Şekil 1.1. Dünya kömür tüketimi, 2022-2024 (tahmin) [2]

Dünya üzerinde yaşayan insan sayısı ve faaliyetleri son yıllarda kontrol edilemez şekilde değişime uğramıştır. İnsanların sayısında ki artışla birlikte çevreye olan zarar önüne geçilemeyecek kalıcı etkiler oluşturma düzeyine gelmiştir. Kirlilik yükü fazla olan sanayi ve endüstriyel atıkların yanı sıra tüm insanlığın temel ihtiyacı olan beslenme ihtiyacı için yapılan tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan ilaçlar ve yüksek miktarda gerekli olan su temini çevreye büyük etkiler bırakmaktadır. Birleşmiş Milletlerin (BM) 2021 yılında yayınladığı Su Raporuna göre dünya genelinde tarımda kullanılan su miktarı toplam su kullanımının %69'unu oluşturmaktadır. Ancak bu kullanım içerisinde hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılan su da yer almaktadır. Bu oran birçok gelişmekte olan ülkelerde %95'e kadar çıkabilmektedir [3].



Şekil 1.2. Küresel su çekiminin oransal dağılımı [3]

Bu noktada zaten kısıtlı olan temiz su kapasitemizin fazla kullanımı dünya üzerinde su kıtlığına sebep olmaktadır. Nüfus artışının ve israfın önüne geçilmesiyle birlikte kullanılan suyun yeniden değerlendirilmesi de önem arz etmektedir. Bu aşamada 11. Ulusal Kalkınma Planı (2019-2023) ile su kullanım verimliliğindeki iyileştirmeleri artırmayı, kurumsal düzenlemeleri ve sulama altyapısına yapılan yatırımı artırmayı amaçlanmaktadır. Bu minvalde artırılmış atıksuların başta tarım olmak üzere yeniden kullanılması için havza özelinde planlama yapılması ve su kaynakları üstündeki baskının azaltılması politika ve tedbir olarak belirlenmiştir. Ulusal Su Planı (2019 – 2023) ile ise yeni su kaynakları bulunmasından önce mevcut su kaynaklarının verimli, rasyonel ve sürdürülebilir kullanımını hedeflemektedir [3].

İleride yaşanabilecek su kıtlığının önüne geçilmesi için yapılacak arıtım proseslerinde atıksuyun çevreye zarar vermeyecek seviyeye getirilmesi veya insan kullanımına yeniden sunulması hedeflenmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden genel amaç kirliliği farklı işlemlerden (fiziksel, kimyasal, biyolojik) geçirerek alıcı ortama bırakılacak etkinin azaltılmasıdır. Ayrıca atıksu arıtma tesisinin işletilmesi sürecinde yaşanacak sorunların önüne geçmek adına yıllara sari planlama yapılması ve gelişmiş ülkelerde olduğu gibi yağmur suyu ile kanalizasyon suyunun birbirine karışmasının önüne geçilmesi de yararlı

olacaktır. Bu sayede atıksu arıtma tesislerinin verimliliği arttırılacak, sürdürülebilir şekilde su arıtımı sağlanacak ve kentsel kirliliğin önüne geçilmesi sağlanacaktır.

Dünyada ve Türkiye’de atıksu arıtma tesisleri genel itibariyle yerel yönetimler tarafından işletilmektedir. Bu tesisler biyolojik yük açısından yüksek su kirliliği ihtiva etmektedir. Ancak madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan atıksuların karakterizasyonu ise daha farklı parametreler içermektedir. Bu itibarla suyun kirlilik yüküne uygun şekilde tasarım yapılması gerekmektedir.

Ülkemizin doğal kaynaklarının kullanılması gerektiği de düşünüldüğünde çevreye en az zararı vererek madencilik faaliyetlerinin yapılması kaçınılmazdır. Bu kapsamda madencilik faaliyetleri sonucunda oluşacak atıksuyun arıtılması ve alıcı ortama deşarjı için atıksu arıtma tesisleri en önemli altyapı unsurlarının başında gelmektedir.

Buna göre çalışmada amaç olarak genel tesis çalışma değerlendirmesinin yapılması ve tesisi etkileyen durumlar için çözüm önerileri sunmak hedeflenmiştir. Ayrıca tasarım parametreleri ile güncel tesis parametreleri karşılaştırılarak, sonucun tartışılması da amaçlanmaktadır. Bu kapsamda geleneksel atıksu arıtma tesislerinden farklı olarak kömür madenciliği işletmelerinde yapılmakta olan atıksu arıtma tesislerine örnek teşkil edecek bir çalışma yapılmak istenmiştir.

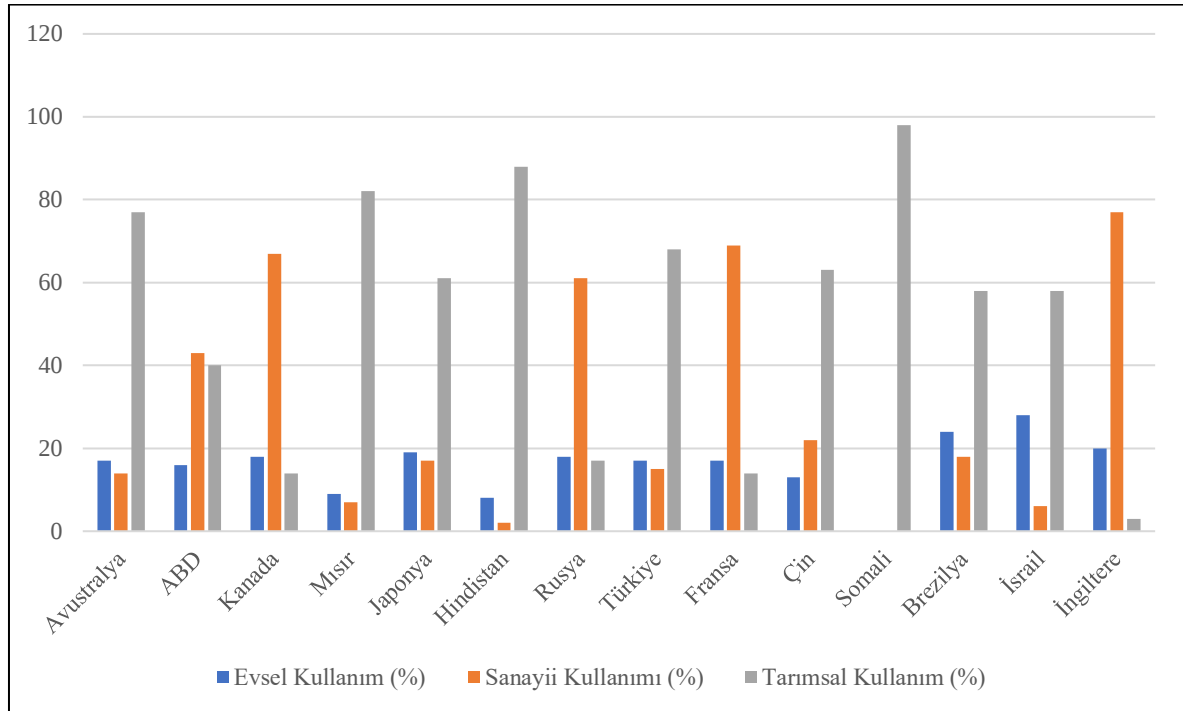
Bu çalışma, atıksuyun çevreye olan etkisinin en aza indirilmesini, arıtma prosesi için model bir yaklaşım belirlenmesini, arıtılmamış atıksuların çevrede yarattığı sorunları değerlendirmeyi ve işletmeyi iyileştirmeyi, atıksu arıtma tesisi yönetimini, doğru tip ve seçimi yapmayı amaçlamıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Genel bilgiler kısmında öncelikle atıksular hakkında bilgiler verilmiştir. Ardından kömür madenciliğinde atıksu arıtma tesisleri ile ilgili mevcut durumdan bahsedilmiştir. Daha sonra madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıksulardan ve oluşturabileceği çevresel etkilerden bahsedilmiştir.

2.1. Atıksular

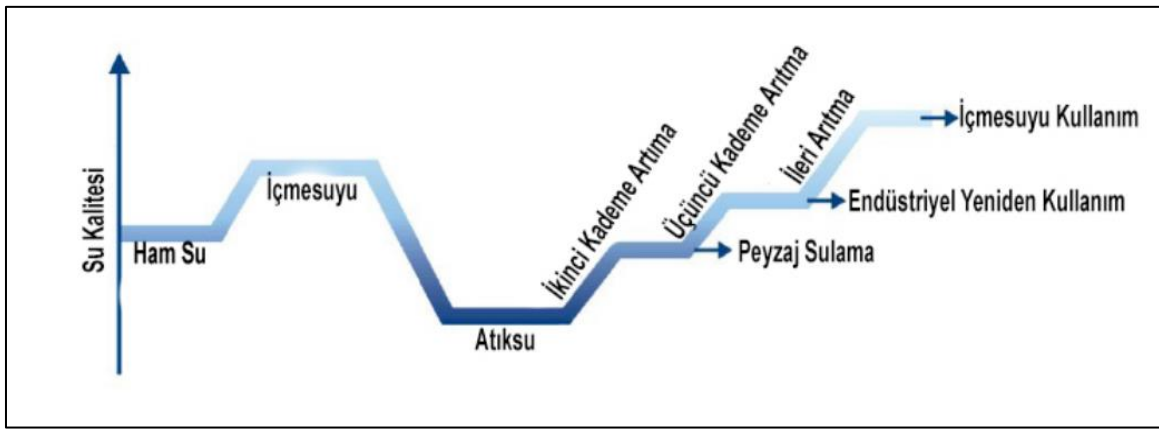
Çeşitli insani faaliyetler veya doğal faaliyetler sonucu kirlenmiş sulara atıksu denir. Doğal olarak oluşan atıksulara kayaçların aşınması, volkanik patlamalar gibi olaylar sebep olabilmektedir. İnsan faaliyeti sonucunda ise çevrenin kaldırabileceğinden fazla yük olduğu için tehlike söz konusu olur. Evlerde kullanılan materyaller, endüstriyel kullanım sonucu oluşan atıksular ve tarımda kullanılan katkı maddeleri su kirlilik nedenleri olarak sayılabilir [4].



Şekil 2.1. Ülkelerin sektörel su kullanımlarının dağılımı [5]

2.1.1. Evsel atıksular

Evsel atıksular dendiğinde akla ilk olarak kentsel yaşamda rutin insani faaliyetler sonucu oluşan atıksu gelmektedir. Bu atıksular genellikle insanların tuvalet, mutfak, banyo ve buna benzer ihtiyaçları sonucu oluşmakta olup kullanılan kimyevi materyallerin de eklenmesiyle farklı içerikte atıksular ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bölgenin mevsimsel koşulları, yerleşim yerlerinde yaşayan insan sayısı ve yaşam kalitesi ile kültürel alışkanlıklar evsel atıksuya ait kirlilik parametrelerini etkilemektedir [6].



Şekil 2.2. Su kalitesinin farklı yeniden kullanım alternatifleri için değişimi [5]

2.1.2. Endüstriyel atıksular

Son yıllarda dünya ile birlikte ülkemizde de sanayileşme hızla artış göstermiştir. Sanayileşmenin artması ile birlikte sanayi tesislerinin denetlenmesi de zorlaşmıştır. Ülkemizde sanayi tesislerinin atıklarını en yakın sulak alana bırakması büyük çevre felaketlerine sebep olmaktadır. Özellikle aşırı yük taşıyamayan küçük dereler hemen etki gösterdiği için kamuoyunda büyük yankı oluşturmaktadır. Son yıllarda organize sanayi bölgelerinin kendi ürettiği atıksuyu arıtmasıyla bu sorun bir nebze çözülsede hala bağımsız olarak maddi kaygılarla çevre kirliliğine yol açan sanayi kuruluşları bulunmaktadır. Ayrıca endüstriyel atıksular çok farklı karakteristiğe sahip olup, içeriğinde katı maddeler, organik maddeler, amonyak, ağır metaller gibi karmaşık kirleticiler barındırabilmektedir [7].

2.1.3. Madencilik sektöründe atıksular ve karakterizasyonu

Endüstriyel atıksu oluşumunda en önemli paylardan biri madencilik sektöründe oluşan atıksulardan oluşturmaktadır. Tüm sektörlerde olduğu gibi madencilik sektöründe de su çok önemli bir kaynak olarak birçok farklı proseste görülmektedir. Sahanın üretime uygunluğu belirlenirken yapılan sondaj işleminden, belirlenen sahanın yer altı ya da açık ocak üretimine geçmesine kadar her aşamada su çok önemli yer tutmaktadır. Ayrıca yer altı madenciliğinde biriken yer altı sularının kirliliği ile açık ocak madenciliğinde oluşan istenmeyen yapay göller de madencilik sektöründe oluşan atıksular için örnek teşkil edebilir [9].

Tez konusu atıksu arıtma tesisinde yapılan karakterizasyon çalışmaları

Tez konusu atıksu arıtma tesisinde kömür üretimi sırasında oluşan yer altı suyunun karakterizasyonu neticesinde, neredeyse doğala yakın özellikler taşıyan, çözünmüş madde miktarının fazla olduğu, AKM içeriği yüksek olan sular olduğu saptanmıştır.

Buna göre bahse konu bölgedeki yer altından çıkan ham suların su kalitesi değerlendirildiğinde:

- pH değeri açısından nötre yakın sular olduğu, bu nedenle nötralizasyona ihtiyaç olmadığı,
- İçerdiği partiküller madde miktarının fazla olmasından dolayı AKM ve bulanık değerlerinin yüksek olduğu ve koagülayon ve flokülasyon prosesi ile ön arıtma yapılarak gideriminin gerektiği,
- Kalsiyum, magnezyum seviyelerinin yüksek olmasından dolayı toplam sertliğinin yüksek olduğu ve suyun yumuşatılması gerektiği, ileri seviye arıtımla birlikte ön yumuşatma uygulanabileceği,
- Sülfat seviyesinin yüksek olduğu, bu nedenle ileri seviye bir arıtıma ihtiyaç duyulduğu, sonuçları elde edilmiştir.

Kuyu suları su kalitesi değerlendirildiğinde;

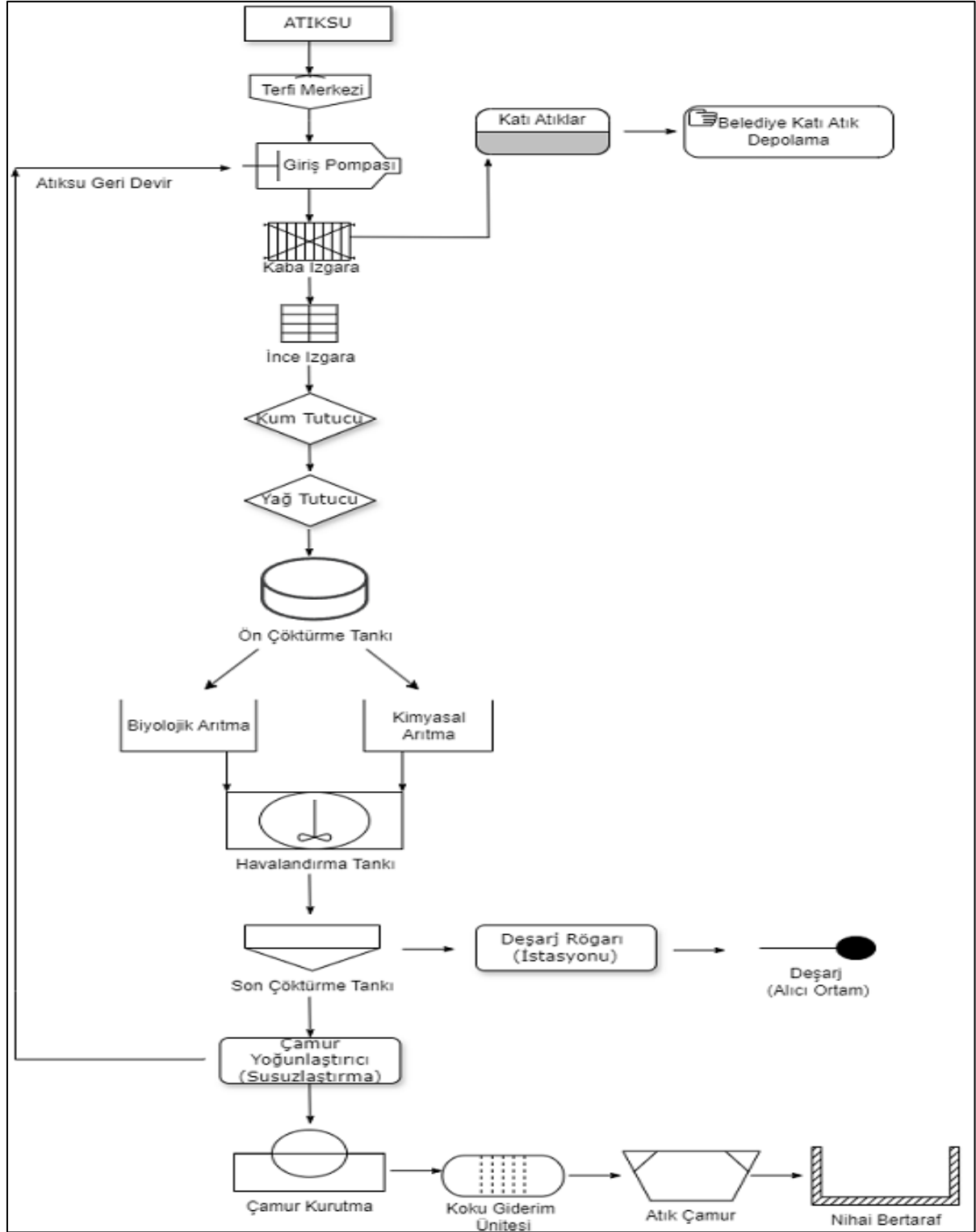
- pH değeri bakımından nötre yakın sular olduğu,
- AKM ve bulanıklık değerinin çok düşük olduğu,
- Ağır metal bakımından limit değerinin üzerinde olduğu, sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 2.1. Toplam çözünmüş madde değerlerine göre suların sınıflandırılması [10]

Su Kaynağı	Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)
İçme suyu	<1000
Hafif Tuzlu Su	1000 – 5000
Orta Derece Tuzlu Su	5000 – 15000
Yüksek Derece Tuzlu Su	15000 – 35000
Ortalama Deniz Suyu	>35000

2.2. Geleneksel Atıksu Arıtma Tesisleri

Geleneksel atıksu arıtma tesislerinde ilk aşamada gelen atıksuların debisi sürekli olarak takip edilir. Debisi takip edilen atıksular katı atıkların uzaklaştırılacağı aşama olan ön arıtma işlemine gelir ve ızgara biçimindeki oluklardan geçirilir. Atıksu kaba atıklardan arındırılmış olur. İkinci aşama olarak kum tutuculara giden su filtrelenerek kumlardan ve küçük materyallerden arıtılmış olur. Daha sonra suyun içindeki çökebilir maddelerin alınması için su ön çökeltim havuzlarında kendi halinde bekletilir. Bekletilen su pompalar vasıtasıyla biyolojik veya kimyasal arıtmaya doğru aktarılır. Atıksu bir sonraki aşamada ise son çökeltim havuzlarına gelir. Burada kendi cazibesiyle çöken materyaller alınarak çamur formunda sonraki aşamaya aktarılır. Arıtılan su ise deşarj edilecek alıcı ortama gönderilir [12].



Şekil 2.3. Geleneksel atıksu arıtma tesisi akım şeması [12]

2.3. Kömür Madenciliği Faaliyetlerinde Atıksu Arıtma Tesislerinin Önemi

Tüm diğer sektörlerde olduğu gibi madencilik sektöründe de oluşan atıksuların uygun arıtma prosesleriyle arıtılması gerekmektedir. Kömür madenciliği atıksularının yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde ve organik, inorganik bileşikleri içermesi nedeniyle arıtmaksızın deşarj edilmesi alıcı ortamlar için önemli çevresel riskler doğurmaktadır.

2.3.1. Kömür madenciliği faaliyetlerinde oluşan atıksu arıtımı ile ilgili bazı terimler

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Atıksu da ki mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijen miktarını ifade eden parametreye Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı denir. Deney atıksu da ki 5 günlük süre için oksijen ihtiyacını ifade eder. Atıksu da ki 5 günlük oksijen ihtiyacının değeri kirlilik düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Ayrıca atıksuyun sıcaklığı da tepkimeyi etkilediği için standart sıcaklık değeri 20 °C olarak belirlenmiştir [14].

Ancak kömür madenciliği özelinde yer altında kullanım sonucunda oluşan atıksuların deşarj kriterlerinde de BOİ₅ değeri aranmamaktadır. Bu sebeple evsel atıksuların aksine madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıksuyun BOİ₅ değeri nispeten az veya kabul edilebilir seviyelerde olacağı öngörülmektedir.

Kimyasal oksijen ihtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) sudaki tepkimeye girebilen maddelerin kimyasal tekniklerle oksitlenmeleri için gerekli olan oksijen miktarını ifade eder. Özellikle endüstriyel atıksuların kirlilik miktarını belirlemede kullanılan en önemli parametredir. BOİ' nin en az 5 gün sürmesine göre 3 saatlik analiz süresiyle daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır [15].

Atıksuya ait KOİ analizi sonucu, BOİ' den farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan diğer materyalleri de içereceğinden, KOİ değeri her zaman BOİ değerinden yüksek çıkmaktadır. KOİ nehir ve endüstriyel atıksuların analiz edildiği çalışmalarda kritik ve hızlı sonuç veren bir parametredir [16].

Toplam oksijen ihtiyacı (TOİ)

KOİ değerinden yüksek olarak ölçümlenen TOİ değeri yüksek sıcaklık altında katalizör madde kullanılarak belirlenir. KOİ analizinden farklı olarak oksitlenemeyen maddelerin amonyum ile oksitlenmesi sonucunda belirlenir. TOİ değerleri, KOİ değerlerinden biraz daha fazla çıkmaktadır [14].

Amonyum

Yer altı sularında kirliliğe sebep olan maddelerin başında sularda çözünmüş halde bulunan azot bileşikleri gelmektedir. Çözünmüş azotun yer altında rastlanan formları arasında amonyum (NH_4) parametresi bulunabilmektedir [17]. Azotun formlarından birisi olan Amonyum iyonu (NH_4) su içinde bulunan bir katyondur. Doğal yollarla organik malzemelerin ve bitkilerin çürümesi ile oluşabilir [18].

Amonyak

Amonyak yeraltı, yüzey ve atıksularda farklı konsantrasyonlarda bulunabilir. Analiz sonucunda tespit edilen amonyak kirliliği suda kirliliğin devamlı olduğuna işaret edebilir. Suda amonyak olması, suya kanalizasyon ya da hayvansal atık karışması nedeniyle oluşabilir. Ayrıca gübre ve organik madde çürümesi de suda amonyak kirliliğine sebep olabilir. Kirlenmiş suda bulunan amonyak zamanla yerini nitrit ve nitrata bırakmaya başlar [19].

Asit Maden Drenajı (AMD)

Asit maden drenajı, maden sahasında kayaç yapısıyla birebir bağlantılıdır. Maden sahasının kayaç yapısının zamanla ayrışmasıyla suya karışan pirit ve sülfür gibi materyaller sonucunda suyun asidik bir duruma gelmesi söz konusu olur. Yapılan madencilik faaliyetleri sonucunda bozulan toprak yapısı daha büyük alanlarda pirit ve sülfürün yer altı suyuna sızmasına neden olabilir. Ayrıca taşınan pirit ve sülfür gibi maddeler dekapaj alanlarının da AMD oluşturma potansiyelini arttırabilir. AMD potansiyelinin artmasında nem, oksijen konsantrasyonu, bakteri varlığı ve minerallerin özelliği de etkilidir [20].

Asit maden drenajının oluşmasında kimyasal reaksiyonlar etkili olmakla birlikte bazı mikrobiyel faaliyetler de varlığını arttırmaktadır. Aerobik ortamda ve bazı bakteriler nedeniyle piritten sülfürik asit ve demir oksit oluşumu gözlenir. Asit maden drenajı demir içeriği sebebiyle turuncu-kırmızı bir renkte görülür.



Resim 2.1. Asit maden drenajı örnekleri [21]

AMD oluşumunu engellemek çok mümkün değildir. Çünkü madencilik sektöründe her zaman toprak ve kayaların parçalanması zorunlu olduğundan bu faaliyetler sonucunda piritin oksijenle reaksiyona girmesi kaçınılmazdır. Ancak günümüzde kullanılan yeni teknolojiler sayesinde asidik su oluşumunu en aza indirmek mümkündür. Örneğin, yüksek pirit içeren kayalar ayrıştırılarak oksidasyonun engellenebilir. Ayrıca madencilik yapılacak alanın asit oluşturulacak minerallerden uzak tutulmasıyla AMD oluşumu azaltılabilir.

AMD oluşan atıksuyun aktif veya pasif yöntemlerle arıtılması;

Aktif arıtma yönteminde asit maden drenajına nötralizasyon amacıyla kireç dozlanmaktadır. Daha sonra bu atıksu çökeltme tanklarında bekletilerek asit oluşturan maddelerin çökmesi sağlanır.

Pasif arıtma yönteminde daha çok doğal arıtma teknikleri kullanılırken, kimyasal ve biyolojik prosesleri kullanımı esasına dayanmaktadır. Örnek olarak doğal bataklıklar ve kireçtaşı çukurları gösterilebilir [22].

Bulanıklık

Bulanıklık, su ve atıksu içerisinde ışığın tutulmasına neden olan önemli bir unsurdur. Genellikle bulanıklığa çözünmüş ve askıda kalan maddeler neden olur. Askıda kalan maddeler aynı elektrik yüküne sahip oldukları için birbirini ittikleri için birleşip gravite etkisiyle çökmezler. Bu sebeple askıda maddelerin çökebilmesi için suya ters yükte koagülant maddeler eklenerek kendi ağırlıklarıyla çökebilir hale getirilir. Bulanıklığı yüksek suların alıcı ortama deşarj edilmesi, bu ortamların ışığı geçirme kapasitesini düşürerek suyun alt kısımlarının olumsuz etkilenmesine neden olur. Çoğunlukla atıksularda ki bulanıklığın giderimi için fiziko-kimyasal yöntemlere başvurulmaktadır [23].

Askıda katılar

AKM, atıksuyun filtreden süzülmesiyle kurutularak elde edilen kalıntı maddeleri ifade eder. AKM, atıksuların fiziksel görüntüsünü ve ikincil kullanımı sınırlamaktadır. Ayrıca atıksuyun ışık geçirgenliğini azaltarak ötrofikasyona katkı sağlar. Bu özellikleri ile AKM atıksularda önemli bir parametredir [24].

Ağır Metaller

Ağır metaller, yoğunluğu 5 g/cm^3 'den fazla olan, atom numarası 20'den büyük olan ve kirlilik yaratan metaller olarak açıklanabilir. Bu tanıma kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni), cıva (Hg) ve çinko (Zn) gibi metaller örnek gösterilebilir [26]. Atıksular da değişik formlarda bulunan ağır metaller suda yüksek toksik etki bırakmaktadır. Atıksu da ağır metal bulunması arıtma maliyetini arttırmanın yanı sıra arıtım sonucunda oluşan çamurun değerlendirilmesini de zorlaştırmaktadır. Ağır metal ihtiva eden sular, bitkiler tarafından emilmesi sebebiyle sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir [26].

Azot

Azot yeryüzünde atmosfer ve canlılarda bulunmaktadır. Azot, gaz olarak atmosferin %78'ini oluşturmakla birlikte kimyasal olarak tepkimeye girmemektedir. Azot su ortamında ise

amonyak maddesinin bakteriler tarafından azota kadar indirgemesiyle ve atmosferik olaylar sonucu oluşmaktadır. Ek olarak insan faaliyetleri sonucunda atmosfere verilen NOX'ler (azotoksit, azotmonoksit) yağmur yoluyla suya geçebilmektedir [27].

Nitrat ve nitrit

Endüstriyel üretim, insan atığı ve tarımsal faaliyetler nedeniyle suları kirleten azot formları nitrat (NO_3), nitrit (NO_2) ve amonyumdur (NH_4). Evsel nitelikli atıksularda amonyaklı bileşiklerin nitrifikasyonu sebebiyle yüksek oranlarda nitrit bulunmaz [28].

Yağ ve gres

Evsel ve endüstriyel kaynaklı suya karışabilen yağ ve gresler çevre için tehlikeli olmaktadır. Suda bulunan yağlar atıksu arıtma tesisi parçalarında ve atıksu ulaştırma borularında tıkanıklığa yol açabilmektedir. Ayrıca alıcı ortamdaki su kaynaklarının üzerinde film oluşturarak oksijensiz kalmasına ve ışık geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır [30].

Bor

Bor, yer altı sularında doğal olarak bulunurken yüzey sularında endüstriyel kaynaklı kirletici olarak saptanabilir. Ülkemizde bor rezervlerinin fazla olması sebebiyle yer altı sularında çok yüksek oranda rastlanmaktadır [31].

Bor sulama sularını en fazla kirleten toksik elementlerin başında gelmektedir. Çoğu endüstride kullanım alanı bulan bor bileşiklerinin endüstriyel gelişmeye bağlı olarak yüzeysel sularda görülen konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Deterjan ve temizlik ürünleri bakımından zengin evsel atıksular ve tarımda kullanılan kimyasallar yüzeysel sularda bulunan bor kirliliğinin sebebi olarak gösterilebilir [32].

Sıcaklık

Sıcaklık atıksu da bulunan mikroorganizma faaliyetlerinin düzenli bir şekilde sürdürülmesi için önemli bir etkidir. Evsel atıksu arıtma tesisleri için öngörülen sıcaklık değeri 10-30 °C arasında olmalıdır. Optimum sıcaklık ise 13-14 °C olarak değerlendirilmektedir.

Mikroorganizma faaliyetleri ve üreme potansiyeli sıcaklık ile doğru orantılı olarak artmaktadır [33].

pH

Latince “potentia hydrogenii” ifadesinin baş harflerinden alınmış olan pH kavramı, çözeltideki hidrojen iyonu miktarını gösterir. Matematiksel olarak; $pH = -\log [H^+]$ şeklinde tanımlanır. Nötr suda pH 7 olup, eşit miktarda hidrojen ve hidroksit iyonu barındırır. Minerallerin ve kimyasal maddelerin çözülmesi nötr sulardaki iyon dengesini değiştirir. Genel olarak hidrojen iyonları miktarındaki artış suyu daha asidik yapar yani pH düşer. Hidroksit iyon miktarındaki artış ise suyu daha bazik yapmaktadır.

pH suyun kimyasal bileşimini yansıtan en önemli göstergedir. Akarsularda pH'nın bulunuşu ve yoğunluğu suyun akışına, biyolojik olaylara ve kimyasal yapısına bağlıdır. Aynı zamanda suyun verimliliğini göstermesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Asit karakterdeki (pH 5 civarı) suların verimliliğinin düşük, alkali karakterdeki suların ise daha verimli olduğu düşünülmektedir. Akarsularda pH'nın, çözünmüş karbondioksit ile ters, bikarbonat ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Doğal mineral içeren kayalar bölgeden akan suyun kimyasal içeriğini önemli ölçüde etkileyerek pH'nın değişmesine sebep olur. Genel anlamda doğal suların pH'sı 4 ile 9 arasında olmaktadır. Yer altı sularında pH'7'den düşük ve asidik özellikte olmaktadır. Bu dengeyi sıcaklık ve basınç farklılıklarının etkilediği bilinmektedir. Örneğin kireçli kayaların bulunduğu bölgelerde akan suların, magnezyum ve karbonat elementlerinin yoğunluğundan kaynaklı pH değerlerinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında silisyum yönünden zengin volkanik bölgelerdeki suların ise pH'sı genellikle nötr veya daha düşük olduğu gözlemlenir [34].

Sülfat

Sülfat, endüstriyel atıksularda ki kirlетici parametreler arasında üst sıralarda yer almaktadır. Sülfatın halk sağlığı üzerine negatif etkileri olduğu kadar endüstriyel atıksularda da negatif etkilere neden olur. Endüstriyel atıksuların aktarıldığı beton borularda, anaerobik bakteriler nedeni ile sülfat hidrojen sülfüre indirgenir ve oluşan hidrojen sülfür okside olarak rutubetle

beraber sülfürik asit meydana gelir. Bu nedenle beton kanallarda korozyonuna neden olur. Ayrıca hidrojen sülfür varlığı kötü kokuya neden olur [35].

İletkenlik

İletkenlik su karışımının elektriği iletme kabiliyetinin sayısal olarak gösterilmesidir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların varlığına, hareketliliğine, yoğunluğuna ve ölçüm sıcaklığı ile bağlantılıdır. Bu doğrultuda su saflaştıkça içerdiği maddeler azalacağından, iletkenlik değeri de azalacaktır. İletkenlik değerinin 0,55-0,90 ile çarpımı suyun tuzluluğu hakkında bir fikir verebilir. İletkenlik değerinin birimi ise Siemens/cm'dir [36].

Koku

Koku; koku alma duyusuyla hissedilen havada çözünmüş halde bulunan kimyasal maddeleri ifade eder. Kokuya sebebiyet veren emisyonlar sonucunda büyük alanlarda oluşan çevresel etkileri sebebiyle oldukça önemli bir sorundur. Biyolojik yükü fazla olan atıksu arıtma tesislerinde koku sorunu oluşmaktadır. Koku sorununu gidermek çok zor olsa da uygun tasarlanmış tesislerle bu sorunu azaltmak mümkündür. Madencilik sektöründe ise evsel atıksular için tasarlanan tesislerin aksine daha az biyolojik yük olması sebebiyle koku sorunu daha az oluşmaktadır.

2.4. Kömür Madenciliği Sonucu Oluşan Kirli Suyun İşlemsiz Deşarjının Sonuçları

Madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıksular sıklıkla arıtılmadan doğaya deşarj edilmektedir. Atıksuyun arıtmadan alıcı ortama bırakılması birçok çevre sorunlarına, toprak kaymalarına, temiz su kaynaklarının kirlenmesine yol açmakta ve çevre sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca bu deşarj politikasıyla yer altı sularının da kirlenme riski bulunmaktadır. Kömür madenciliğinde oluşan atıksuların arıtımında en çok kullanılan koagülasyon/flokülasyon yöntemi olmakla beraber membran prosesleri (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos) de arıtma uygulamaları arasında yer almaktadır [37].

2.5. Madencilikte Atıksu Arıtımındaki Aşamalar

Atıksuyun içerdiği kirlilik yüküne göre bu kirliliğin yok edilmesi amacıyla çeşitli arıtma aşamaları kullanılmaktadır. Bu aşamalardan bazıları; fiziksel arıtma sistemleri atıksu içindeki süspanse halde ya da çöken katı maddelerin tutulmasını, biyolojik veya kimyasal arıtma sistemleri organik maddelerin ve metallerin giderimini, membran sistemleri ise önceki aşamalarda giderilemeyen materyallerin atıksudan arıtılmasında kullanılan sistemleri ifade eder. Endüstriyel atıksuların temizlenmesi için birçok arıtma sistemi bulunmaktadır. Arıtma tesisi tasarımı yapılırken alıcı ortamın deşarj kriterlerini sağlaması, arıtma aşamalarının verimli çalışması, atıksu arıtma tesisi ilk yatırımı, işletme ve bakım maliyetleri, arıtma sonrasında sudan arıtılmış maddeleri içeren çamurun miktarı ve bu çamurun özellikleri düşünülerek projelendirme yapılmalıdır [39]. Çizelge 2.3’de atıksu da bulunan kirliliğine göre seçilebilecek aşamalar gösterilmiştir.

2.6. Kömür Madenciliğin Faaliyetlerinin Yüzeysel Sulara Olan Etkisi

Kömür madenciliği yapılan bölgenin fiziksel yapısı tamamen değişikliğe uğrar. Oluşan yapay obruklar, maden atıklarından ve çıkan topraktan oluşmuş tepeler alanın su yapısını etkiler ve su akışlarında farklılaşmaya sebep olur. Ayrıca kömüre ulaşmak için yapılan kazılarda ortaya çıkan dekapaj toprağı (değersiz olan kaya-toprak karışımı) yakındaki bölgelere su akışını değiştirecek şekilde dökülür. Akarsu kaynaklarının su altında kalması su rejimin değişmesine sebep olurken dökülen dekapaj atıkları sonucu suyun toprağa giriş hızı düşmesiyle yer altı kaynaklarına ulaşan su miktarı azalır [40].

2.7. Kömür Madenciliği Faaliyetlerinin Yer Altı Suyuna Etkisi

Kömür madenciliğinde göz önünde bulundurulması gereken konulardan biri, kömürün çıkarılma aşamasında söz konusu sahanın susuzlaştırılması işlemidir. Bu işlem sonucunda su rejiminin bozulması ve asit maden drenajı (AMD) oluşması riskleri bulunmaktadır. Ayrıca yer altı madenciliği sırasında boşaltılmış eski maden sahalarının yağmur suları ile dolması sonucunda yapay yer altı suları oluşması tehlikesi bulunmaktadır. Ömrünü tamamlamış yer altı sahalarının uygun şekilde terk edilmesi ilgili doğal alan için kritik önemdedir [41].

2.8. Membran Teknolojileri ile Arıtım

Literatürde genel olarak farklı gözenek açıklıklarına sahip filtreler yardımı ile suyun süzülerek geçirildiği bir arıtma aşaması olarak yer alır. Ancak bu gözenekler 2 μ ile 0,0001 μ arasında olacak şekilde çok küçük açıklıklardadır. Bu açıklıklar aşama aşama azalarak sürücü kuvvetinin artırılması sağlandığından bu yöntemlerin tercihi çok önemlidir. Gözenek çaplarına göre 4 örnek aşağıda sıralanmaktadır.

- Mikrofiltrasyon (0,05 μ ile 2 μ),
- Ultrafiltrasyon (0,005 μ ile 0,05 μ),
- Nanofiltrasyon (0,005 μ ile 0,001 μ),
- Ters Ozmos (0,001 μ - 0,0001 μ) [42].

2.9. Kullanılmış Suların Geri Kazanımının Önemi

Atıksuların geri kazanılmasının faydalarından önemli olanları aşağıda sıralanmıştır:

- Atıksu deşarjlarının azalmasıyla alıcı ortamlara verilen nütrient yönetimi sağlanması ve sucul ortamlara verilen olası etkilerin sınırlandırılması,
- Atıksuların geri kullanımıyla, potansiyel ham su kaynaklarının nitelik ve nicelik olarak korunması,
- Tarımsal faaliyetlerde de kullanılabilecek olan arıtılmış suların, zengin nütrient içeriği bir avantaj olması ve gübre kullanımını azaltabilecek potansiyeli bulunması [45].

2.9.1. Endüstriyel sektörlerde su tüketimleri ve kullanılmış su geri kazanımının önceliklendirilmesi

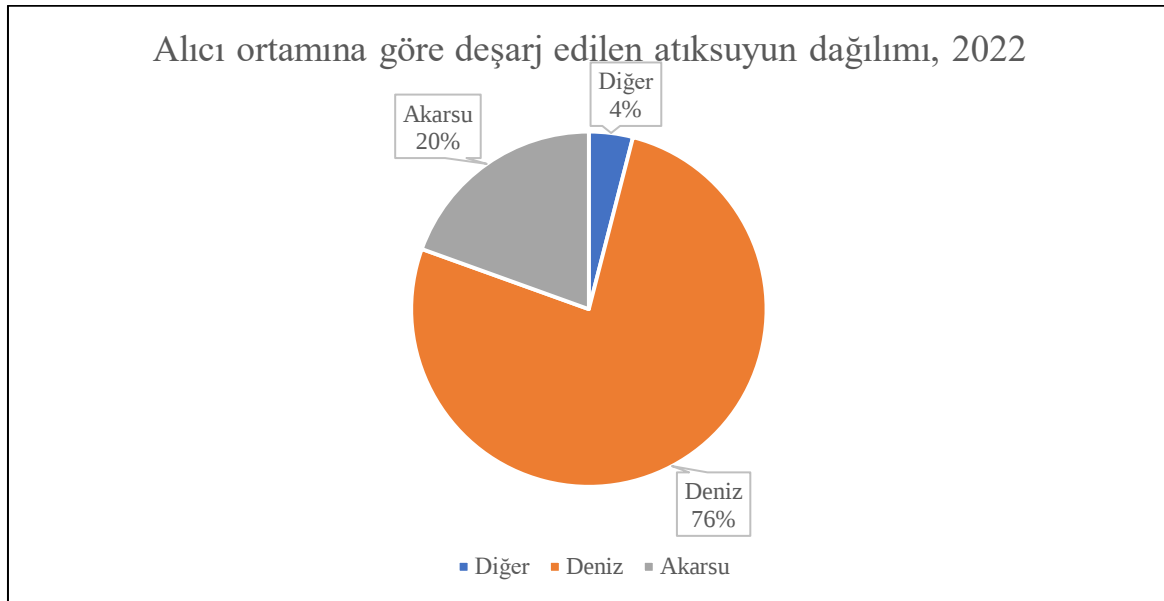
Endüstriyel tesislerde su kullanım/tüketim verimliliği genel olarak düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedenleri arasında şu maddeler gösterilebilir.

- Ülkemizde kuyu suyu ve ham su temin ücretinin düşük olması sebebiyle, genel üretim maliyetinin küçük bir kısmı su temini konusuna ayrılmaktadır. Bu nedenle tesisler daha çok enerji ve hammadde kullanım verimliliğine odaklanmaktadır. Dolayısıyla endüstrilerde su verimliliği genelde ikinci plana atılmaktadır,
- Su tüketimlerinin uzaktan izlenmesi ve otomasyonlu kontrolü ülkemizde nadir uygulanmaktadır,

- Su arıtımında su kalitesi gereksinimlerinin doğru tespit edilemeyerek ihtiyaç olandan fazla arıtım yapılması üretim maliyetlerini arttıran bir husustur,
- Farklı kullanım alanları olan suların ayırık olarak değerlendirilmemesi sonucunda, daha az arıtma prosesi gereken suların kirlilik yükünün artırılmasına neden olunabilmektedir [45].

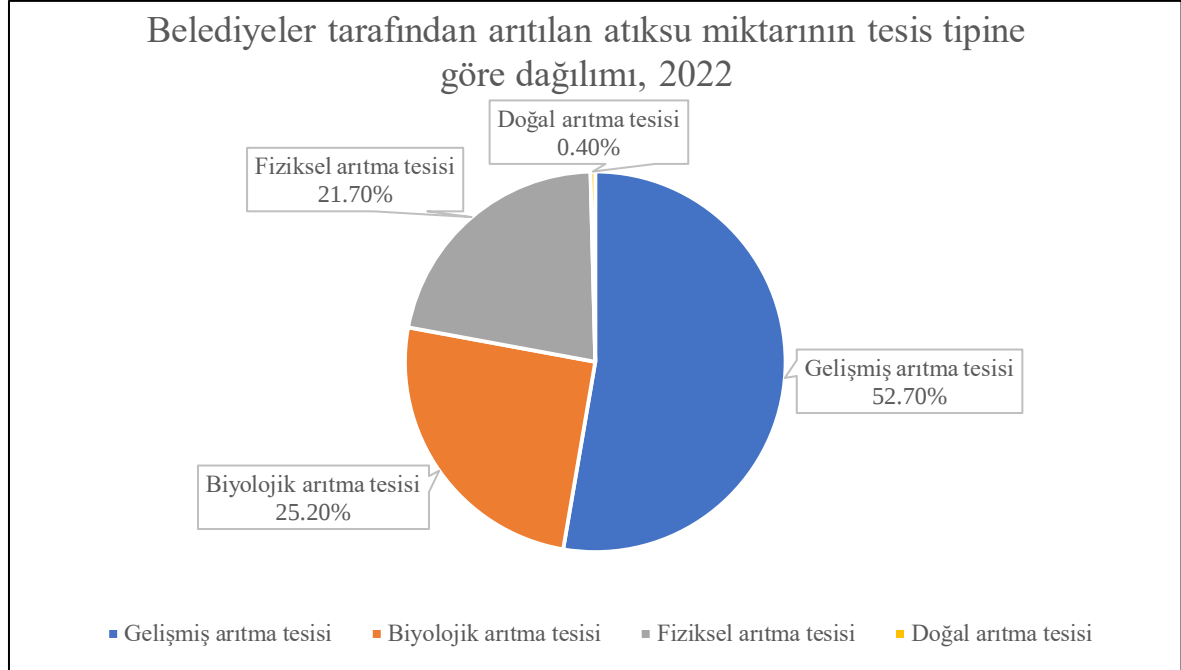
2.10. Atıksu Oluşumunun Mevcut Durumu

Belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB'ler ve maden işletmeleri tarafından 2022 yılında doğrudan alıcı ortamlara 16,4 milyar m³ atıksu deşarj edildi. Doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilen atıksuyun %76,5'i denizlere, %19,5'i akarsulara, %1', barajlara, %0,8', foseptiklere, %0,7'si göl/göletlere, %0,2'si araziye, %1,4'ü ise diğer alıcı ortamlara deşarj edildi. Denize deşarj edilen atıksuyun %80,2's, soğutma suyundan oluştu [46].



Şekil 2.4. Türkiye’de alıcı ortama göre deşarj edilen atıksuyun dağılımı [46]

2022 yılında toplam atıksuyun %52,4’ü termik santraller, %31,2’si belediyeler, %12,9’u imalat sanayi işyerleri, %1,7’si OSB’ler, %1’i maden işletmeleri, %0,7’si ise köyler tarafından doğrudan alıcı ortamlara deşarj edildi [46].



Şekil 2.5. Türkiye’de Belediyeler tarafından arıtılan atıksuların tesis tipine göre dağılımı [46]

Soğutma suları hariç doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilen atıksuyun %79,3’ü arıtıldı. Belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB’ler ve maden işletmeleri tarafından deşarj edilen atıksuyun %61,6’sını soğutma suları, %38,4’ünü ise diğer atıksular oluşturdu [46].

3. MATERİYAL VE METOT

Bu kısımda tez çalışmasına konu olan arıtma tesisi Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) / Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Kömür sahası hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra Tunçbilek yer altı kömür ocağı ve kuyu suyu arıtma tesisinden bahsedilmiştir. Son olarak tesisin tasarım parametrelerinin analiz metotlarına değinilmiştir.

3.1. Kömür Sahası Bilgileri

Devlet eliyle yapılan linyit işletmeciliği ilk defa 1938 yılında Etibank'a bağlı olarak Değirmisaz işletmesinin kurulmasıyla başlamıştır. Daha sonra 1939 yılında Tunçbilek ve 1939 yılında Soma İşletmeleri (Yunus Nadi Şirketi'nden devir alınarak) faaliyete geçmiştir. 1995 yılında TKİ bünyesindeki tüm Müesseseler Bölge Müdürlüğü statüsüne, 30.04.2002 tarihinden itibaren de İşletme Müdürlüğü statüsüne geçmiştir. Bu doğrultuda GLİ, 01.09.1995 yılına kadar Müessese olarak faaliyet göstermiştir [47].



Resim 3.1. Kömür sahası görseli [47]

3.2. TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Arıtma Tesisi

Çalışmaya konu olan arıtma tesisi TKİ kurumu ile TÜBİTAK-MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü arasında 01.07.2010 tarihinde “TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü bünyesinde Su Arıtımı/Geri Kazanımı ve Ömerler Beke Deresi Islahı” isimli bir proje kapsamın da planlanmıştır. İmzalanan sözleşme kapsamında hazırlanan uygulama projeleri ve teknik şartnameler çerçevesinde 20.02.2014 tarihinde TKİ kurumuna yer teslimi yapılmış ve tesis çalışmaya başlamıştır [49].



Resim 3.3. Tesis bölgesini gösterir görsel

3.2.1. Tesis detayları

GLİ Yer Altı / Kuyu Suyu Arıtma Tesisinde 2022 yılı içerisinde 286381,60 m³ atıksu arıtılmıştır. Arıtılan suyun tamamı Ömerler ve 1/B lavvar tesislerine beslenerek proste kullanılmıştır. 6500 m³/gün kapasiteli olarak planlanan tesis fizikokimyasal ön arıtma ve membran sistemine göre projelendirilmiştir [49].



Resim 3.4. GLİ arıtma tesisi görseli [49]



Resim 3.5. Tesisin kuşbakışı fotoğrafı

3.3. Yer Altı ve Kuyu Suyu Arıtımı Kapsamında Gerçekleştirilen Çalışmalar

GLİ Müdürlüğü Ömerler bölgesinde farklı noktalarda yürütülen yer altı üretim faaliyetleri sonucunda Ağustos – Ekim 2010 tarihlerinde yapılan ölçümler sonucu atılan yer altı suyu miktarının yaklaşık 3400 m³/gün olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1. Yer altı suyu ölçüm sonuçları

Suyun Atıldığı Nokta	Ölçüm Başlangıç Tarihi	Ölçüm Bitiş Tarihi	Ölçüm Yapılan Gün Sayısı	Atılan Su Miktarı	
				(m ³ /gün)	(L/s)
Ömerler Ocağı	25.08.2010	08.10.2010	44	2930	33,9
Nefeslik	01.10.2010	11.10.2010	10	367	4,3
Toplam				3297	38,2

Bu durumda su miktarı 3800 m³/gün olarak hesaplanmıştır. Bu öngörüler dikkate alınarak hesaplanan 6500 m³/günlük kapasite Çizelge 3.2’de, kullanım yerlerine göre su ihtiyacı Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. İleriye yönelik yer altı suyu miktarı tahminleri

Süre	2010	2010 (%15 opsiyonlu)	2012	10 yıllık dönem
Yer altı suyu miktarı (m ³ /gün)	3300	3800	5000	6500

Çizelge 3.3. Kullanım yerlerine göre su ihtiyacı

Kullanım Yerleri	2010 (m ³ /gün)	2012 (m ³ /gün)	10 yıllık dönem (m ³ /gün)
Ömerler lavvar su ihtiyacı	2400	2400	4800
Yer altı ekipmanları su ihtiyacı	180	400	600
Kullanma suyu ihtiyacı	100	135	150
Toplam su ihtiyacı	2680	2935	5550

3.4. Tesis Bölgesinin Genel Şartları

3.4.1. İklim

Kütahya bölgesinde yazlar ılık geçerken kışlar ise çok soğuk ve karlı geçmektedir. Yıl içerisinde sıcaklık normalde -3°C ile 29°C arasında değişiklik gösterir ve nadiren de olsa -10 derecenin altına düşmektedir. Ilık mevsim 3 ay sürerken soğuk mevsim ise 3,5 ay sürmektedir. Sıcaklık şartları daha çok İç Anadolu bölgesini andırırken, Ege Bölgesi ve Marmara Bölgesi iklimlerine de benzerlik göstermektedir [50].



Resim 3.6. Kütahya ilinin Türkiye haritasındaki konumu [51]

3.4.2. Arıtılmış suyun deşarj edilebileceği potansiyel su varlıkları

Tesis atıksuyunun deşarj edildiği alıcı ortam Beke Deresi olarak bilinmekte olup, Bursa-Bilecik-Kütahya üçgeninde, Kütahya ilinin Tavşanlı ilçesine bağlı Tunçbilek Beldesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Beke Deresi kuzeyinde Domaniç İlçe sınırı civarında bulunan, Böçen Köyü'nün hemen kuzey doğusundan geçmekte olan Kocası Deresi'ne dökülmektedir.

3.4.3. Jeolojik durum

Çalışılan bölgenin temel kayaçları metamorfik kayaçlar ve üzerine gelen Mermerlerden oluşmuştur. Bu bölgenin en yaşlı kaya birimini oluşturur. Ek olarak Seyitömer bölgesi

kömürlü kayaçların en iyi gözlemlendiği yerdir. Dikkat çeken özelliği tabakaların arasında kömür damarları bulunmasıdır. Genel olarak Beke ve Tunçbilek Formasyonu Kütahya Merkezinin Batı tarafında gözlenir [52].



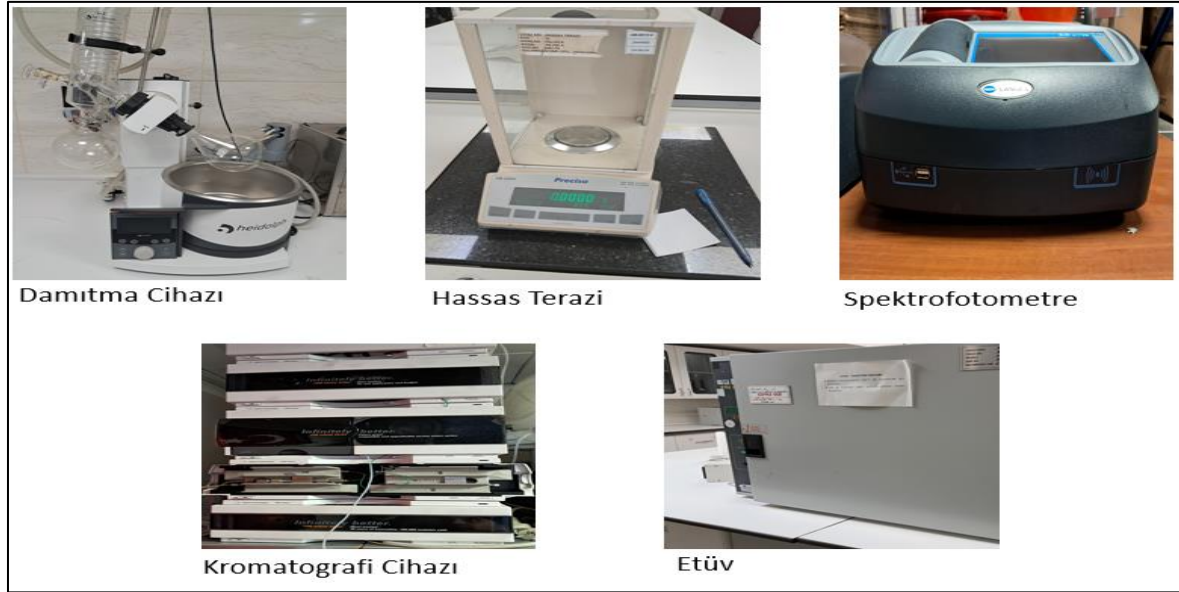
Resim 3.7. Bölgeden kayaç yapısı gösterir bir fotoğraf

3.5. Analiz Metotları

Yer altı suları, kuyusuları ve atıksuların karakterizasyonu çalışmaları için kullanılan ulusal ve uluslararası standart analiz metotları parametreler bazında Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Parametreler ve analizinde kullanılan metotlar

Parametre	Analiz Metodu
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	İletkenlik Ölçer Yöntemi (SM-2510)
pH	pHmetre (SM- 4500)
Bulanıklık (NTU)	DR6000 Spektrofotometre (SM- 2130 B Nefelometrik)
Demir (Fe) (mg/L)	ICP MS- Absorpsiyon Spektrometresi Cihazı (SM- 3111)
Sülfat (mg/L)	İyon Kromatografi Cihazı (SM- 4110)
Nitrat (mg/L)	
Nitrit (mg/L)	
Amonyum (mg/L)	SM- 4500 NH_3 B, C Destilasyon+titrasyon
Askıda Katı Madde (mg/L)	SM- 2540 D Gravimetrik
Bor (B) (mg/L)	Kolorimetrik Karmin Yöntemi SM- 4500 C



Resim 3.8. Kullanılan ekipmanlar

3.5.1. Jar testi

Jar testi fizikokimyasal ve kimyasal arıtma proseslerinin laboratuvar ölçeğinde bazı şartlarının belirlenmesi için kullanılan, genellikle kimyasalların en uygun miktarlarını, pH değerlerini, karıştırma sürelerini belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Jar testi düzenekleri genellikle 1 L hacimli beherleri karıştırabilecek 6 adet pedallı elektronik hız ve zaman kontrollü ekipmanlardır. Laboratuvarda yapılan jar testlerinde GLİ yer altı sularından alınan örneklerden 1 L kullanılarak koagülasyon-flokülasyon ve ön yumuşatma proseslerinin en uygun kimyasal, kimyasal konsantrasyonu, karıştırma hızı, karıştırma ve çöktürme süresi gibi parametreler açısından laboratuvar ölçekli optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.



Resim 3.9. Jar testi görseli

3.6. Tesisin Deşarj Standartları

3.6.1. Alıcı ortama deşarj

Arıtılmış suların proses suyu olarak kullanılamayan kısmı tesisin yakınından geçen Beke Deresine deşarj edilmektedir. Buna göre Çizelge 3.5’de sunulmuş olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin (Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Sayı: 25687) kriterlerine göre arıtılan sular tesis yakınından geçen Beke Deresine verilmektedir.

Çizelge 3.5. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Tablo 7.2: Sektör: Maden sanayii
(kömür üretimi ve nakli) deşarj standartları [53]

Parametre	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	200 mg/L	100 mg/L
Askıda katı madde (AKM)	150 mg/L	100 mg/L
pH	6-9	6-9

3.6.2. İnsani kullanım standartları

Tesiste ikinci aşama arıtma olarak Membran sistemleri kullanılmaktadır. Membran sistemleri ile arıtılan su insani kullanıma sunulmaktadır. Bu kapsamda arıtılan sular Çizelge 3.6’da verilen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği uyarınca personellerin yıkanma ve kullanma suyu ihtiyaçlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.6. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliği [54]

Parametre	Parametrik değer
<u>Kimyasal Parametreler</u>	
Akrilamid	0,1 µg/L
Antimon	5 µg/L
Arsenik	10 µg/L
Benzen	1 µg/L
Benzo (a) piren	0,010 µg/L

Çizelge 3.6. (devam) İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliği [54]

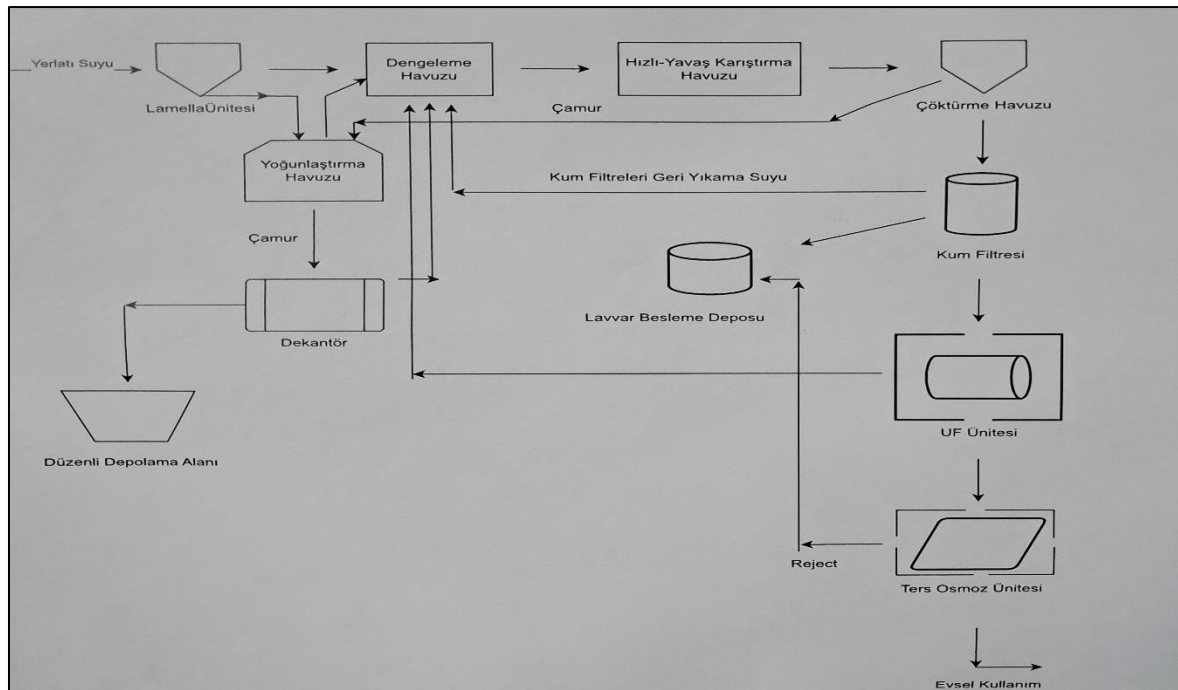
Bor	1 mg/L
Bromat	10 µg/L
Kadmiyum	5,0 µg/L
Krom	50 µg/L
Bakır	2 mg/L
Siyanür	50 µg/L
1,2-dikloreten	3,0 µg/L
Epikloridin	0,10 µg/L
Florür	1,5 mg/L
Kurşun	10 µg/L (içme-kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 25 µg/L olarak uygulanır)
Cıva	1,0 µg/L
Nikel	20 µg/L
Nitrat	50 mg/L
Nitrit	0,50 mg/L
Pestisitler	0,10 µg/L
Toplam pestisitler	0,50 µg/L
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	0,10 µg/L
Selenyum	10 µg/L
Tetrakloreten ve trikloreten	10 µg/L
Trihalometanlar-toplam	100 µg/L (içme-kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/L olarak uygulanır)
Vinil Klorür	0,50 µg/L
Gösterge Parametreleri	
Alüminyum	200 µg/L
Amonyum	0,50 mg/L
Klorür	250 mg/L
<i>C. perfringens</i> (sporlular dahil)	0 sayı/100 ml
Renk	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok
İletkenlik	2500 20 °C'de µS/cm ⁻¹
pH	≤ 9,5-6,5≤
Demir	200 µg/L
Mangan	50 µg/L
Koku	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok
Oksitlenebilirlik	5,0 mg/L O ₂

Çizelge 3.6. (devam) İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmeliği [54]

Sülfat	250 mg/L
Sodyum	200 mg/L
Tat	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok
22 °C’de koloni sayımı	Anormal değişim yok
Koliform bakteri	0 Sayı/100 ml
Toplam Organik Karbon (TOC)	Anormal değişim yok
Bulanıklık	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok
Mikrobiyolojik Parametreler	
<i>E. coli</i>	0/250 ml
Enterokok	0/250 ml
Koliform bakteri	0/250 ml

3.7. Arıtma Aşamaları ve Arıtma Tesisi Tasarımı

Arıtma tesisi akım şeması



Şekil 3.2. Arıtma tesisi akım şeması

Arıtma aşamaları

Tesiste fizikokimyasal ön arıtma + filtrasyon sistemine göre projelendirilmiştir ve aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır:

Lamella ünitesi

Dengeleme havuzu

Fizikokimyasal ön arıtma sistemi

- Hızlı karıştırma ünitesi
- Yavaş karıştırma ünitesi
- Çöktürme havuzu
- Kimyasal çamur terfi binası

İleri arıtma binası ile filtre besleme havuzu

- Kum filtreleri ile filtrelenmiş su havuzu
- Ultrafiltrasyon sistemi
- Ultrafiltrasyon ürün suyu deposu
- Ters ozmos sistemi

Klorlama ve ürün suyu deposu

Çamur yoğunlaştırma havuzu

Kimyasal madde hazırlama, çamur susuzlaştırma ve geçici çamur depolama binası

3.7.1. Fiziksel arıtma aşamaları

Lamella ünitesi

Yer altından pompalar vasıtasıyla gelen suyun ilk girdiği aşama lamella ünitesidir. Ünite 6 adet lamella tankı ile 1 adet çamur çöktürme tankından oluşmaktadır. Bu aşamada çok yoğun askıda katı madde içeren suyun 45 derece konik yapısı sebebiyle askıda kalan maddelerin çökmesi ve sudan uzaklaşması amaçlanır. Çöken çamur ise yoğunlaştırma havuzuna gönderilmektedir. Burada kendiliğinden çökelen askıda maddelerden temizlenen su dengeleme havuzuna aktarılmaktadır.



Resim 3.10. Lamella ünitesi fotoğrafları

Dengeleme havuzu

Lamella ünitesinden sonra ikinci aşama olarak dengeleme havuzu gelmektedir. Burada atıksular debi ve yük bakımından dengelenme amacıyla bekletilir. Havuz içerisindeki karışım dalgıç karıştırıcılar ile sağlanmaktadır. Teçhiz edilecek olan terfi pompalarıyla sular fizikokimyasal arıtma ünitelerine aktarılmaktadır. Pompaların kontrolü seviye ölçerler ile sağlanmaktadır. Havuz iki gözlü olarak inşa edilmiştir. Dengeleme havuzundan terfi bölmesine geçiş manuel kontrollü kapaklar ile gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.11. Dengeleme havuzu fotoğrafı

3.7.2. Fizikokimyasal arıtma aşamaları

Hızlı karıştırma ünitesi

Terfi havuzundan gelen sular iki bant olarak tasarlanmış olan fizikokimyasal arıtma ünitelerine alınacaktır. Öncelikle hızlı karıştırma ünitesinde su içerisine kimyasal arıtmanın gereklerinin yerine gelmesi için pH metre kontrolünde (pH 7 – 8 aralığında), koagülant olarak alüminyum sülfat dozlaması yapılır. Hızlı karıştırma tankı bir mikser yardımıyla sürekli olarak karıştırılacak ve karışım şiddeti tankın tam karışımlı olmasını sağlayacak kadar olacaktır.

Yavaş karıştırma ünitesi

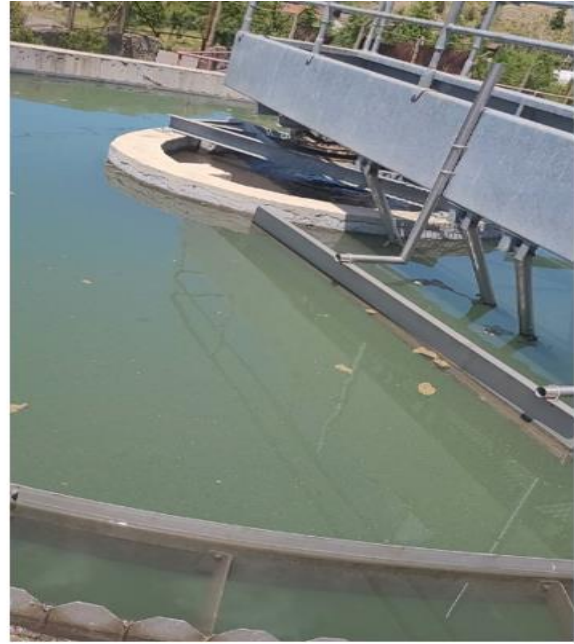
Hızlı karıştırma ünitesinde şartlandırılmış su içerisindeki partiküllerin büyütülmesi amacıyla anyonik polielektrolit ilavesi yapılacaktır. Atıksuyun içinde çözünmüş veya koloidal formda bulunan kirleticilerin önemli bir kısmı yavaş karıştırma tankı içerisinde dozlanan kimyasal maddeler ve karışım enerjisi ile büyük partiküllere dönüşürler. Tank içerisindeki karışım paletli karıştırıcı ile sağlanmaktadır.



Resim 3.12. Hızlı ve yavaş karıştırma üniteleri fotoğrafı

Çöktürme havuzu

Yavaş karıştırma havuzu sonrası büyüyen partiküllerin atıksudan ayrılmasının sağlanması gerekliliği oluşur. Atıksu buradan çöktürme tankına gönderilir. Çöktürme tankında yerçekimi etkisi ile büyük partiküller tabana çökelir ve duru su üstten alınarak kum filtresi ünitesine verilir.



Resim 3.13. Çöktürme havuzu fotoğrafları

Kimyasal çamur terfi binası

Kimyasal çöktürme tankları tabanındaki çamur 2 asıl + 2 yedek pompa yardımıyla çekilerek yoğunlaştırma tankına aktarılır. Pompalar bir bina içerisinde bulunacak olup yedek pompa her iki havuzdan da çamur çekebilecek şekilde dizayn edilmiştir.

Filtre besleme havuzu

Fizikokimyasal arıtma ünitelerinden geçen atıksu ileri arıtma ünitelerine verilmeden önce toplandığı havuzdur. Bu havuza ayrıca kuyu suyundan temin edilen hamsu da verilmektedir. Bu havuzda ayrıca ön klorlama da yapılmaktadır. Buradan filtre besleme pompaları

yardımıyla hamsular basınçlı kum filtrelerine aktarılmaktadır. Bu aşamada su seviyesi ve hacmi seviye ölçer ile kontrol edilmektedir.

Kum filtresi

Çöktürme tankından alınan suda bulunması muhtemel partiküllerin tutulması için sistemde kum filtresi bulunmaktadır. Kum filtresinden alınan su ultrafiltrasyon membranları için hazırlanmış olacaktır. Kum filtresi ünitesi debi ayarlı olarak otomatik geri yıkama yapabilen çok katmanlı çakıl + kum + antrasit malzemeden oluşan filtre tabakaları bulunmaktadır. Sistem 5 asıl + 1 yedek filtre ünitesinden oluşmaktadır. Filtreler üzerindeki basınç ölçerlerdeki farka göre geri yıkama işlemine otomatik olarak geçmektedir. Aynı anda bir filtre geri yıkanacak olup bu esnada yedek filtre devreye alınmaktadır. Geri yıkama işlemi tamamlanan filtre yedek pozisyona geçmektedir.



Resim 3.14. Kum filtresi fotoğrafı

3.7.3. İleri arıtma binası

İleri arıtma binası içerisinde aşağıdaki ünitelere ek olarak 2 adet teknik ofis, toplantı salonu, yedek malzeme deposu, laboratuvar, mutfak, duş, kimyasal madde alanı ve WC bulunmaktadır.

Filtrelenmiş su havuzu

Kum filtrelerinden geçen filtrelenmiş suların toplandığı havuzdur. Filtrelenmiş su havuzu 2 gözden oluşmaktadır. 1. göze filtrelenmiş sular pnömatik vana kontrolü ile verilmektedir. 1. gözden ultrafiltrasyon ünitesi besleme pompaları emiş yapmaktadır. 1. gözden 2. göze taşan sular ise ters ozmos sistemi reject suyu ile karıştırılıp pompalar yardımıyla lavvar sistemine gönderilmektedir.

Ultrafiltrasyon sistemi

Tüm filtrasyon aşamalarından sonra ultrafiltrasyon membranlarından geçirilen filtrelenmiş su içerisindeki katı maddeler büyük oranda tutularak ters ozmos sistemine vermeye hazır hale gelmektedir.

Ultrafiltrasyon ürün suyu deposu

Ultrafiltrasyon sisteminden geçen suların depolandığı havuzdur. Bu havuzdan emiş yapan pompalar ile ters ozmos sistemi beslenmektedir. Ayrıca UF ünitelerinin geri yıkaması da bu havuzdan emiş yapan UF geri yıkama pompaları yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Ters ozmos sistemi

Filtrelenmiş su içerisindeki istenilen su kalite parametrelerinin sağlanabilmesi amacıyla kurulacak olan ayırma sistemidir. Yüksek basınç pompaları yardımıyla ters ozmos membranlarından geçirilen hamsu, kullanma suyu kalitesine getirilmektedir. Çıkan su klorlama ve ürün suyu deposuna alınmaktadır.



Resim 3.15. Ters ozmos fotoğrafları

Klorlama ve ürün suyu deposu

Ters ozmos sisteminden alınan ürün sularının klorlanarak depolandığı havuzdur. Tesisin kullanma suyu bu depodan sağlanacaktır. Klorlama sistemi kontrolü amacıyla bakiye klor ölçer cihazı bulunmaktadır. Ayrıca arıtma tesisinin içsel su ihtiyacının karşılanması amacıyla bir hidrofor sistemi ile su temini bu havuzdan alınmaktadır.

3.7.4. Çamur yoğunlaştırma havuzu

Fizikokimyasal çöktürme havuzundan çekilen çamur yoğunlaştırma havuzunda toplanmaktadır. Burada, çamur karıştırma sıyırıcı sistemi ile yoğunluğu arttırılan karışık çamur, susuzlaştırma sistemine pompalanmaktadır.

3.7.5. Kimyasal madde hazırlama, çamur susuzlaştırma ve geçici çamur depolama binası

Çamur susuzlaştırma binası

Çamur pompaları, polielektrolit hazırlama ve dozlama sistemi ile çamur susuzlaştırma üniteleri için inşa edilmiş olan bir yapıdır. Ayrıca kimyasal arıtma sistemi, kimyasal madde hazırlama üniteleri de bu binada yer almaktadır.

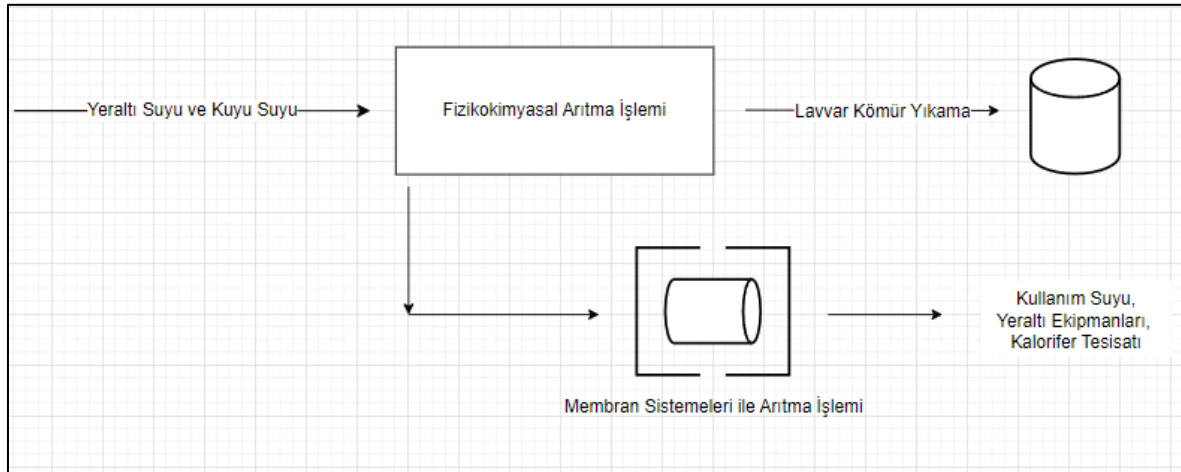
Geçici çamur depolama alanı

Susuzlaştırma ünitesinden çıkan çamurun nihai depolama alanına gönderilmeden önce çamurdaki su miktarını azaltmak üzere serildiği ve depolandığı üzeri sundurma ile kapalı etrafı açık bir yapıdır. Tabanda oluşturulacak drenaj ızgaraları ile süzülebilecek sular toplanmaktadır. Dekantör, geçici çamur depolama alanında oluşacak süzüntü suları ve yoğunlaştırma havuzu süzüntü suları cazibe ile süzüntü suyu terfi merkezine buradan da yine cazibe ile dengeleme havuzuna gönderilecektir.

4. ÇIKTILAR

Yer altı sularının arıtmadan sonra işletme içinde Ömerler Lavvarında kömür zenginleştirme prosesinde, yer altı ocaklarında üretimde kullanılan makine ve ekipmanlarda proses suyu ve idari bina ve atölyelerde insani tüketim amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle farklı kullanım amaçlarına göre suyun farklı kalitelerde arıtımı sağlanmaktadır. İhtiyaca göre arıtılacak su iki kademeli olarak arıtma tesisinden alınarak kullanım yerlerine dağıtımı yapılmaktadır (Şekil 4.1). Yer altı suyunun arıtmadan sonra;

- Ömerler Lavvarında kömür yıkama prosesinde takviye suyu olarak,
- Yer altı ocaklarında kullanılan makine ve ekipmanların su ihtiyacını karşılamak,
- İdari bina ve atölyelerde insani tüketim amaçlı olarak kullanılmaktadır.



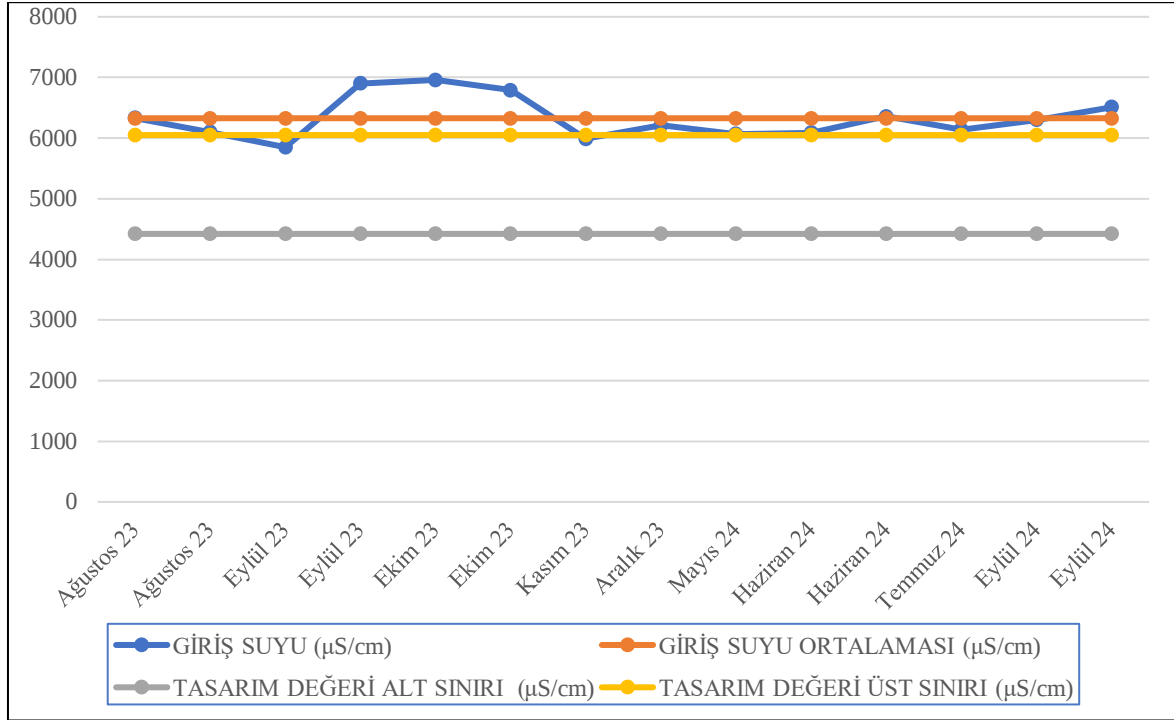
Şekil 4.1. Kullanım yerine göre farklı şekilde arıtılan atıksu

4.1. Analizler

Söz konusu tesis 2014 yılından itibaren çalışmaya başlamıştır. Tez çalışmasında 2023-2024 yıllarından elde edilen numunelerin analiz sonuçları ele alınacaktır. Tez çalışmasına konu olan tesis Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin eklerinde yer alan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğine uygun olarak arıtım faaliyetini sürdürmektedir. Tesis değerlendirilmesi ve analiz sonuçları bu yönetmelik kapsamında değerlendirecek olup, yönetmeliğe uygunluğu tartışılacaktır.

İletkenlik

Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen iletkenlik değerleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

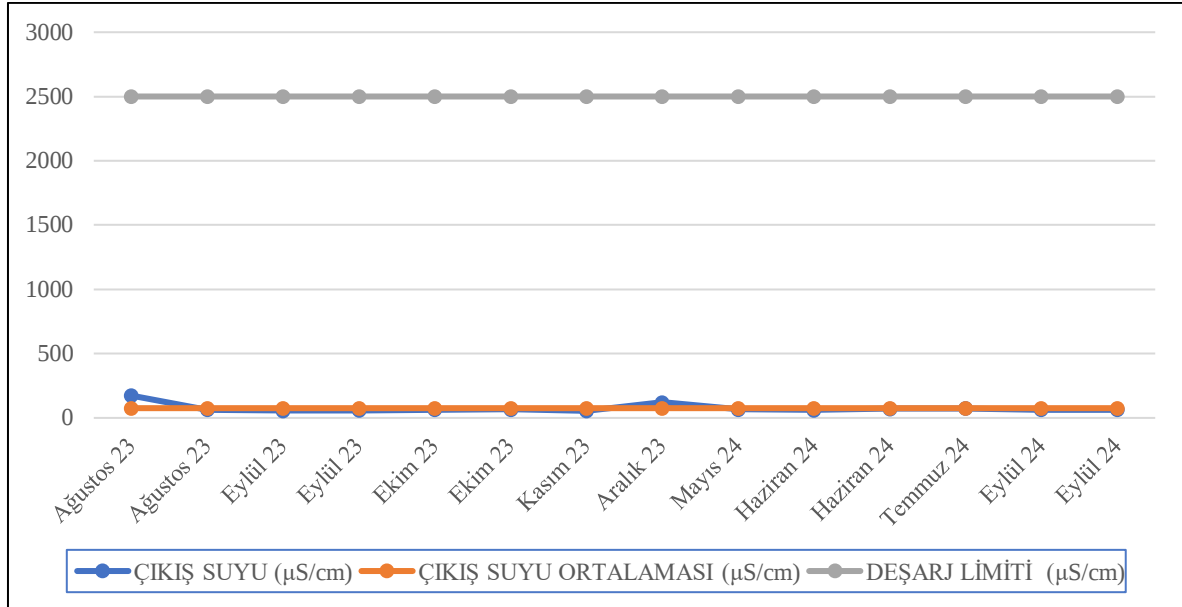


Şekil 4.2. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen iletkenlik değerleri

Şekil 4.2 incelendiğinde, en yüksek iletkenlik değerinin ölçüldüğü ay Ekim 2023’te 6960 $\mu\text{S/cm}$, en düşük iletkenlik değerinin ölçüldüğü ay ise Eylül 2023’te 5850 $\mu\text{S/cm}$ olarak gerçekleşmiştir. Analiz sürecinde ise ortalama giriş suyu iletkenlik değeri 6328 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür.

Tesis tasarım değeri üst sınırı 6050 $\mu\text{S/cm}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre analiz sonuçları incelendiğinde giriş suyu ortalama değeri 6328 $\mu\text{S/cm}$ ile tasarım üst sınırından yüksek olduğu saptanmıştır.

Şekil 4.3’de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen iletkenlik değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.3. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen iletkenlik değerleri

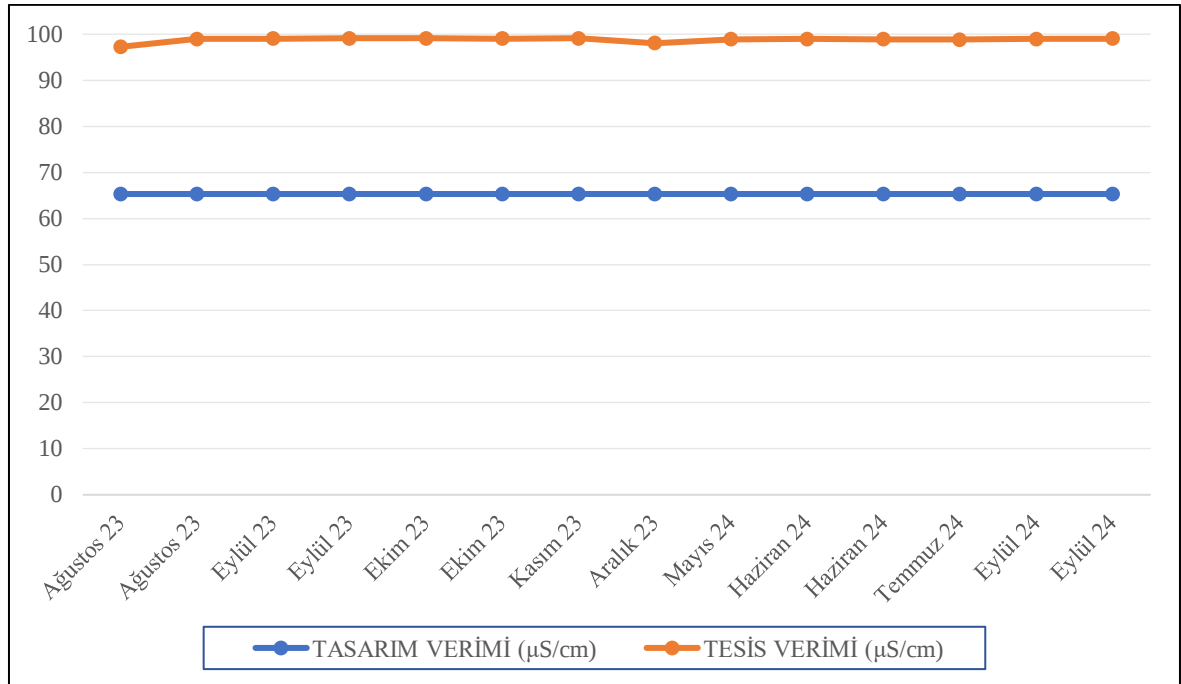
Şekil 4.3’de gösterilen çıkış suyu ortalaması 75,6 $\mu\text{S/cm}$ değeri ile deşarj standardı olan 2500 $\mu\text{S/cm}$ ’e göre düşük seviyede kalmıştır. Buna ek olarak en yüksek iletkenlik değeri Ağustos 2023’te 173 $\mu\text{S/cm}$, en düşük iletkenlik değeri ise Eylül 2023’te 55,29 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.1. ile Şekil 4.4’de ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.1. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen iletkenlik değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	İLETKENLİK		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu ($\mu\text{S/cm}$)	Çıkış Suyu ($\mu\text{S/cm}$)	
9 Ağustos 2023	6330	173	97,26
23 Ağustos 2023	6100	62,8	98,97
9 Eylül 2023	5850	55,9	99,04
23 Eylül 2023	6900	59,7	99,13
9 Ekim 2023	6960	63,2	99,09
25 Ekim 2023	6790	66,8	99,01
16 Kasım 2023	5990	54,7	99,08
14 Aralık 2023	6210	121,6	98,04
8 Mayıs 2024	6070	66,7	98,90

Çizelge 4.1. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen iletkenlik değeri verim oranları

3 Haziran 2024	6090	62	98,98
21 Haziran 2024	6360	72,1	98,86
24 Temmuz 2024	6140	72,8	98,81
17 Eylül 2024	6300	64,9	98,96
30 Eylül 2024	6510	63,2	99,02
ORTALAMA	6328	75,6	98,2

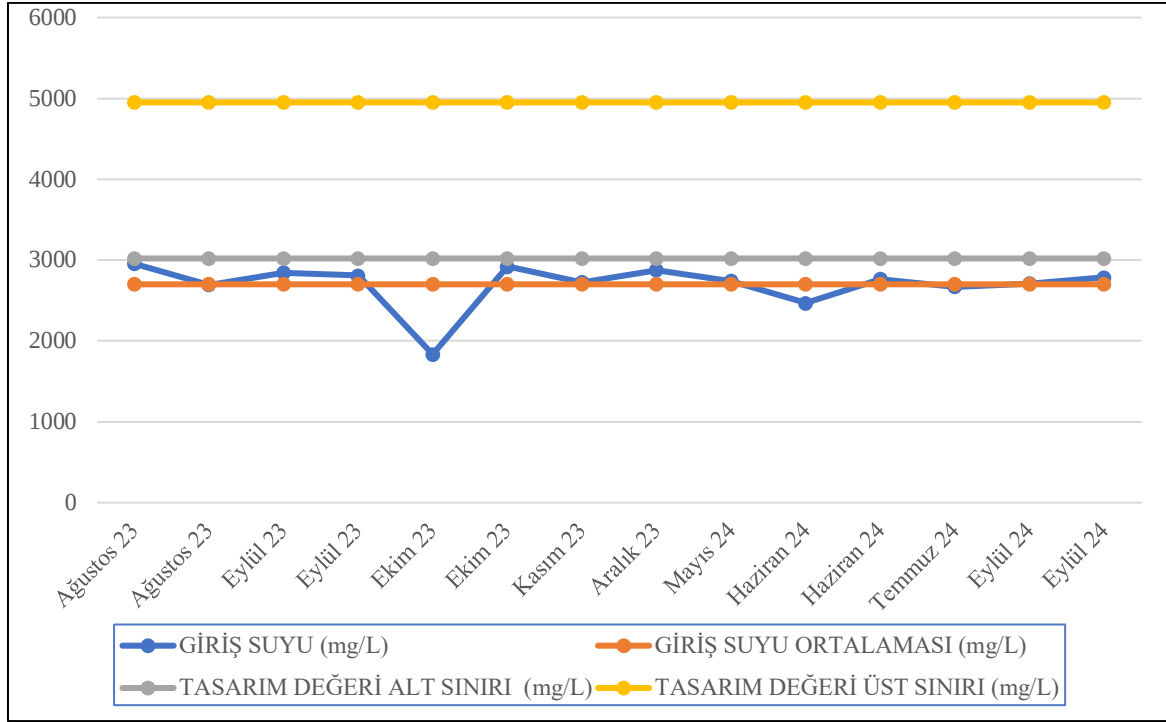


Şekil 4.4. Atıksu arıtma tesisi iletkenlik parametresinin verim karşılaştırması

Şekil 4.4’de gösterilen tesis tasarım veriminin ortalama %65,3 olmasına rağmen tesis analiz edilen aylarda ortalama %98 verimle çalışmıştır. Çizelge 4.1’de ise tesis veriminin analiz yapılan aylarda %98 ile %99 arasında olduğu gösterilmiştir.

Sülfat

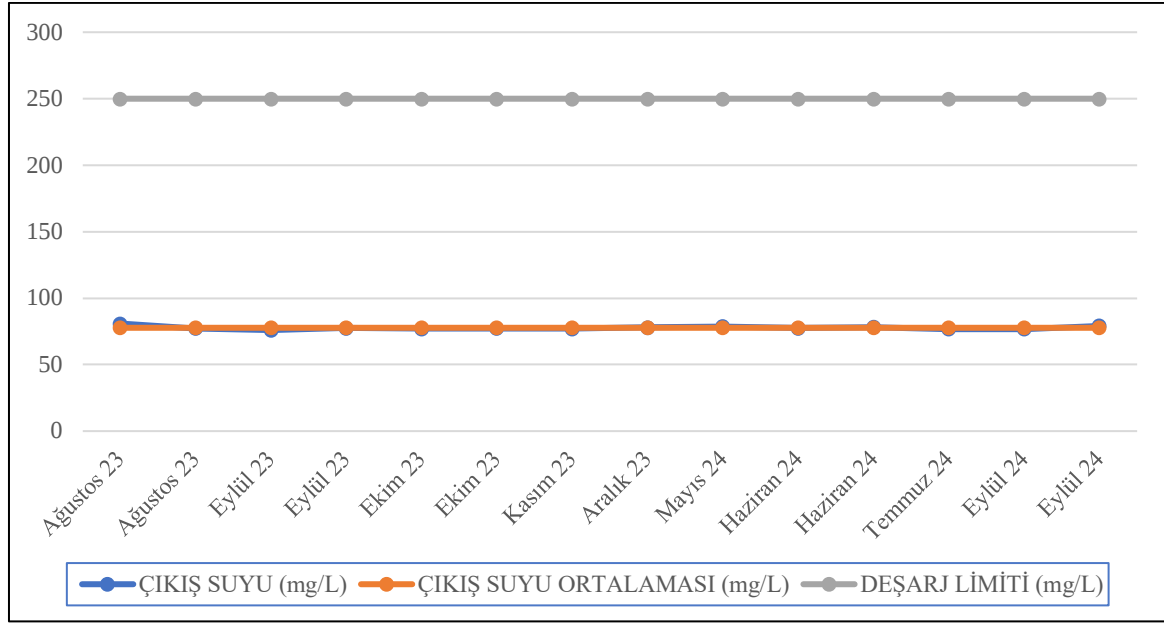
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen sülfat değerleri Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen sülfat değeri

Şekil 4.5 incelendiğinde, giriş suyunda ölçülen sülfat değerlerinin ortalaması 2700 mg/L olarak ölçüldüğü saptanmıştır. En yüksek sülfat değerinin olduğu ay Ağustos 2023'te 2954 mg/L, en düşük olduğu ay ise Ekim 2023'te 1834 mg/L olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.6'de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen sülfat değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.6. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen sülfat değeri

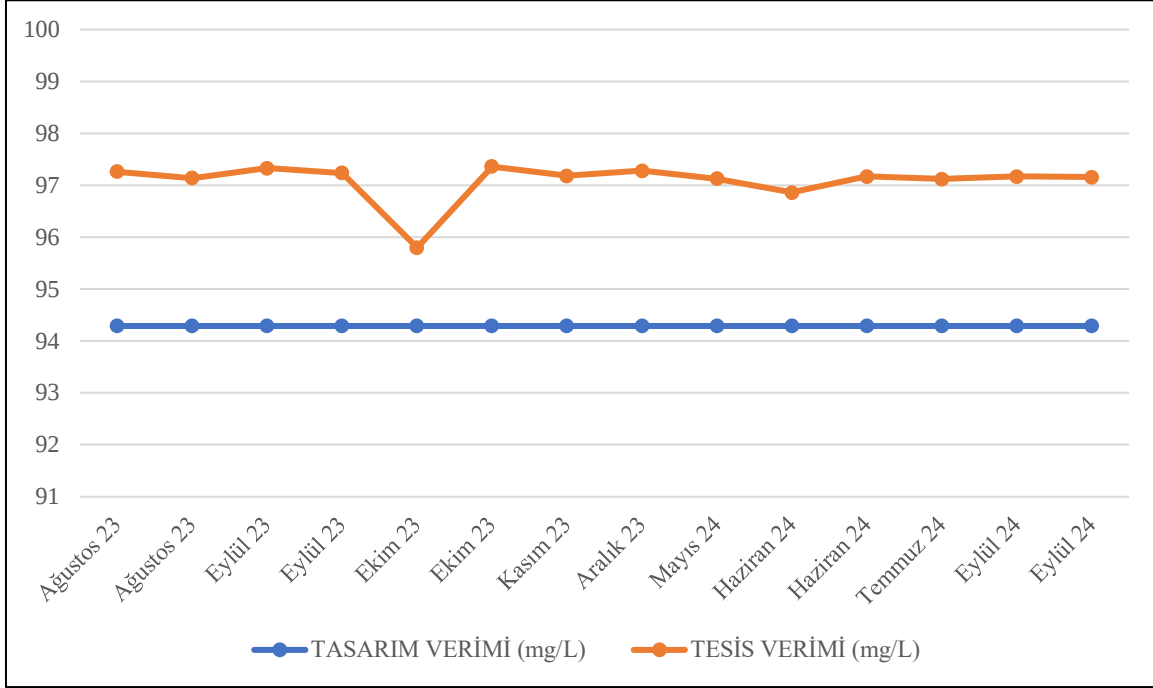
Şekil 4.6’da bahsedilen atıksu arıtma tesisi çıkış suyu sülfat değerlerinde ise analiz edilen tarih aralığında ortalama olarak 77,71 mg/L değeri bulunmuştur. Bu değere göre tüm aylarda deşarj standardı olan 250 mg/L değeri sağlanmıştır. Çizelge 4.2. ile Şekil 4.7’de ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.2. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen sülfat değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	SÜLFAT		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	2954	80,9	97,26
23 Ağustos 2023	2695	77,2	97,14
9 Eylül 2023	2846	76	97,33
23 Eylül 2023	2810	77,6	97,24
9 Ekim 2023	1834	77	95,80
25 Ekim 2023	2921	77,2	97,36
16 Kasım 2023	2727	77	97,18
14 Aralık 2023	2875	78,1	97,28
8 Mayıs 2024	2743	78,7	97,13
3 Haziran 2024	2469	77,5	96,86
21 Haziran 2024	2767	78,2	97,17

Çizelge 4.2. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen sülfat değeri verim oranları

24 Temmuz 2024	2671	76,8	97,12
17 Eylül 2024	2708	76,7	97,17
30 Eylül 2024	2785	79,1	97,16
ORTALAMA	2700	77,71	97,23

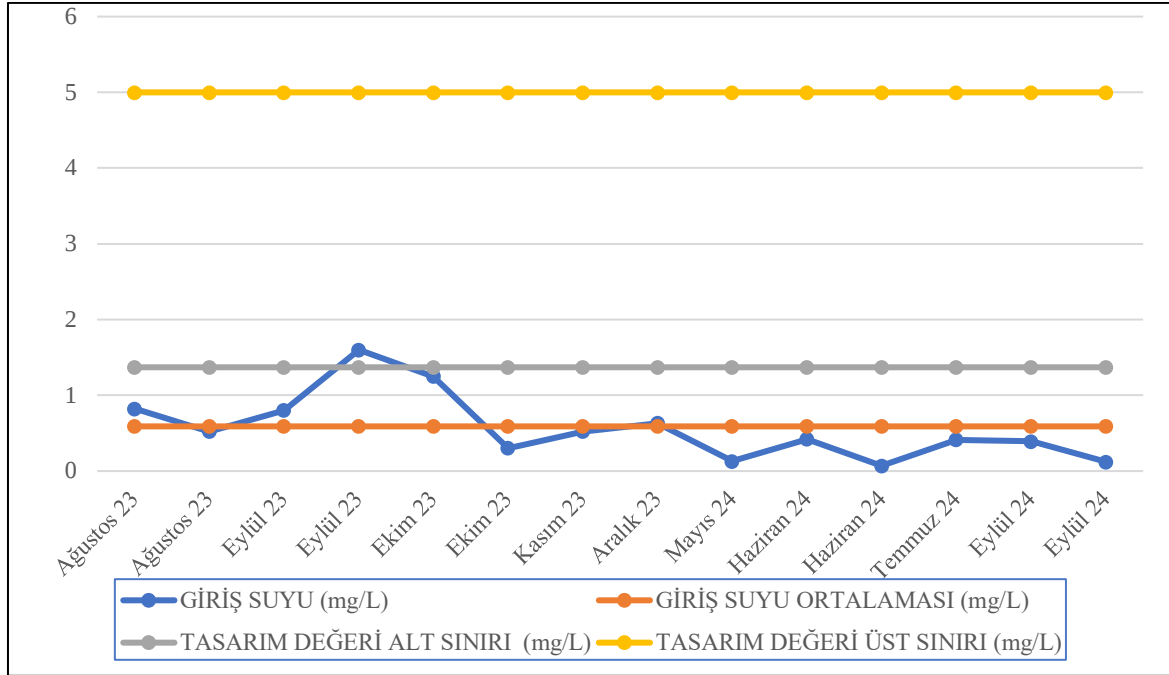


Şekil 4.7. Atıksu arıtma tesisi sülfat parametresinin verim karşılaştırması

Çizelge 4.2’de tesisin tüm aylarda ortalama %97 sülfat verimi ile çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 4.7’de görüldüğü üzere tasarım verimi olarak belirlenen %94,29 değerinin üstünde bir tesis verimi ile sülfat giderimi sağlandığı söylenebilir.

Amonyum

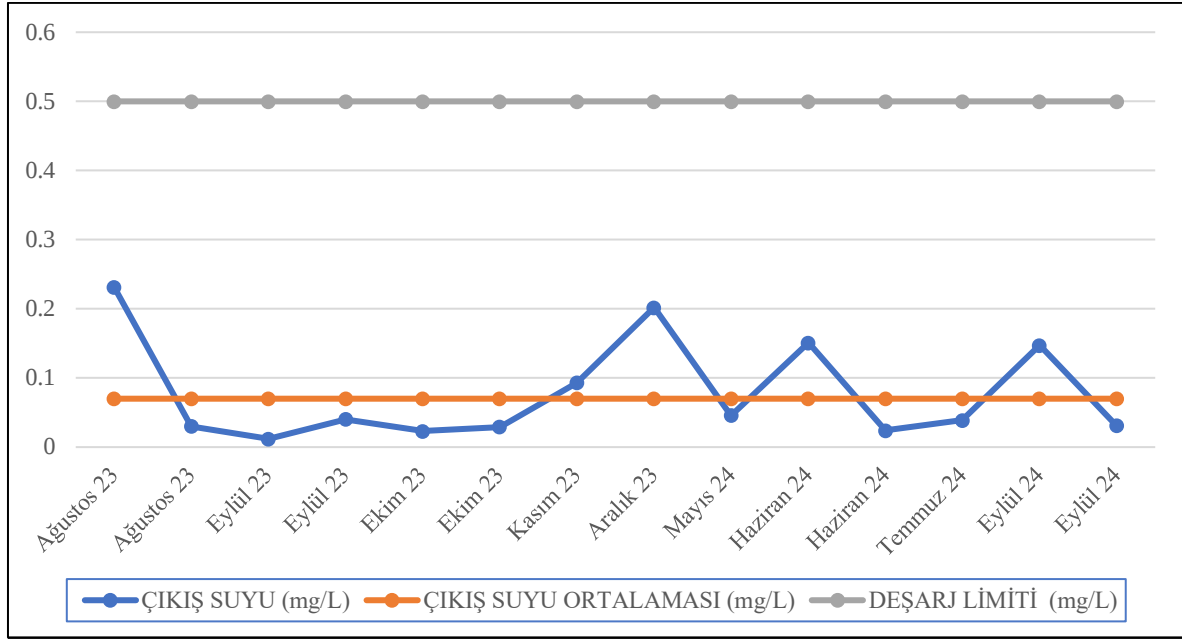
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen amonyum değerleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen amonyum değeri

Şekil 4.8 incelendiğinde, giriş suyunda yapılan analizlerde amonyum değerlerinin ortalaması 0,59 mg/L olarak ölçüldüğü görülmektedir. En yüksek amonyum değerinin olduğu ay Eylül 2023'te 1,6 mg/L, en düşük olduğu ay ise Haziran 2024'te 0,07 mg/L olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.9'da tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen amonyum değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.9. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen amonyum değeri

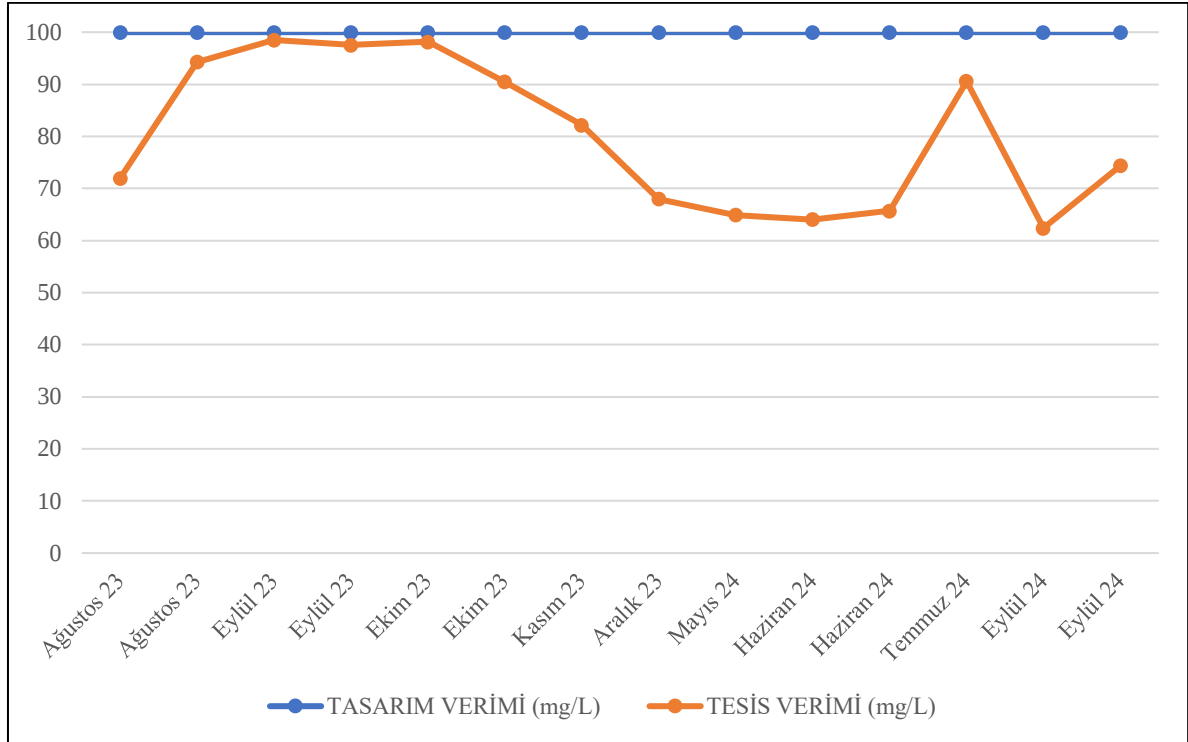
Şekil 4.9’da gösterilen atıksu arıtma tesisi çıkış suyu amonyum değerlerinde ise analiz edilen tarih aralığında ortalama olarak 0,07 mg/L değeri bulunmuştur. Bu değere göre tüm aylarda deşarj standardı olan 0,5 mg/L değerinin altında kalmıştır. Çizelge 4.3. ile Şekil 4.10’da ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.3. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen amonyum değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	AMONYUM		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	0,824	0,231	71,97
23 Ağustos 2023	0,525	0,030	94,29
9 Eylül 2023	0,800	0,012	98,50
23 Eylül 2023	1,600	0,040	97,50
9 Ekim 2023	1,250	0,023	98,16
25 Ekim 2023	0,305	0,029	90,49
16 Kasım 2023	0,522	0,093	82,18
14 Aralık 2023	0,631	0,202	67,99
8 Mayıs 2024	0,131	0,046	64,89
3 Haziran 2024	0,420	0,151	64,05

Çizelge 4.3. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen amonyum değeri verim oranları

21 Haziran 2024	0,070	0,024	65,71
24 Temmuz 2024	0,413	0,039	90,56
17 Eylül 2024	0,391	0,147	62,40
30 Eylül 2024	0,121	0,031	74,38
ORTALAMA	0,570	0,078	79,80

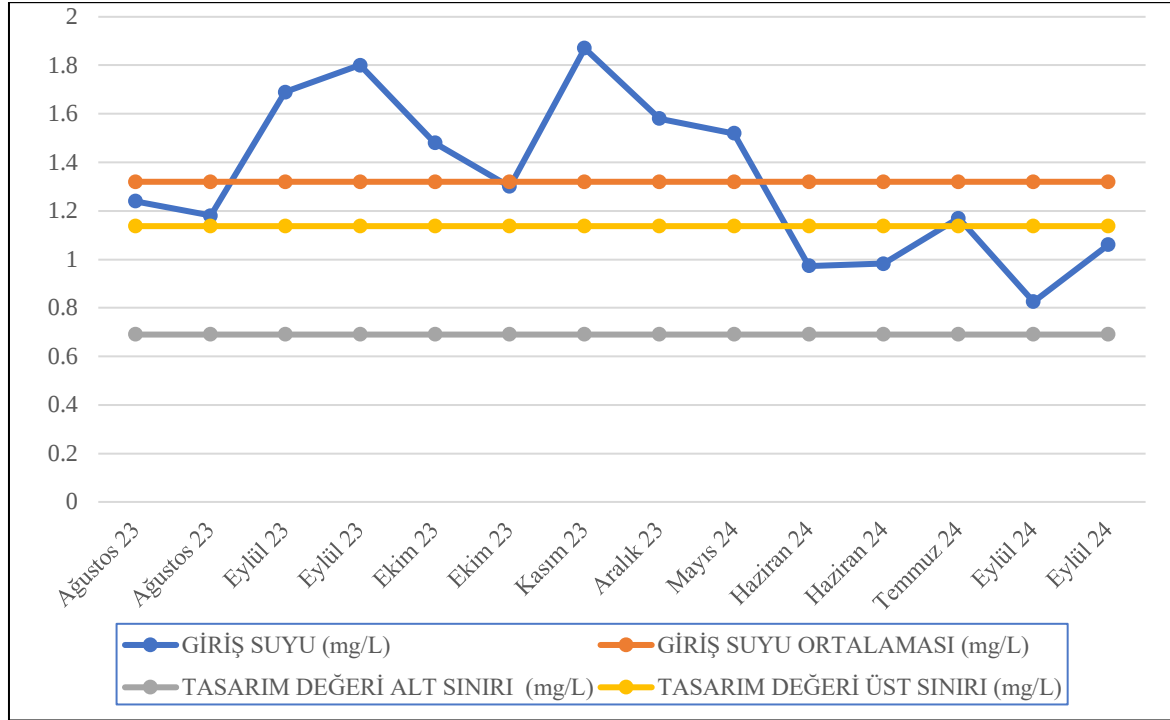


Şekil 4.10. Atıksu arıtma tesisi amonyum parametresinin verim karşılaştırması

Çizelge 4.3'te tesisin en düşük verimle çalıştığı tarih 3 Haziran 2024'te %64,05 olarak gözlemlenmiştir. En yüksek verim ise 9 Eylül 2023 tarihinde alınan analizde %98,50 olarak ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 4.10'de görüldüğü üzere tasarım verimi %100 belirlenmesine rağmen, Eylül-Ekim 2023 tarihindeki ölçümler dışında diğer tüm aylarda belirlenen tesis verimine yaklaşılamamıştır.

Bor

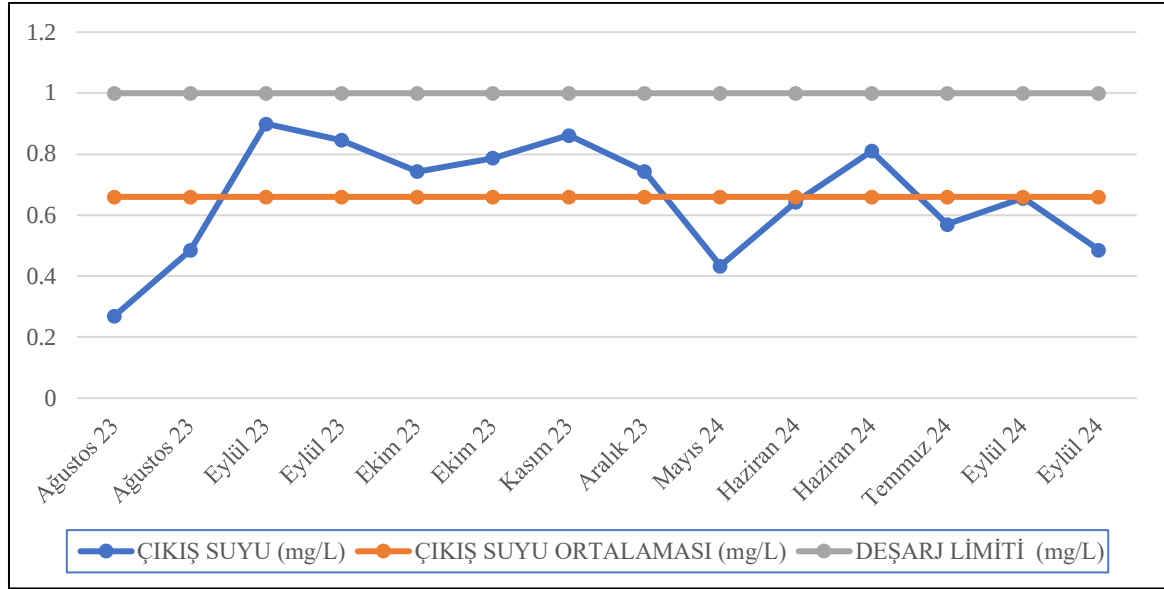
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen bor değerleri Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen bor değeri

Bor parametresinde Şekil 4.11’de belirtildiği üzere Eylül 2023’te 1,8 mg/L ve Kasım 2023’te 1,87 mg/L olarak en yüksek giriş suyu ölçümleri saptanmıştır. En düşük giriş suyu ölçümü ise Eylül 2024’te 0,825 mg/L olarak görülmüştür. Giriş suyu analiz sonuçları ortalaması ise tasarım değeri üst sınırı olan 1,137 mg/L değerinden yüksek ölçülerek 1,32 mg/L olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 4.12’de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen bor değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.12. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen bor değeri

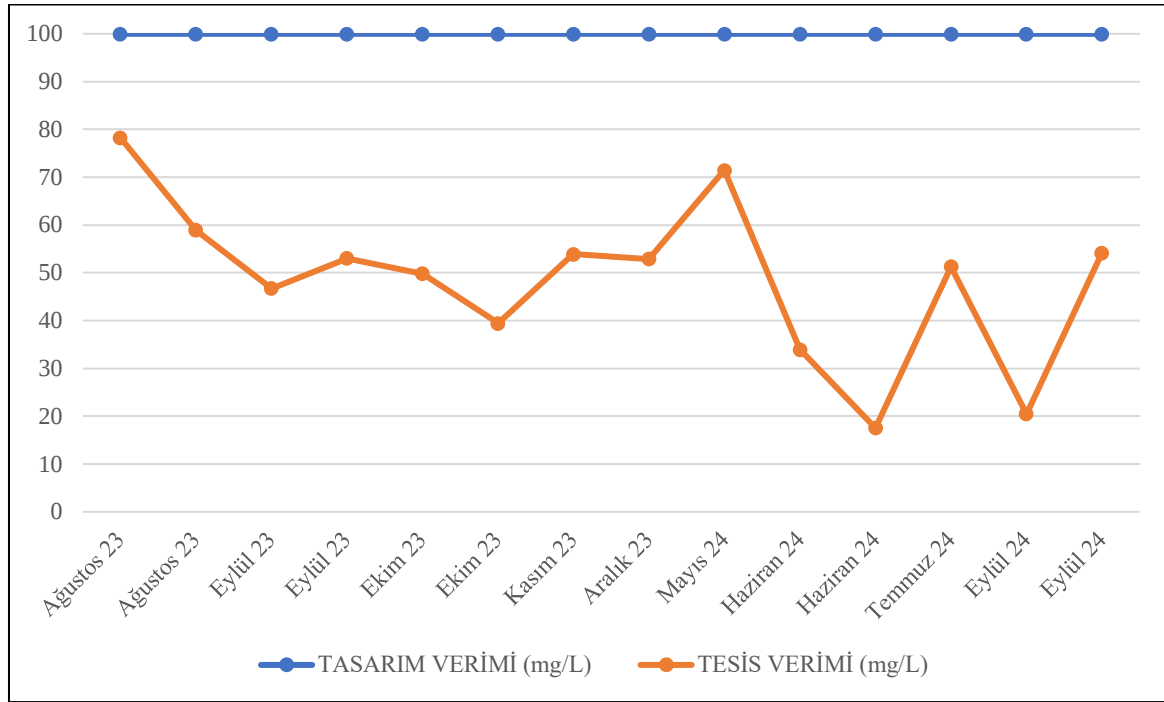
Çıkış suyunda ise Şekil 4.12’de görüleceği üzere Ağustos 2023 tarihinde 0,27 mg/L ile en düşük değer oluşmuştur. Çıkış suyu ortalaması ise 0,66 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu değer ile deşarj limiti olan 1 mg/L değeri ölçüm yapılan tüm aylarda sağlanmıştır. Çizelge 4.4. ile Şekil 4.13’de ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.4. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen bor değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	BOR		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	1,240	0,270	78,23
23 Ağustos 2023	1,180	0,484	58,90
9 Eylül 2023	1,690	0,900	46,75
23 Eylül 2023	1,800	0,846	53,00
9 Ekim 2023	1,480	0,743	49,80
25 Ekim 2023	1,300	0,787	39,46
16 Kasım 2023	1,870	0,862	53,90
14 Aralık 2023	1,580	0,744	52,91
8 Mayıs 2024	1,520	0,434	71,45
3 Haziran 2024	0,973	0,643	33,92

Çizelge 4.4. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen bor değeri verim oranları

21 Haziran 2024	0,982	0,810	17,52
24 Temmuz 2024	1,170	0,570	51,28
17 Eylül 2024	0,825	0,656	20,48
30 Eylül 2024	1,060	0,486	54,15
ORTALAMA	1,320	0,660	48,69

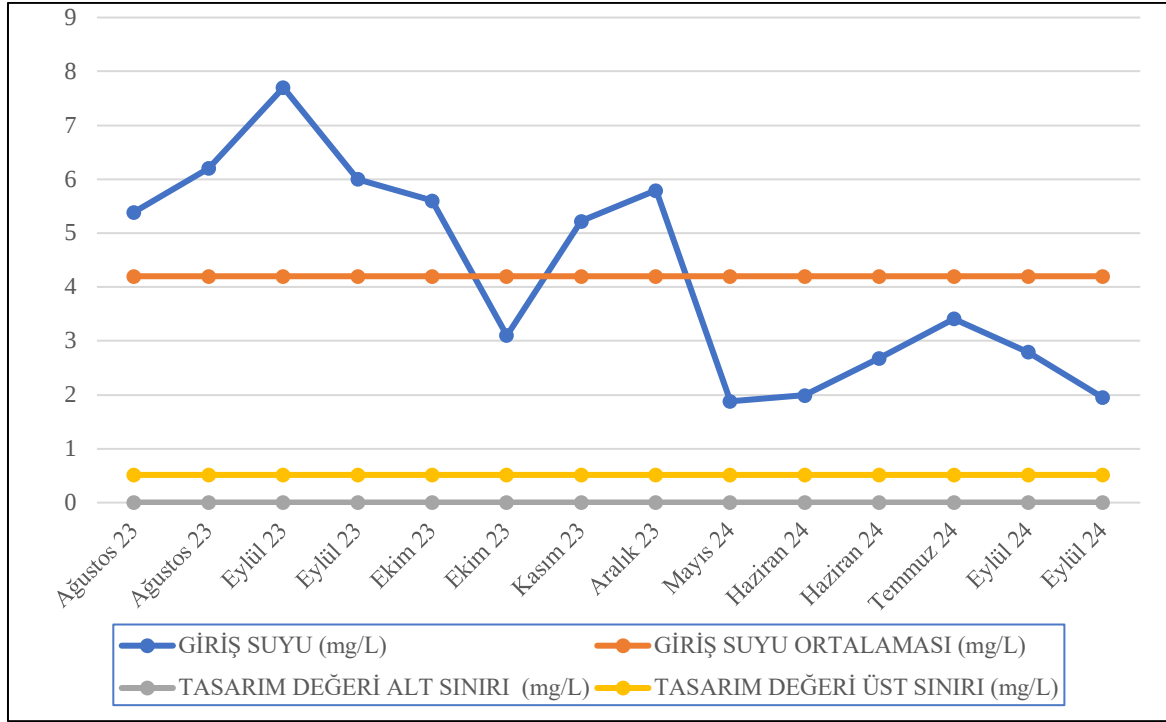


Şekil 4.13. Atıksu arıtma tesisi bor parametresinin verim karşılaştırması

Tesis veriminde ise çizelge 4.4’de belirtildiği üzere Ağustos 2023’te %78,23 ile en yüksek tesis çalışma verimi ölçülmüştür. En düşük verim ise 21 Haziran 2024’te %17,52 olarak görülmüştür. Verim çok düşük çıkmasına rağmen ölçüm yapılan tüm aylarda deşarj limiti sağlandığı gözlemlenmiştir.

Demir

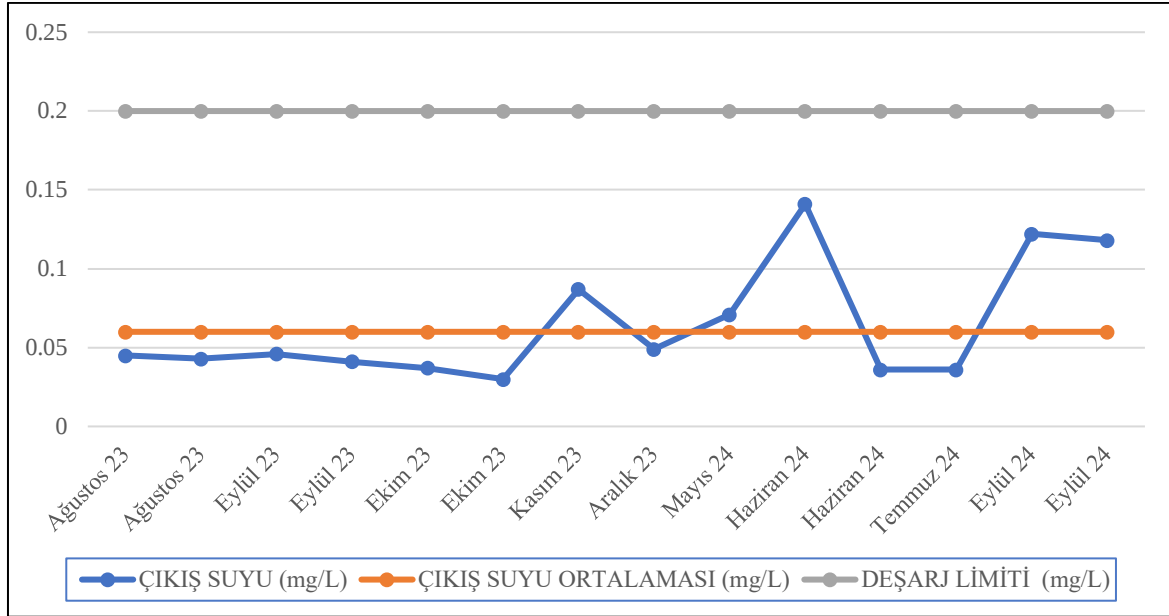
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen demir değerleri Şekil 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen demir değeri

Şekil 4.14 incelendiğinde, demir konsantrasyonunun en yüksek olduğu ay Eylül 2023'te 7,7 mg/L, en düşük olduğu ay ise Mayıs 2024'te 1,88 mg/L olarak ölçülmüştür. Analiz edilen aylarda giriş suyu demir konsantrasyonu ortalaması 4,2 mg/L olarak gözlenmiştir. Bu değer tasarım değeri üst sınırı olan 0,514 mg/L'nin çok üstündedir.

Şekil 4.15'de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen demir değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.15. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen demir değeri

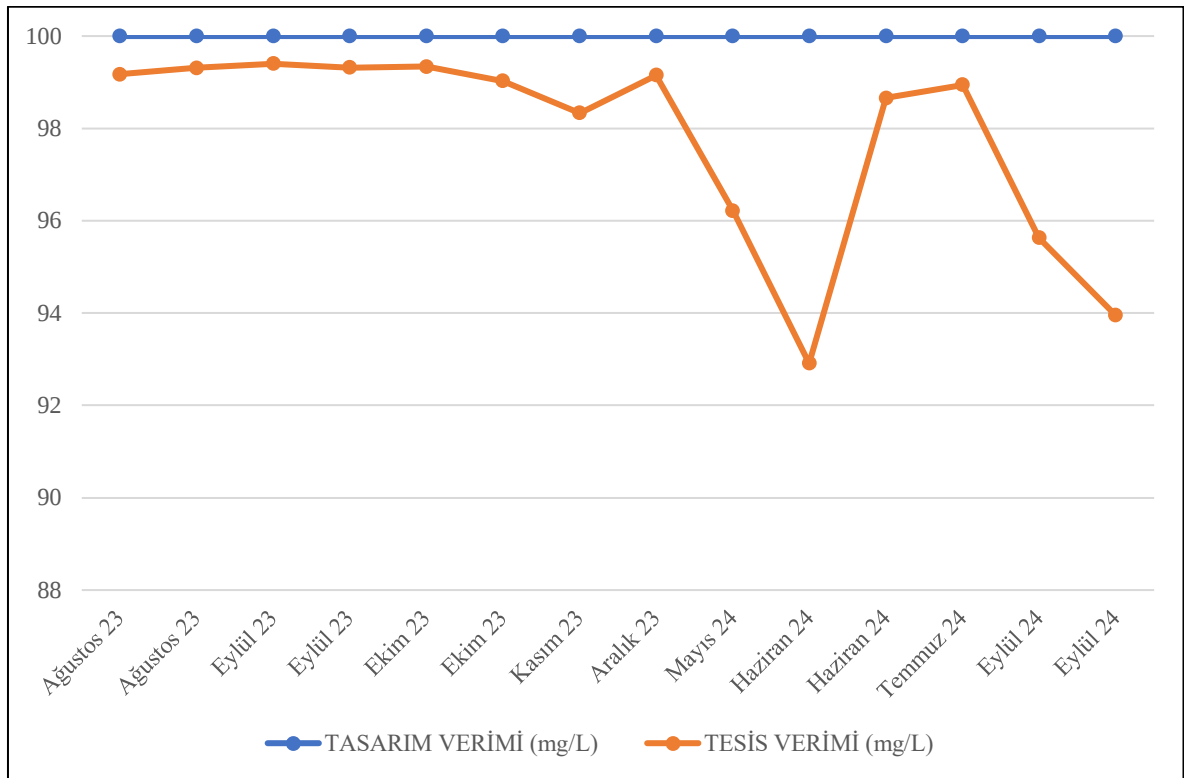
Şekil 4.15’de gösterildiği üzere demir kirliliği için deşarj limiti 0,2 mg/L’dir. Atıksu arıtma tesisinde analiz yapılan aylarda çıkış suyunda ortalama olarak 0,06 mg/L demir kirliliği ölçülmüştür. Bu anlamda tesis deşarj limitlerini sağlamıştır. Ayrıca çıkış suyunda gözlenen en yüksek demir konsantrasyonu Haziran 2024’te 0,141 mg/L, en düşük demir konsantrasyonu ise Ekim 2023’ta 0,03 mg/L olarak gözlemlenmiştir. Çizelge 4.5. ile Şekil 4.16’da ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.5. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen demir değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	DEMİR		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	5,390	0,045	99,17
23 Ağustos 2023	6,200	0,043	99,31
9 Eylül 2023	7,700	0,046	99,40
23 Eylül 2023	6,000	0,041	99,32
9 Ekim 2023	5,600	0,037	99,34
25 Ekim 2023	3,100	0,030	99,03
16 Kasım 2023	5,220	0,087	98,33

Çizelge 4.5. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen demir değeri verim oranları

14 Aralık 2023	5,790	0,049	99,15
8 Mayıs 2024	1,880	0,071	96,22
3 Haziran 2024	1,990	0,141	92,91
21 Haziran 2024	2,680	0,036	98,66
24 Temmuz 2024	3,410	0,036	98,94
17 Eylül 2024	2,794	0,122	95,63
30 Eylül 2024	1,950	0,118	93,95
ORTALAMA	4,200	0,064	97,81

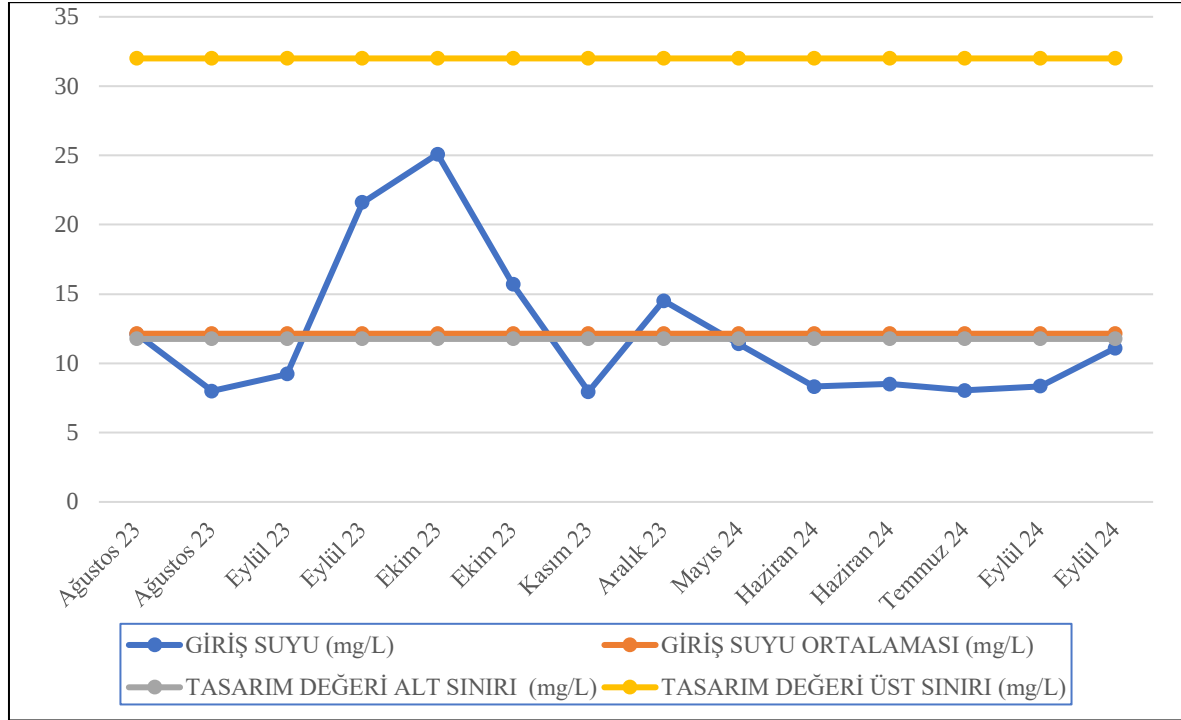


Şekil 4.16. Atıksu arıtma tesisi demir parametresinin verim karşılaştırması

Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere demir parametresinde tesis verimi ortalama %97,81 olmuştur. Tesis tasarlanırken ise çalışma veriminin %100 olacağı öngörülmüştür. Şekil 4.16’da görüleceği üzere genel olarak tesis tasarım verimine yakın düzeyde verim elde edilmiştir. Buna rağmen Haziran 2024’te %92,91 ve Eylül 2024’te %93,95 olarak ölçülen verimler ise düşük olarak değerlendirilebilir.

Nitrat

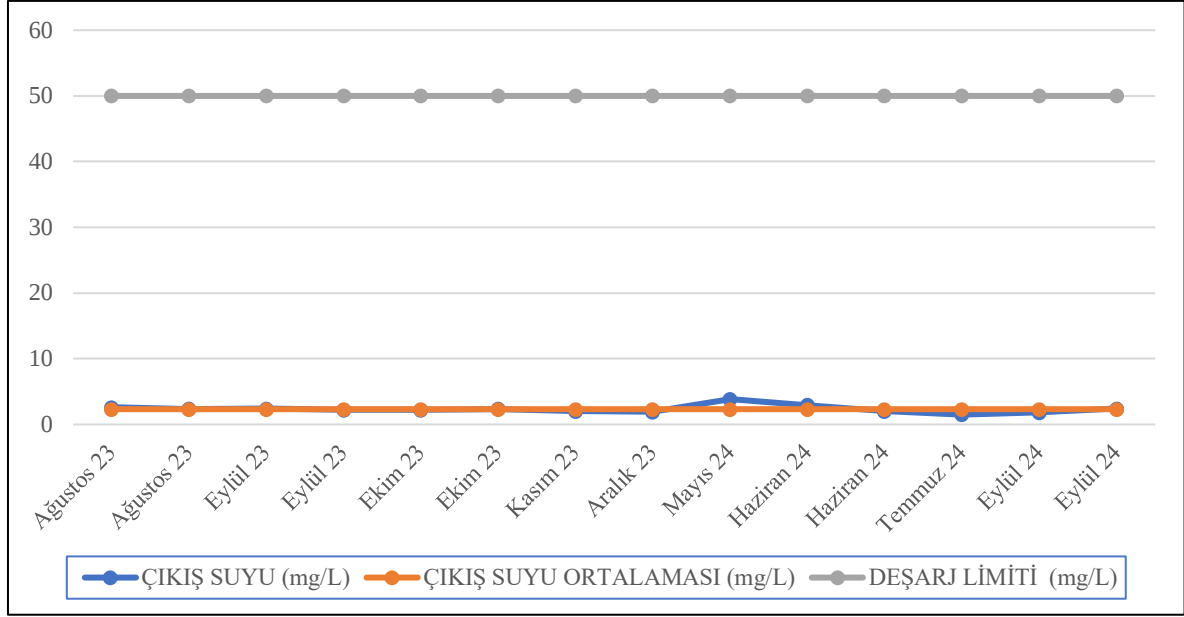
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen nitrat değerleri Şekil 4.17’de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen nitrat değeri

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere, nitrat parametresinde ölçülen en yüksek giriş suyu değerinin Ekim 2023’te 25,1 mg/L olduğu saptanmıştır. Giriş suyu ortalaması olarak ise 12,135 mg/L ölçülmüştür. Bu değerle birlikte ortalamanın tasarımı kabulü alt sınırı olan 11,76 mg/L değerine yakın olduğu söylenebilir.

Şekil 4.18’de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen nitrat değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.18. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen nitrat değeri

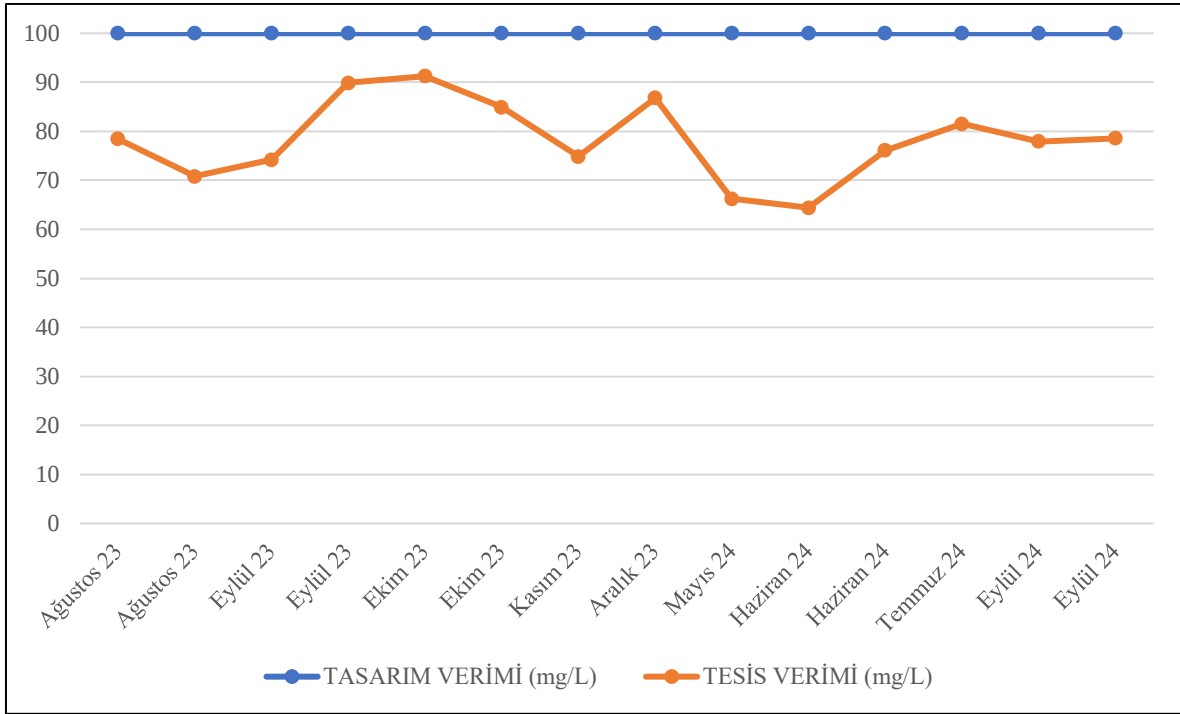
Şekil 4.18’de görüldüğü üzere çıkış suyu ortalamasının 2,32 mg/L olduğu söylenebilir. Bu anlamda ölçülen ortalama çıkış suyu değeri, deşarj limiti olan 50 mg/L’nin çok altında kalmıştır. Çizelge 4.6. ile Şekil 4.19’da ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.6. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrat değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	NİTRAT		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	12,10	2,610	78,43
23 Ağustos 2023	7,990	2,330	70,84
9 Eylül 2023	9,220	2,380	74,19
23 Eylül 2023	21,60	2,190	89,86
9 Ekim 2023	25,10	2,200	91,24
25 Ekim 2023	15,70	2,370	84,90
16 Kasım 2023	7,960	2,000	74,87
14 Aralık 2023	14,50	1,910	86,83
8 Mayıs 2024	11,40	3,850	66,23
3 Haziran 2024	8,320	2,960	64,42
21 Haziran 2024	8,500	2,030	76,12

Çizelge 4.6. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrat değeri verim oranları

24 Temmuz 2024	8,050	1,490	81,49
17 Eylül 2024	8,350	1,840	77,96
30 Eylül 2024	11,10	2,380	78,56
ORTALAMA	12,13	2,320	78,28

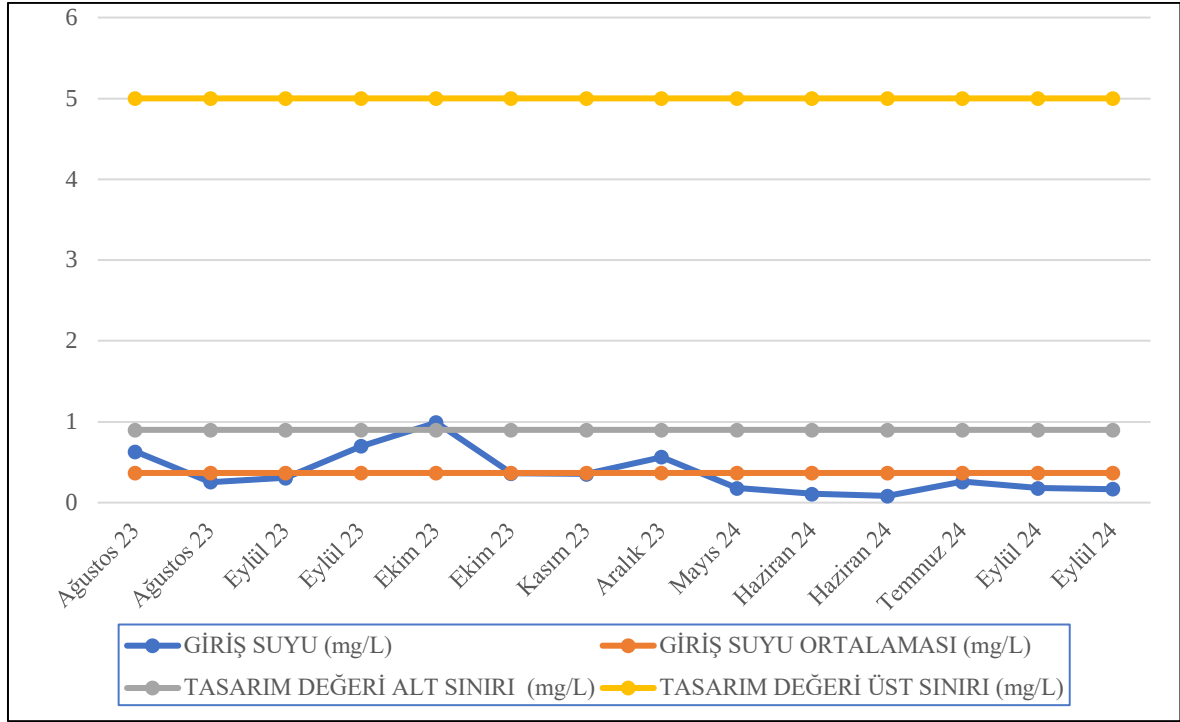


Şekil 4.19. Atıksu arıtma tesisi nitrat parametresinin verim karşılaştırması

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere analiz yapılan tarihlerde nitrat parametresi için en düşük verim 3 Haziran 2024’te %64,42, en yüksek verim ise 9 Ekim 2023’ %91,23 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.19’da ise %100 verimle çalışması planlanan tesiste analiz tarihleri sürecinde bu hedefin altında kaldığı gözlemlenmiştir.

Nitrit

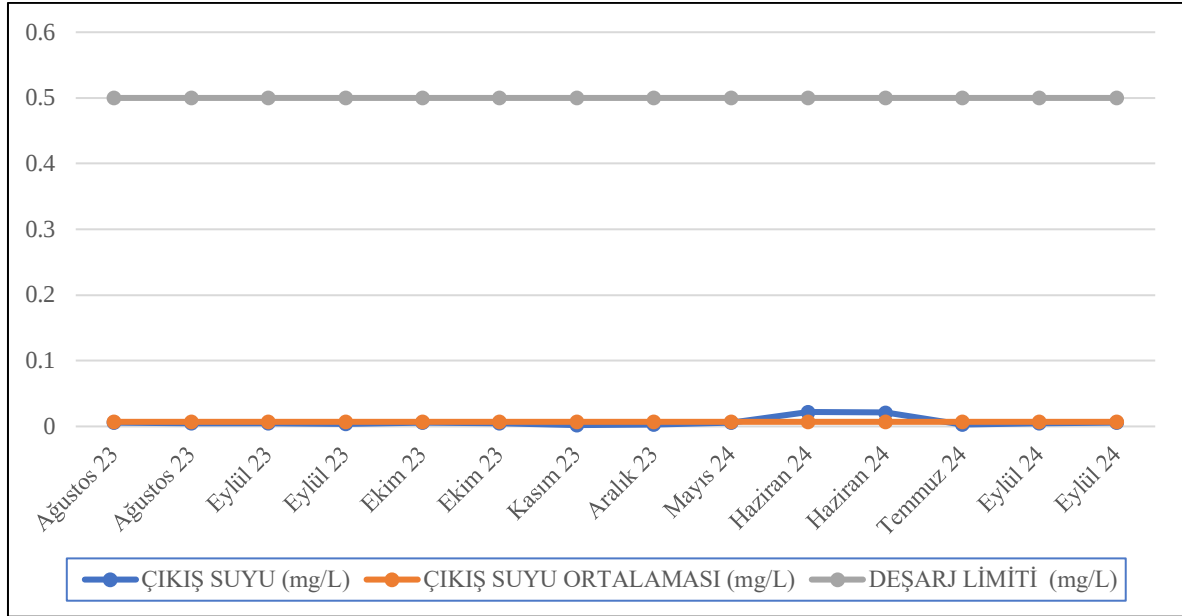
Bahse konu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis girişinden alınan numunelerden elde edilen nitrit değerleri Şekil 4.20’de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Atıksu arıtma tesisi girişinde ölçülen nitrit değeri

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere atıksu arıtma tesisi giriş suyunda ölçülen ortalama değer 0,367 mg/L olarak saptanmıştır. Nitrit değerinde ölçülen giriş suyu değerlerinin tamamına yakınında tasarım parametresi alt sınırının altında olduğu saptanmıştır. Yalnızca Ekim 2023’te 0,99 mg/L olarak ölçülen değer ile tasarım değeri alt sınırının üstüne çıktığı görülmüştür.

Şekil 4.21’de tez konusu atıksu arıtma tesisinin 2023 yılı Ağustos ayından 2024 yılı Eylül ayına kadar tesis çıkışından alınan numunelerden elde edilen nitrit değerleri ve deşarj limiti verilmektedir.



Şekil 4.21. Atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen nitrit değeri

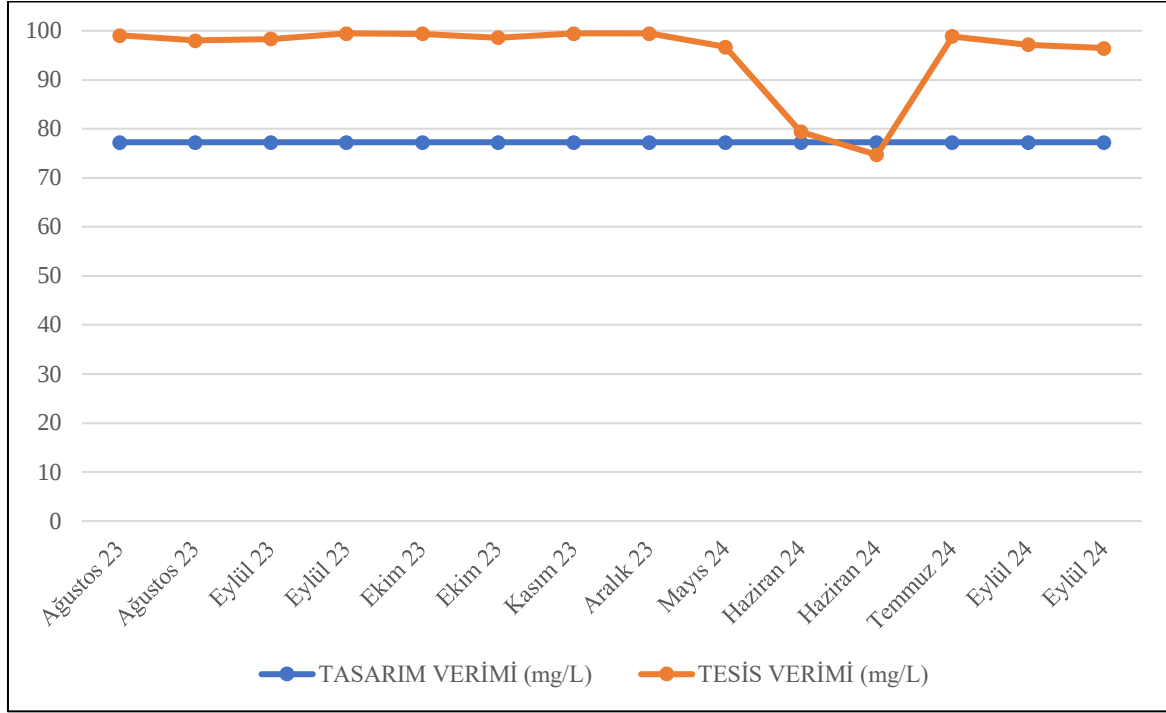
Şekil 4.21’de görüldüğü üzere çıkış suyu ortalamasının 0,007 mg/L olduğu söylenebilir. Bu anlamda ölçülen ortalama çıkış suyu değeri, deşarj limiti olan 0,5 mg/L’nin çok altında kalmıştır. Çizelge 4.7. ile Şekil 4.22’de ise tesis tasarım verimi ve analiz tarihlerindeki güncel tesis veriminden bahsedilmektedir.

Çizelge 4.7. Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrit değeri verim oranları

ANALİZ TARİHLERİ	NİTRİT		ARITMA VERİMİ
	Giriş Suyu (mg/L)	Çıkış Suyu (mg/L)	
9 Ağustos 2023	0,632	0,006	99,05
23 Ağustos 2023	0,256	0,005	98,05
9 Eylül 2023	0,306	0,005	98,37
23 Eylül 2023	0,697	0,004	99,43
9 Ekim 2023	0,990	0,006	99,39
25 Ekim 2023	0,363	0,005	98,62
16 Kasım 2023	0,354	0,002	99,44
14 Aralık 2023	0,564	0,003	99,47
8 Mayıs 2024	0,181	0,006	96,69
3 Haziran 2024	0,107	0,022	79,44

Çizelge 4.7. (devam) Atıksu arıtma tesisinde ölçülen nitrit değeri verim oranları

21 Haziran 2024	0,083	0,021	74,70
24 Temmuz 2024	0,259	0,003	98,84
17 Eylül 2024	0,178	0,005	97,19
30 Eylül 2024	0,169	0,006	96,45
ORTALAMA	0,367	0,007	95,36



Şekil 4.22. Atıksu arıtma tesisi nitrit parametresinin verim karşılaştırması

Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere analiz yapılan tarihlerde nitrit parametresi için en düşük verim 21 Haziran 2024’te %74,70, en yüksek verim ise 16 Kasım 2023’ %99,44 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.22’de ise tesis tasarım veriminin %77,27 olacağı öngörülmüştür. Buna göre Şekil 4.22’de gösterildiği üzere tesis 21 Haziran 2024 tarihindeki analiz sonucu dışında tasarım veriminden yüksek verimle çalışmıştır.

AKM – pH – Bulanıklık

Çizelge 4.8’de gösterildiği üzere atıksu arıtma tesisinde ölçülen analiz sonuçlarına göre çıkış suyunda 0 mg/L AKM, 7,74-6,5 aralığında pH ve 1<NTU değerinde bulanıklık değerleri oluşmuştur. Buna göre gelen suyun içerebileceği çamur yükünden dolayı yüksek seviyelerde

AKM içermesi ve bulanık olması muhtemel gözükmemektedir. Oluşan sonuçlar atıksu arıtma tesisinde AKM ve bulanıklık konusunda herhangi bir sorun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.8. Atıksu arıtma tesisindeki AKM-pH-Bulanıklık analizleri

ANALİZ TARİHLERİ	AKM (mg/L)		PH		BULANIKLIK (NTU)	
	GİRİŞ SUYU	ÇIKIŞ SUYU	GİRİŞ SUYU	ÇIKIŞ SUYU	GİRİŞ SUYU	ÇIKIŞ SUYU
9 Ağustos 2023	1393	0	8,1	7,74	1006	0,86
23 Ağustos 2023	757	0	8,1	6,86	1053	1,19
9 Eylül 2023	1220	0	7,98	6,97	1360	0,65
23 Eylül 2023	2030	0	8,37	6,84	950	0,33
9 Ekim 2023	1750	0	8,48	6,80	880	0,29
25 Ekim 2023	622	0	8,07	6,63	756	0,25
16 Kasım 2023	1058	0	8,19	6,59	906	0,46
14 Aralık 2023	1130	0	7,85	6,88	934	0,45
8 Mayıs 2024	502	0	8,16	6,91	569	0,48
3 Haziran 2024	207	0	8,2	6,92	198	0,59
21 Haziran 2024	160	0	8,09	6,5	153	0,48
24 Temmuz 2024	748	0	8,28	6,55	873	0,70
17 Eylül 2024	159	0	8,47	6,78	165	0,51
30 Eylül 2024	265	0	8,32	6,69	248	0,38
ORTALAMA	857	0	8,19	6,83	717	0,54

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda küresel ısınma ve su kıtlığı konusunda yaşanan endişeler sebebiyle kullanılmış suların yeniden değerlendirilmesi daha da önemli hale gelmiştir. Bu noktada atıksu arıtma tesislerinin öneminin görüldüğü ve endüstriyel tesisler için atıksuyun kendi iç tüketiminde yeniden değerlendirilmesi hususu değerlendirilmelidir.

Xevgenos ve arkadaşları (2024) döngüsel su ekonomisi hakkında yaptıkları çalışmada Polonya’da faaliyet gösteren iki kömür madeninin su çıkış parametrelerini incelemişlerdir. Bu kapsamda yeni uygulayıcılar için kanıt ve rehberlik eksikliğinin olması su geri kazanımını zorlaştırdığı saptanmıştır. Son olarak çalışmada döngüsel su ekonomisinin kömür madenciliği bölgelerinde fırsatlar sunabileceği ve atıksu geri kazanımına fayda sağlayacağından bahsedilmiştir [38].

Rajbngshi ve Gogoi (2023) yaptıkları çalışmayla Petrol Sahasında Üretilen Suların oluşturduğu kirlilik parametrelerini açıklamışlardır. Petrol sahalarında üretilen atıksuların fizikokimyasal parametrelerinin minimum ve maksimum değerlerini analiz etmişlerdir. Çalışma sonuçları, iletkenlik 838-1469 uS/cm, pH 5,18-8,9, demir 0,1-0,5 mg/L ve nitrat 1-2 mg/L şeklindedir [8].

Saatçi (2019) yaptığı çalışmada Nahçıvan’da faaliyet gösteren atıksu arıtma tesisini incelemiştir. Tesise giren ham su analiz sonuçlarına göre askıda katı madde değerinin ortalama 115,87 mg/L olarak ölçülmüştür [11].

Boda ve Chaumien (2009) yaptıkları çalışmada artan temiz su talebi nedeniyle belediyelerin atıksularının geri kazanımı için Membran teknolojilerini kullanması gerektiğini ancak Membran sistemlerinin yüksek enerji tüketimi nedeniyle zorluklar yaşandığından bahsedilmektedir. Ayrıca çalışmada ters ozmos sistemiyle çalışan California Orange Country Water District tesisinin incelenmiştir. Ham su analizlerinde ortaya çıkan çalışma sonuçları, pH 7,6, sülfat 254 mg/L, nitrat 4 mg/L, demir 0,22 mg/L olarak saptanmıştır [43].

Minier-Matar ve arkadaşları (2024) yaptıkları çalışmada bir kaya gazı üretim tesisinin ürettiği atıksuların analizlerini yaparak ters ozmos sisteminin performansını

örneklendirmeye odaklanmışlardır. Yapılan analizlerde ters ozmos sistemine giren ham su değerleri ölçülmüştür. Analiz sonuçları, pH 7,6, iletkenlik 2051 uS/cm, bulanıklık <1 NTU, nitrat 77,5 mg/L, sülfat 719 mg/L olarak saptanmıştır [44].

Sanchis-Carbonell ve arkadaşları (2024) yaptıkları çalışmada tuzlu su ve yüzey-yer altı sularının nitrattan arındırılması ile ilgili sorunları ele almışlardır. Analiz sonucunda ham suda 1500 mg/L nitrat içerdiği saptanmıştır. Ters ozmos yöntemiyle arıtılan atıksular da %60 verimle nitrat giderimi olduğu görülmüştür [29].

Mesfun ve Derib (2024) Etiyopya, Tigray’da bulunan arıtma tesisinin kum filtresi sistemine odaklanarak tesisin performansını değerlendirmiştir. Tesise giren ham su parametreleri incelendiğinde 62,5 NTU bulanıklığa, 107,5 uS/cm iletkenliğe ve 0,53 mg/L demir değerinin ölçüldüğü saptanmıştır. Buna göre tesisin sorunları arasında kum filtresinin tıkanması, boruların tasarım hataları, yetersiz izleme ve takip sistemi olduğuna değinilmiştir [13].

İncelenen çalışmalar neticesinde; Tez konusu atıksu arıtma tesisinde oluşan iletkenlik, bulanıklık ve AKM parametrelerinin incelenen çalışmalara kıyasla çok yüksek seviyelerde olduğu ve bu nedenle giriş suyunun yoğun askıda katı madde ve çamur içerdiğine, çalışma konusu atıksu arıtma tesisinde oluşan nitrit ve nitrat değerlerinin incelenen çalışmalara kıyasla çok düşük seviyelerde olduğu ve bu doğrultuda tez konusu tesisin giriş suyunda düşük yoğunluklu biyolojik yük bulunduğu, madencilik sektöründe atıksu arıtımının ve iç tüketimde atıksuların yeniden kullanılmasının önem arz ettiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bu çalışma ile TKİ/GLİ Yer Altı ve Kuyu Suyu Arıtma Tesisi incelenmiş olup 1 yıllık analiz sonuçları ile verim karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca proje tasarım kabulleri ile anlık tesis çalışması kıyaslanmıştır.

Tesis ile ilgili olarak ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Analiz sonuçlarına göre iletkenlik parametresi açısından tesis tasarım veriminin %65,3 belirlenmesine rağmen analiz tarihlerinde tesis %98 arıtma verimi ile arıtım yaptığı saptanmıştır. Bu anlamda tesisin iletkenlik kirliliği konusunda yüksek verimle çalıştığı söylenebilir. Ayrıca analiz tarihleri arasında tesis deşarj limitleri sağlandığı görülmüştür.

2. Analiz sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisine giren suda ölçülen sülfat değeri ortalamasının tasarım değeri alt sınırının altında olduğu saptanmıştır. Bu anlamda tasarımda yapılan kabullerin analiz edilen dönemde ki değerden yüksek olduğu görülmüştür. Tesis tasarım verimi olarak belirlenen %97 değerine yakın bir verimle çalıştığı gözlemlenmiştir. Sülfat parametresinde ortalama %94,29 verimle deşarj limitleri sağlandığı görülmüştür.
3. Amonyum parametresi için yapılan ölçümlerde atıksu arıtma tesisine giriş suyunda ölçülen değer tasarım parametresi alt sınırından düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Analiz yapılan tarihlerde ölçülen sonuçlara göre, tesiste seçilen malzemelerin arıtma sürecinde yeterli olacağı söylenebilir. Ayrıca amonyum parametresi için deşarj limitlerinin sağlandığı görülmüştür.
4. Analiz sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisine giren suda ölçülen bor değeri ortalamasının tasarım değeri üst sınırından yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum analiz yapılan tarihlerde tesis arıtma kapasitesinin yetersiz kalma ihtimalini oluşturmuştur. Ayrıca bölge genelinde görülen bor madeni yoğunluğunun düşük verime etki ettiği söylenebilir. Bu duruma göre çıkış suyu tasarım değeri ve deşarj limitlerine uygun şekilde arıtım sağlandığı saptanmıştır.
5. Analiz sonuçlarına göre atıksu arıtma tesisine giren suda ölçülen demir değeri tasarım değeri üst sınırının çok üstünde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tasarımda üst sınırın düşük olduğu ve kullanılan malzemelerin yetersiz kalma ihtimali bulunduğunu ortaya koymaktadır. Buna ek olarak ortalama %97,81 verimle arıtılan demir değeri için deşarj standartları sağlanmıştır.
6. Atıksu arıtma tesisinde yapılan analiz sonuçlarına göre nitrat parametresi için seçilen giriş suyu tasarım parametreleri ile analiz edilen tarihlerdeki ölçülen değerlerin örtüştüğü gözlemlenmiştir. Ortalama %78,28 arıtma verimi ile arıtılan nitrat değeri için tesiste herhangi bir sorun bulunmadığı ve deşarj limitlerinin sağlandığı saptanmıştır.
7. Nitrit değeri için tesis girişinde yapılan analiz sonuçlarına göre anlık oluşan değerler tasarım alt sınırının altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum seçilen malzemelerin kapasitelerinin analiz tarihleri arasındaki dönemde ölçülen nitrit arıtımında yeterli olacağını göstermektedir. Gözlemlenen parametreler arasında yalnızca nitrit değerinde tesis arıtma veriminin tasarım arıtma veriminden yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca nitrat ve nitrit değerinin düşük olması tesiste biyolojik kirliliğinin az olduğuna kanıt olarak gösterilebilir. Bu sebeple tesiste koku problemi bulunmadığı saptanmıştır.

8. AKM ve bulanıklık parametrelerinde giriş suyu değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise yapılan faaliyetin çok fazla toprak ve kayaç içermesidir. Oluşan atıksu bu kayaç ve topraklar sebebiyle yüksek oranda katı madde içermektedir. Buna rağmen tesiste yüksek oranda arıtım sağlanarak çıkış suyunda 0 mg/L AKM ve ortalama 0,54 NTU bulanıklık değerlerine ulaşılmıştır.

Yapılan literatür taraması ve incelenen parametreler neticesinde, tez konusu atıksu arıtma tesisinin farklılıkları; Tesisin kömür işletmesi bünyesinde faaliyet gösteriyor olması, arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan ızgaraların bahse konu tesiste bulunmaması, biyolojik atığın az olması sebebiyle koku probleminin bulunmaması ve ters ozmos kullanılması olarak gösterilebilir. Bu anlamda yapılan çalışma madencilik faaliyetlerinde atıksu geri kazanımı konusunda rehber ve kanıt niteliğinde değerlendirilebilir.

Tüm bu sonuçlar neticesinde, tez konusu atıksu arıtma tesisinde incelenen tüm parametreler için deşarj standartlarının sağlandığı ve yüksek verimle çalıştığı saptanmıştır. Buna ek olarak analiz edilen tarihlerde amonyum, bor, demir ve nitrat parametreleri için tasarım veriminin altında kalındığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sülfat, iletkenlik ve nitrit parametrelerinde analiz edilen dönemdeki tesis verimi tasarım veriminden yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Sönmez, G., Işık, M. (2020). Kömür Yanma Atıklarının Çevresel Etkileri ve Kullanım Alanları. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 72-83.
2. International Energy Agency. (2024). Coal Mid-Year Update (coal information). IEA. 10.
3. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (2021). Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi 2021-2025, 7-21.
4. Yüksekdağ, M., Gökpınar, S., Yelmen, B. (2020). Atıksu arıtma tesislerinde arıtma çamurları ve bertaraf uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 895-904.
5. Nas, B., Yılmaz, C. (2019). Arıtılmış evsel/kentsel atıksuların yeni bir su kaynağı olarak kullanımında faydalar ve riskler. *Su Vakfı İklim Değişikliği ve Çevre*, 4 (2), 42-44.
6. Eskikaya, O. (2018). *Kahramanmaraş merkez atıksu arıtma tesisi giriş atıksuyu karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
7. Temel, F. (2016). Endüstriyel atıksuların arıtımında yapay sulak alanların kullanımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 8(1), 213-226.
8. Rajbongshi, A., Gogoi, S. (2023). A Review on oilfield produced water and its treatment technologies. *Petroleum Research*, 9(4), 640-656.
9. Özün, S. (2020). Madencilikte atıksu yönetimi ve katı/sıvı ayrımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1278-1289.
10. National Research Council. (2004). *Review of the desalination and water purification technology roadmap*. (Birinci Baskı). Washington: The National Academies Press, 9.
11. Saatçı, A. (2019). *Atıksu arıtma tesisi için proje aşamasında öngörülen ve mevcut durumda sağlanan verimin sürekliliğinin karşılaştırılması: Azerbaycan Nahçıvan atıksu arıtma tesisi örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
12. Kavurucu, B., Ekmen, E., Yaman, Ö., Yazan, S.Y., Kanmaz, N., Ümit, Ü. (2022). Türkiye’de endüstriyel su tüketimi ve arıtımı. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 19-33.
13. Mesfun, N., Derib, S. (2024). Performance evaluation and factors influencing a drinking water treatment plant, Shire Indassilassie, Ethiopia. *Water-Energy Nexus*, 7, 235-242.
14. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2013). Atıksu arıtma tesisleri tasarım rehberi, 70-79.

15. İnternet: Çevre Mühendisleri için su kimyası ve kimyasal temel işlemler. (2018). URL: https://cevre.balikesir.edu.tr/wp-content/uploads/2018/11/2_%C3%87evre-Kimyas%C4%B1-Ders-Notlar%C4%B1-II_Bask%C4%B1-VPDF2018.pdf. Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.
16. İnternet: Erciyes Üniversitesi çevre kimyası laboratuvarı ders notları. (2012). URL: <https://cevre.erciyes.edu.tr/Dosya/MainContent/fa050441-3074-4b15-8e55-478e5ee545a7.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.
17. Sünal, S., Erşahin, S. (2012). Türkiye’de tarımsal kaynaklı yeraltı suyu nitrat kirliliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5 (2), 116-118.
18. Burkut, E. (2018). Suda amonyum, nitrit ve nitrat. *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*. 13(120), 20-22.
19. İnternet: Su, atıksu ve deniz suyunda amonyak ve amonyak azotu analizi. (2022). <https://www.aem.com.tr/su-atıksu-ve-deniz-suyunda-amonyak-ve-amonyakazotuanalizi/#:~:text=%C4%B0%C3%A7me%20ve%20kullanma%20suyund a%20amonyak,nitrit%20ve%20nitrate%20b%C4%B1rakmaya%20ba%C5%9Flar>. Son Erişim Tarihi: 30.12.2024.
20. Bayır, R., Karagüzel, C. (2022). Kömür yıkama tesisi şistlerinin asit maden drenajı potansiyelinin kolon testi ile belirlenmesi. *Journal of Scientific Reports-B*, 5, 1-10.
21. İnternet: Asit maden drenajı. URL: <https://www.mitto.com.tr/asit-kaya-drenaji-asit-maden-drenaji-2/>. Son Erişim Tarihi: 10.09.2024.
22. Boğaziçi Üniversitesi Soma Araştırma Grubu. (2015). Geliyorum diyen facia-Kömür madenciliğinin çevresel etkileri. İstanbul, 150-163.
23. Özyonar, F., Karagözoğlu, B. (2012). İçme sularından elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon ile bulanıklığın giderimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1(27), 81-89.
24. Tatar, Ş., Sağlam, M.N. (2020). Kızıltepe ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin KOİ, BOİ5 ve AKM yönünden işletme verimliliğinin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 265-269.
25. Seven, T., Can, B., Darende, B., Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
26. Urgan, E. (2020). *Bitlis İli ve çevresindeki kaynak sularının bazı mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis.
27. Coşkun, Ç., Pulatsü, S., Coşkun, T. (2018). Evsel atıksulardan azot ve fosforun biyolojik giderilme yöntemleri. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 53-54.

28. Okumuş, Y., Özgüven, A., Yönten, V. (2023). Van ili evsel atıksu arıtma tesislerindeki atıksu karakteristiğinin ve çıkış suyu kalitesinin değerlendirilmesi: Edremit ve Gevaş Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 482-494.
29. Carbonell, J., Ferrer, I., Fernandez, A., Pedro, M., Falco, P., Montiel, V. (2024). Towards a zero liquid discharge process from brine treatment: Water recovery, nitrate electrochemical elimination and potential valorization of hydrogen and salts. *Science of the Total Environment*, 926, 1-12.
30. Özyonar, F., Karagözoğlu, B. (2011). Mezbahane atıksularından KOI, yağ-gres ve bulanıklık giderimi üzerine bir çalışma: Kimyasal koagülasyon prosesiyle ön arıtımı. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 32 (1), 1-15.
31. Atalay, N., Bilici, M. (2013). İçme ve sulama sularında bor kirliliği ve bor giderme yöntemleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 78-84.
32. Deliboran, A. (2020). Neden Bor? Borun çevre ile insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından önemi. *Bahçe Dergisi*, 49(2), 127-141.
33. Öztemel, E., Düğenci, M. (2016). *Atıksu arıtma tesis kontrolde yapay sinir ağı ile kirlilik parametre tahmini*. İSEM2016 Sempozyumu, Antalya, 512-517.
34. Saraç, D., Ölmez, M. (2009). Su ürünleri için pH'nın önemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 353, 12-17.
35. Duranoğlu, D. (2012). Sulfate removal from wastewater by chemical precipitation method. *journal of engineering and natural sciences. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 30, 39-55.
36. İnternet: Suyun iletkenliği çok önemlidir. (2019). URL: <https://www.burkut.com.tr/suyun-iletkenligi-cok-onemlidir>. Son Erişim Tarihi: 31.12.2024
37. Demirel, H., Üstün, G.E. (2022). Kömür üretim tesisi atıksularının ileri arıtım prosesleri ile arıtılarak tekrar kullanılabilirliğinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 34, 463-468.
38. Xevgenos, D.,Panteleaki Turkodimitri, K., Mortou, B., Mitko K., Sapoutzi, B., Stroutza, D., Turek, C., Loosdrec, V. (2024). The concept of circular water value and its role in the design and implementation of circular desalination projects: The Case Of Coal Mines in Poland. *Desalination*, 579, 1-14.
39. Albayoğlu, G. (2016). *Şanlıurfa organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi kabul koşulları*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
40. Kömüre Dayalı Enerji Politikasının Su Etkisi. (2022). *Can Europe (Avrupa İklim Eylem Ağı)*, 1-14.

41. Şimşek, C. (2022). Açık Ocak Madenciliğinde Su Kaynaklarının Yönetimine Bağlı Sorunlar. *MT Bilimsel*, 11(22), 25-40.
42. Karan, Y.B., Ataklı, S.B. (2020). *Geleceğin dünyasında bilimsel ve mesleki çalışmalar 2020* (Birinci Baskı). Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım, 38.
43. Boda, R., Chaumien, E. (2009). Performance of high area spiral wound elements in wastewater reuse RO system. *Desalination and Water Treatment*, 6, 61-68.
44. Matar, J., Alshamari, E., Raja, M., Khan, F., Al-maas, M., Hussain, A., Adham, S. (2024). Detailed organic characterization of process water to evaluate reverse osmosis membrane fouling in industrial wastewater treatment. *Desalination*, 572, 1-15.
45. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2019). Kullanılmış suların yeniden kullanım uygulamalarına ilişkin rehber döküman, 451-505.
46. Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Su ve Atıksu İstatistikleri. *TUİK*.
47. İnternet: Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü kuruluş ve tarihçe. Web: <https://gli.tki.gov.tr/hakkimizda>. Son Erişim Tarihi: 10.09.2024.
48. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Kömür Sektör Raporu (Linyit), 40.
49. Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (2022). 2022 Yılı Çevre Faaliyetleri Raporu.
50. İnternet: Kütahya bölgesinde yıl boyu iklim ve hava durumu. URL: https://tr.weatherspark.com/y/95986/K%C3%BCtahya-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1l-Boyunca#google_vignette. Son Erişim Tarihi: 24.08.2024
51. İnternet: Coğrafya harita Türkiye il haritaları. URL: http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari3.html. Son Erişim Tarihi 10.09.2024
52. T.C. Kütahya Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2021). İl Afet Risk Azaltma Planı, 22.
53. İnternet: Su kirliliği kontrolü yönetmeliği. (2004). *Resmi Gazete (Sayı: 25687)*. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTer tip=5>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2024.
54. İnternet: İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. (2005). *Resmi Gazete (Sayı: 25730)*. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7510&MevzuatTur=7&MevzuatTer tip=5>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2024.



Gazili olmak ayrıcalıktır