



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TARIMSAL SULAMADA ARITILMIŞ KENTSEL
ATIKSUYUN KULLANILMASININ RİSK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Hatice Nur GÜREL

Danışman
Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**TARIMSAL SULAMADA ARITILMIŞ KENTSEL
ATIKSUYUN KULLANILMASININ RİSK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Hatice Nur GÜREL

Danışman

Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Hatice Nur GÜREL tarafından, **Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA** danışmanlığında hazırlanan “**TARIMSAL SULAMADA ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSUYUN KULLANILMASININ RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ** ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 10.5.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Hakan ARSLAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Nilgün BALKAYA İstanbul Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐

Hayır ☒

19 /06/2023

Hatice Nur GÜREL

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : TARIMSAL SULAMADA ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSUYUN KULLANILMASININ RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 29.12.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 18

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

19 /06/ 2023

Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA

ÖZET

TARIMSAL SULAMADA ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSUYUN KULLANILMASININ RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ

Hatice Nur GÜREL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2023

Danışman: Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA

Kaynaklara ve ham maddelere olan talebinin artması var olan kaynakların tükenmesine ve kirlenmesine sebep olmuştur. Tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalan kaynaklardan en önemlisi sudur. Dünya üzerindeki suların yalnız %2.5'u tatlı su kaynağıdır ve sadece %0.3 insan tüketimine uygundur. Su kullanımı doğru yönetilmediğinde ortaya çıkabilecek bazı sorunlar vardır bu sorunların en önemlisi su ve yiyecek kıtlığı, ülkelerin ekonomik gelişimlerini tamamlayamaması, sağlık problemleri ve göç sorunlarıdır. Bu nedenle dünya ülkelerinin çoğu suyun sürdürülebilirliği ve tekrar kullanımı için arıtılmış atık suyunu yeniden kullanımına yönelmiştir. Arıtılmış atık suların çeşitli kullanım alanları vardır bunlardan en önemlisi tarımsal amaçlı yeniden kullanımdır çünkü dünyada suyun %70'i tarımsal sulamada kullanılırken ülkemizde de bu oran %74'tür. Tarım sektörü için kullanılan bu suyun tüketiminde payının oldukça büyük olmasından suyun yeniden kazanımı ve kullanılması çok önemlidir. Arıtılmış atık suyun tarımsal sulamada kullanılmasında birtakım riskler bulunur. Tarımsal sulama için kullanılan arıtılmış atık sular genellikle sulama suyu kalite standartlarına göre değerlendirilmektedir. Ancak arıtılmış atıksuların sürekli kullanımı neticesinde olabilecek etkiler bu değerlendirme ile yeterince anlaşılmamaktadır. Özellikle uzun süreli kullanımlarda oluşabilecek riskler nicel ve nitel risk analiz yöntemleri kullanılarak tanımlanması ve risklerin ne gibi problemlere yol açabileceği ve olası problemleri nasıl giderileceğine dair uygulamalar ile önlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT), çıkış suyu değerleri atıksuyu tarımsal sulama için kullanılabilirliği Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (Resmi Gazete tarih: 20 Mart 2010 ve No: 27527), Taslak Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015) ve Food and Agriculture Organization (FAO) kriterlerine göre değerlendirilmiş ve bazı parametreler açısından uygunsuzluk tespit edilmiştir. Bilinen su kalite endeksi (Water Quality Index) yaklaşımı belirli atıksu parametreleri üzerinde uygulanarak farklı bir bütüncül değerlendirme ve yorumlama yapılmıştır. Oluşabilecek risklerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri L tipi ve Fine-Kinney Matris yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Riskler önem derecesine göre sıralanarak önlemler konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Arıtılmış atıksu, Yeniden kullanım, Tarımsal sulama, sulama, Kriterlere Göre Uygunluk, IWQI, Risk analizi

ABSTRACT

RISK ASSESSMENT OF TREATED URBAN WASTEWATER FOR AGRICULTURAL IRRIGATION

Hatice Nur GÜREL

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Environmental Engineering Department

Master, June/2023

Supervisor: Prof. Dr. Emre Burcu ÖZKARAOVA

The increase in the demand for resources and raw materials has led to the depletion and pollution of existing resources. The most important resource facing the danger of extinction is water. Only 2.5% of the world's water is freshwater and only 0.3% is suitable for human consumption. There are some problems that may arise when water use is not managed properly; the most important ones are water and food shortages, countries' inability to complete their economic development, health problems and migration problems. For this reason, most of the world's countries have turned to the reuse of treated wastewater for the sustainability and reuse of water. There are various uses of treated wastewater, the most important one is reuse for agricultural purposes, since 70% of the water in the world is used for agricultural irrigation, this rate is 74% in our country. Since the share of this water used for the agricultural sector in the consumption is quite large, recycling and reuse of treated wastewater seems important. The use of treated wastewater is generally evaluated according to related irrigation water quality criteria. However, impacts and risks from continuous use of treated wastewater can not be totally understood with these criteria. There are some risks in long term use of treated wastewater in agricultural irrigation with respect to the composition of wastewater. Identifying potential risks using quantitative and qualitative risk analysis methods seems necessary to prevent potential risks during implementation. In this thesis study, Samsun East Wastewater Treatment Plant (DAAT) wastewater's potential use in agricultural irrigation was evaluated using criteria defined by Wastewater Treatment Plant Technical Procedures Communiqué (Official Gazette date: 20 March 2010 and No: 27527), Draft Regulation on the Quality of Irrigation Water and Reuse of Used Water (Forest and Ministry of Water Affairs, 2015) and Food and Agriculture Organization (FAO). A different holistic evaluation and interpretation was made by applying a water quality index approach on certain wastewater parameters. Potential risks on the environment and human health were examined using the L-type and Fine-Kinney matrix methods. The risks were listed in order of importance and potential preventive measure were suggested.

Keywords: Treated wastewater, Reuse, Irrigation in agriculture, Risk, Risk analysis

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimde bana her türlü desteği veren bilgi ve tecrübelerinde yararlandığım, çalışmamın her aşamasında yardımını esirgemeyen, göstermiş olduğu hoşgöründen dolayı çok değerli danışmanım Prof.Dr.Emre Burcu ÖZKARAOVA'ya sonsuz teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans tezimin en önemli aşamalarında tezimi bir adım ileriye götürebilmek için gerekli olan bilgileri ve yorumlamaları samimiyetle sağlayan Prof. Dr.Hakan ARSLAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamda gerekli olan Doğu Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış atıksu değerlerini sağlamamda yardımcı olan çok değerli Samsun Büyük Şehir Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde dersleri, tecrübe ve yönlendirmeleri ile destek veren ve hocalarıma bana olan katkıları için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her adımında yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim maddi ve manevi destekleyen annem Neriman GÜREL'e ve babam Nazım GÜREL'e sonsuz kez teşekkür ederim.

Hatice Nur GÜREL

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Su Varlığının Durumu.....	2
3. ARTILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI	6
3.1. Arıtılmış Atıksuların Kullanım Alanları	6
3.1.1. Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım.....	6
3.1.2. Endüstriyel Geri Kullanım.....	7
3.1.3. Yeraltı Suyu Beslemesi Amaçlı Kullanım.....	7
3.1.4. Tarımsal Amaçlı Kullanım	7
3.2. Arıtılmış Atıksuyun Yeniden Kullanımı İle İlgili Su Kalite Kriterleri	8
4. KENTSEL ARITILMIŞ ATIKSUYUN TARIMSAL SULAMADA KULLANILMASI.....	13
4.1. Tarımsal Sulama için Başlıca Parametreler.....	14
4.1.1. Toplam çözünmüş madde (tuzluluk)	15
4.1.2. Elektriksel İletkenlik.....	16
4.1.3. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)	18
4.1.4. Özgül İyon Toksisitesi	21
4.1.4.1. Klor	21
4.1.4.2. Bor.....	21
4.1.4.3. Sodyum	22
4.1.5. Eser Elementler ve Nütrientler	23
4.1.6. pH	25
4.1.7. Patojenler	26
4.1.8. Askıda Katı Maddeler.....	28
4.1.9. Mikro Kirleticiler.....	29
4.1.10. Farmasotik Maddeler	29
4.1.11. Endokrin Bozucu Maddeler	30
4.1.12. Kişisel Bakım Ürünleri	30
4.2. Temel Tarımsal Sulama Kriterleri.....	34

4.3. Su Kalite İndeksi	38
5. RİSK VE GENEL TANIMLAR.....	39
5.1. Risk Değerlendirme Aşamaları	40
5.1.1. Tehlikelerin Tanımlanması	40
5.1.2. Risklerin Tanımlanması ve Analizi	40
5.1.3. Risk Kontrol Tedbirlerini Belirleme.....	41
5.1.4. Risk Kontrol Tedbirlerini Uygulama.....	41
5.1.5. İzleme Ve Tekrar	42
5.2. Risk Analiz Yöntemleri.....	42
5.2.1. Ön Tehlike Analizi	42
5.2.2. Olursa Ne Olur? (What If?) Analizi	43
5.2.3. X Tipi Matris Analizi.....	44
5.2.4. L Tipi Matris Yöntemi.....	44
5.2.5. Fine-Kinney Metodu.....	46
5.2.6. Tehlike ve İşletilebilme Yönetimi (Hazop)	48
5.2.7. Hata Türleri Ve Etkileri Analizi (FMEA)	50
5.2.8. Hata Ağacı Analizi	51
5.2.9. Olay Ağacı Analizi	53
6. MATERYAL METOD.....	54
6.1. Materyal.....	54
6.2. Metodlar	56
6.2.1. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi	56
6.2.2. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kalite İndeks Değerlerinin Belirlenmesi	56
6.2.3. L Tipi Matris Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi	57
Olasılık ve Etki Değerlendirmesi.....	59
6.2.3.1. L Tipi Matris Risk Değerlendirmesi	60
6.2.4. Finne-Kinney Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabilecek Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi.....	62
6.2.4.1. Finne-Kinney Risk Değerlendirme Yönteminde Olasılık, Etki Ve Frekansın Belirlenmesi.....	62
Finne-Kinney Metodu Risk Değerlendirmesi	64
7. BULGULAR.....	65
7.1. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi.....	65

7.2. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kalite İndeks Değerlerinin Belirlenmesi	69
7.3. Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Risklerin Olasılık ve Etki Değerlendirmesi	72
7.3.1. Olasılık Değerlendirmesi	72
7.3.2. Etki Değerlendirmesi	74
7.4. L Tipi Matris Risk Değerlendirmesi	76
7.5. Finne-Kinney Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabilecek Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi	79
7.5.1. Finne-Kinney Metodu Olasılık Değerlendirilmesi	79
7.5.1. Finne-Kinney Metodu Etki Değerlendirilmesi	80
7.6. Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Risklerin Finne-Kinney Metodu İle Değerlendirmesi	82
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

%Na	: Yüzde Sodyum
AATTUT	: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
AKM	: Askıda Katı Madde
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
EC	: Elektriksel İletkenlik
ETA	: Event Tree Analysis (Olay Ağacı Analizi)
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FMEA	: Failure Mode and Effects Analysis
FTA	: Fault Tree Analysis (Hata Ağacı Analizi)
HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KI	: Kelly Oranı
Li	: Lityum
MAR	: Magnezyum Oranı
Mo	: Molibden
NH ₄	: Amonyum
Ni	: Nikel
NO ₃	: Nitrat
PI(%)	: Permeabilite İndeksi
RSC	: Kalıntı Sodyum Karbonat
SAR	: Sodyum Absorpsiyon Oranı
SDAAT	: Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesis

SKKY : Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği
SSKKSYPKHY : Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden
Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı
TN : Toplam Azot
TOB : Tarım ve Orman Bakanlığı
TP : Toplam Fosfor



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyada su kaynaklarının dağılımı	2
Şekil 2.3. Su kullanımının sektörlere göre dağılımı.....	3
Şekil 2.4. Dünyada sektörlere göre su kullanım.	4
Şekil 3.1. Ükelere göre sulamada yeniden kullanım.....	8
Şekil 4.1. Sulama suyu kalite değerlendirmesi.	14
Şekil 4.1. SAR ve EC'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi.	19
Şekil 5.1. Risk değerlendirmesi adımları	40
Şekil 5.2. Ön tehlike analizi aşamaları.....	43
Şekil 5. 2. Hata ağacı diyagramı	52
Şekil 5.3. Olay ağacı diyagramı.....	53
Şekil 6.1. Risk skorunun belirlenmesi.	61
Şekil 7.1. Sulama sıklıkları ile risk değerlendirmesi	96

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2. 1. Bazı ülkelerin su fakirlik indeksine göre durumları.	4
Tablo 2.2. Türkiye’de sektörlere göre su kullanım miktarları.	5
Tablo 3.1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması	9
Tablo 3.2. SSKKSYKHY yeniden kullanım için geri kazanılmış suyunun kalitesi ve uygulanması gereken arıtma tipi.	10
Tablo 3.3. Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği’nde sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo	11
Tablo 3.4. SKKYK genel sulama kriterleri.....	12
Tablo 4. 1. SKKYK tuza karşı hassasiyet	15
Tablo 4. 2. AATTUT Göre Toplam Tuz Konsantrasyon Değerleri.....	15
Tablo 4.3. Tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılıkları.....	16
Tablo 4.4. Sulama sularının elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması	17
Tablo 4.5. Sulama Suyu tuzluluğundan (EC_w) veya toprak tuzluluğundan (EC_e) etkilenen seçili mahsullerin tolerans potansiyeli ve verimi	18
Tablo 4.6. Suların SAR değerine göre sınıflandırılması.....	19
Tablo 4.7. Farklı bitkilerin sulama suyu içerisinde bulunan sodyuma toleransı.....	20
Tablo 4.8. SSKKSYKHY genel sulama suyu kriterleri	20
Tablo 4.9. Bitki yapraklarına zararlı klor seviyeleri.	21
Tablo 4.10. Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri	22
Tablo 4.11. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/L).....	24
Tablo 4.12. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları.	24
Tablo 4.13. Arıtılmış atıksuda olabilecek nütrient düzeyleri.....	25
Tablo 4.14. Sulama suyu sınıflarına göre pH değeri.....	26
Tablo 4.15. SSKKYKHY E.Coli konsantrasyonunun bitki üzerindeki etkisi ve uygulama yöntemleri	27
Tablo 4.16. Arıtılmış atıksu ile sulamadan kaynaklanan patojenik organizmaların hastalığa neden olan etkileri.....	27
Tablo 4.17. Atık sulardaki patojenler ve mikrokimyasal maddelere ilişkin riskler ...	28
Tablo 4.18. Mikroirleticilerin sınıflandırılması	29
Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri.....	31
Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)	32
Tablo 4. 19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)	33
Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)	34

Tablo 4.20. Sulama için su kalitesi indeksleri.....	35
Tablo 4.21. Tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterlerinin FAO standartları.....	37
Tablo 4.22. Su kalitesi indeksine göre su tipleri	38
Tablo 5. 1. Olursa ne olur (what if?) risk değerlendirmesi.	43
Tablo 5.2. L tipi matris olasılık değerleri.....	44
Tablo 5.3. L tipi matris şiddet değerleri.....	45
Tablo 5.5. L tipi matris risk skoru.....	45
Tablo 5.4. L tipi matris risk değerlendirme sonuçlarının kabul edilebilirliği	46
Tablo 5.6. Fine-Kinney metodu olasılık değerleri	47
Tablo 5.7. Fine-Kinney metodu şiddet değerleri	47
Tablo 5.8. Fine-Kinney metodu frekans değerleri.	47
Tablo 5.9. Fine-Kinney metodu risk değerlendirme sonucu.....	48
Tablo 5.10. Fine-Kinney metodu risk değerlendirmesi	48
Tablo 5.11. HAZOP'ta kullanılan bazı anahtar kelimeler	49
Tablo 5.12. Hatanın şiddetinin etkisi	50
Tablo 5.13. Hatanın tespit edilebilirliği	51
Tablo 5.14. Hatanın olasılığı.....	51
Tablo 5. 15. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller ve anlamları	53
Tablo 6.1. SDAAT çıkış suyu değerleri	55
Tablo 6.2. L tipi matris olasılık değerleri.....	59
Tablo 6.4. L tipi matris risk değerlendirme sonuçlarının kabul edilebilirliği	61
Tablo 6.5. Olasılık dereceleri	62
Tablo 6.6. Finne-Kinney metodu frekans derecelendirmesi	63
Tablo 6.7. Finne-Kinney metodu risk skoru	64
Tablo 7.1. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği'ne göre değerlendirilmesi	65
Tablo 7.2. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin sulama sularının kalitesi ve kullanılmış suların yeniden kullanılması hakkında yönetmelik taslağı'na göre değerlendirilmesi	66
Tablo 7.3. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin FAO kriterlerine göre değerlendirilmesi.....	67
Tablo 7.4. Sulama suyu kalite indeksi	71
Tablo 7.5. Olasılık değerlendirmesi	74
Tablo 7.6. L tipi matris etki (şiddet) derecelendirmesi	76
Tablo 7.7. L tipi risk değerlendirme tablosu	77

Tablo 7.7. L tipi risk değerlendirme tablosu (devamı).....	78
Tablo 7.8. Finne-Kinney metodu olasılık değerlendirmesi.....	80
Tablo 7.9. Fine-Kinney metodu etki değerlendirmesi	81
Tablo 7.10. Çok nadir sulama ile risk değerlendirmesi	83
Tablo 7.10. Çok nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)	84
Tablo 7.11. Oldukça nadir sulama ile risk değerlendirmesi.....	86
Tablo 7.11. Oldukça nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)	87
Tablo 7.12. Nadir sulama ile risk değerlendirmesi	88
Tablo 7.12. Nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı).....	89
Tablo 7.13. Ara sıra sulama ile risk değerlendirmesi.....	90
Tablo 7.13. Ara sıra sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)	91
Tablo 7.14. Sıklıkla sulama ile risk değerlendirmesi.....	92
Tablo 7.14. Sıklıkla sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)	93
Tablo 7.15. Sürekli sulama ile risk değerlendirmesi.....	94
Tablo 7.15. Sürekli Sulama ile risk değerlendirmesi (devamı).....	95

1. GİRİŞ

Dünyamızda ve Türkiye’de su kıtlığı, kuraklık 21. yüzyılın başlıca sorunlarından biridir. İklim değişiklikleri ve suyun yanlış yönetimi nedeniyle sorun büyümektedir. Dünya üzerinde tatlı su kaynaklarının insan aktivitelerinden zarar ve etki görmemiş olan az düzeyde kaynak kaldığı bilinmektedir. Su kaynaklarının yetersizliği ve kaynaklardaki bozulan su kalitesi çevresel kaygı oluşturmaktadır (Polat, 2013).

Su kaynaklarının kullanım alanları; kentsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım amaçlıdır. Bu kullanımda en yüksek tüketim %70’lik orana sahip olan tarımsal kullanımdır (Ak ve Top, 2018).

Kentsel nüfusun artması ile su tüketiminin de artması atıksu artışını da neden olmaktadır. Atıksuyun arıtılması ve tarımda kullanılması hem iyi kalitedeki suların tarımda kullanılmasını azaltmakta hem de kentsel atıksuların yeniden kullanımı ile su kaynaklarının kirlenmesini önlemiş olup atıksu içeriğindeki besin maddeleri tarımda bitki yetiştirmesinde fayda sağlamaktadır. Atıksu içeriğindeki azot ve fosfor ise gübre ihtiyacını azaltmaktadır (Kukul vd., 2007).

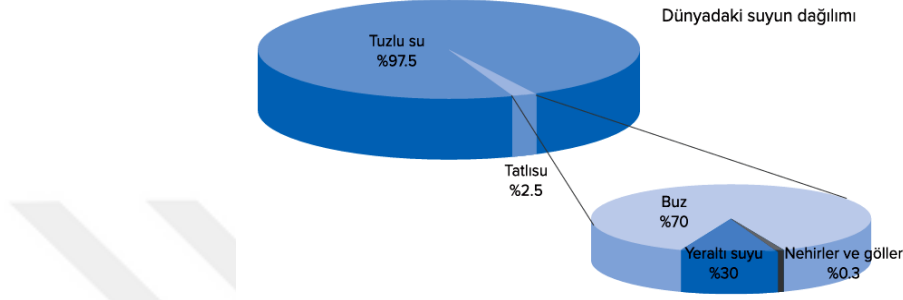
Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı tekrar kullanılmasında atıksu kompozisyonu çok önemlidir. Kentsel ve evsel atıksular önemli düzeyde patojen mikroorganizma içerebilmektedir. Verimli şekilde arıtılmaz ve dezenfekte edilmez ise hastalıkların çoğalmasına neden olabilir (Demir vd., 2017)

Arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanımında risk oluşturabilecek birçok unsur bulunmaktadır. Tuzluluk, ağır metaller, Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), askıda katı madde (AKM), ağır metaller, toksit organik bileşikler, pH değeri, sodyum, kalsiyum, magnezyum bitkiler için dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardır (Ak ve Top, 2018).

2. GENEL BİLGİLER

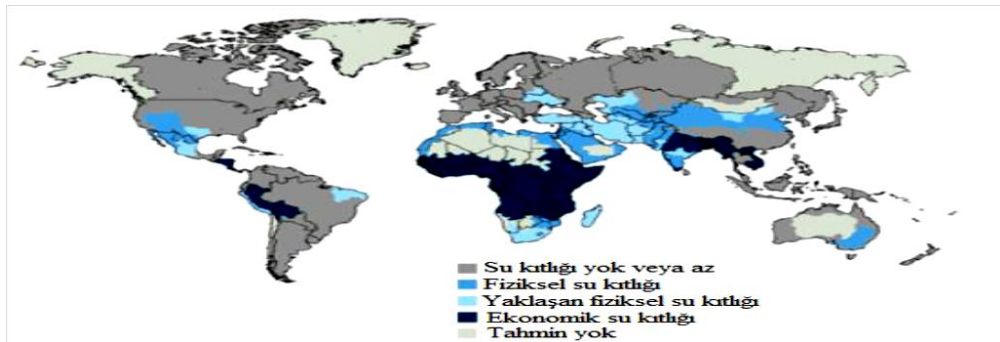
2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Su Varlığının Durumu

Dünyada, su kaynaklarının %97.5'i tuzlu sudur, ancak %2.5'i tatlı su kaynaklarıdır. Tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmı buzullarda, yeraltında, kutuplarda tutulmuştur. İnsan kullanımına uygun yalnızca %0.3 tatlı su kaynağı vardır (Muluk vd., 2013).



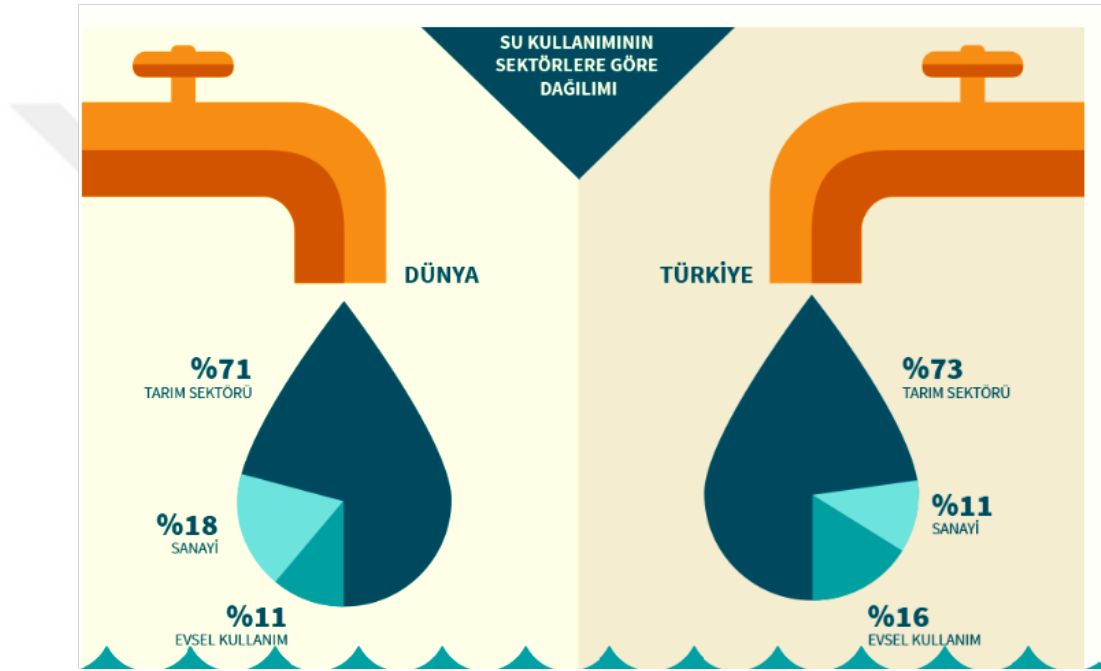
Şekil 2.1. Dünyada su kaynaklarının dağılımı (Muluk vd., 2013)

Hızla gelişen nüfus artışı ve kentleşme ile su ihtiyacı da artmaktadır. Dünyada kişi başına düşmekte olan ortalama su miktarı yılda 800 m³'tür (Atalık, 2006). Bu durumda bir kişi başına düşen yıllık su miktarı 1000 m³'den az olduğunda su fakiri, 1000-2000 m³ arasında ise su kıtlığı çeken, 2000 m³'den fazla olduğunda su zengini ülke olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.2.'de dünya üzerindeki su kıtlığı haritası gösterilmiştir.



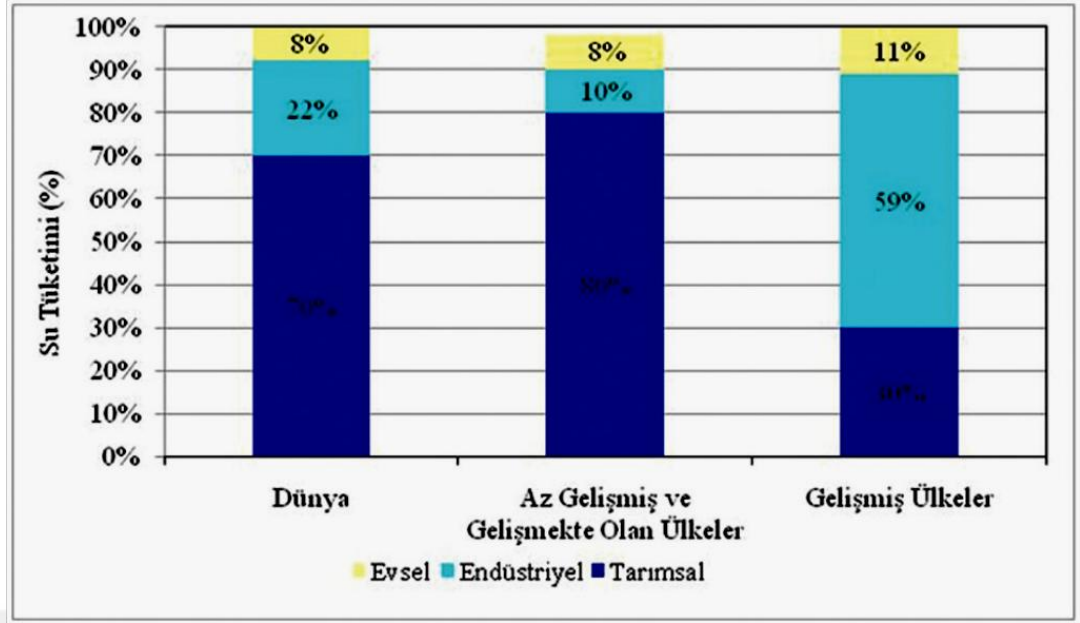
Şekil 2.2. Küresel su kıtlığı haritası (Muluk vd., 2013).

Yapılan çalışmalarda su kıtlığı çekebilecek ülkeler Afrika, Pakistan, Kuzey Çin, Hindistan, Orta Doğu ülkeleri olarak tahmin edilmektedir (Turan ve Bayraktar, 2020). Su kıtlığının oluşturacağı sorunlar arasında; yiyecek kıtlığı, ülkelerin ekonomik gelişiminin gecikmesi, sağlık sorunları, göç problemleri ve su rekabetleri bulunmaktadır (Demir vd., 2017). Yeraltı ve yerüstü kaynaklarının yetersizliğinden dolayı çoğu ülke ihtiyacı olan suyu karşılamak için atıksuları yeniden kullanmaktadır (Katip, 2018). Dünya da suyun kullanım alanları sektörler bazında genel olarak; tarımsal %71, endüstriyel %18, kentsel olarak da %11'dir (Can, 2021).



Şekil 2.3. Su kullanımının sektörler göre dağılımı (Can, 2021).

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı oranları değişmektedir. Dünya ortalamasının %70'ini oluşturan tarımsal tüketim, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde %82'ye yükselmiştir. Gelişmiş olan ülkelerde ise bu oran %30'a düşmektedir. Bunun nedeni tarım ve sanayi çalışmalarının yoğunluğunun azalmasıdır (Aküzüm vd., 2010).



Şekil 2.4. Dünyada sektörlere göre su kullanım (Aküzüm vd., 2010).

DSİ verilerine göre Türkiye’de ki yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm/m^2 dir. Kişi başına düşmekte olan su miktarı $1500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’dır. Bu sonuca bakıldığında ülkemiz su fakiri ülke olmadığı gibi su zengini de değildir. Var olan su kaynaklarını sürdürebilir bir şekilde kullanmaz ise su kıtlığı ile mücadele etmek zorunda kalacaktır (Demir vd., 2017). Su fakirlik indeksine göre dünya sıralamasında Türkiye 147 ülke içerisinde 78. sırada bulunmaktadır (Lawrence vd., 2002).

Tablo 2. 1. Bazı ülkelerin su fakirlik indeksine göre durumları (Lawrence vd., 2002).

Ülke	Kaynak	Erişim	Kapasite	Kullanım	Çevre	Su Fakirlik Indeksi
Finlandiya (1)	12,2	20,0	18,0	10,6	17,1	78,0
Birleşik Krallık (11)	7,3	20,0	17,8	10,3	16,0	71,5
Almanya (35)	6,5	20,0	18,0	6,2	13,7	64,5
Kongo Cumh. (75)	17,1	10,3	11,8	7,3	10,9	57,3
Türkiye (78)	7,8	14,8	13,1	10,7	10,1	56,5
Nijerya (129)	7,4	7,5	8,5	10,4	10,1	43,9

Türkiye'nin yerüstü su potansiyeli 95 milyar m³'ü akarsulardan, 3 milyar m³ komşu ülkelerden 16,4 milyar m³, yeraltısuyu potansiyeli ile yılda ortalama 112 milyar m³ yeraltı ve yerüstü su potansiyelinin 44 milyar m³'ü kullanılmaktadır (Duman, 2017).

Türkiye tatlı su kaynaklarının %74'ünü tarımsa sulama,%15'ini içme ve kullanma suyu,%11'ini ise sanayide kullanılmaktadır (Saraoğlu, 2014).

Tablo 2.2. Türkiye’de sektörlere göre su kullanım miktarları (Saraoğlu, 2014).

Yıllar	Kullanılan Su		Su Kullanan Sektörler					
			Sulama		İçme ve Kullanma		Sanayi	
	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%
1990	30600	27	22016	72	5141	17	3443	11
2000	39300	35	29300	75	5800	15	4200	10
2008	46000	41	34000	74	7000	15	5000	11
2030	110000	100	71500	65	25300	23	13200	12

Orta Kuşak ve Akdeniz Havzası'nda yarı kurak bölgede yer almakta olan Türkiye, iklim değişikliğinden kaynaklanan etkilerden dolayı kesin olarak risk grubu ülkelerden biridir. Su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık, çölleşme ve bunun sonucunda oluşan ekosistem bozulması başta olmak üzere iklim değişikliğinin olumsuz yönlerinden ülkemizin de etkileneceği öngörülmektedir (Atalık, 2006).

Türkiye'nin değişik bölgelerinin iklimin değişmesinden farklı şekillerde ve değişen düzeylerde etkileneceği öngörülmektedir. Örneğin çölleşme tehdidi altındaki kurak ve yarı kurak bölgeler ile su kıtlığı yaşayan yarı nemli bölgeler (Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz) sıcaklık artışından daha fazla etkilenecektir. (Öztürk, 2002).

Yarı kurak bir iklim kuşağında bulunan ülkemizde iklim değişikliği ile birlikte kuraklık ve erozyon sorunlarının daha da belirginleştiği dikkate alındığında, bilinçsiz sulama toprakların tuzlanmasına yol açmakta ve dolayısıyla arazi kalitesini büyük ölçüde düşürmektedir (Ataruk, 2006).

Önümüzdeki birkaç yıl içinde ülke nüfusa göre kişi başına düşen su miktarının azalması beklenmektedir. Kısacası, nüfus artışı ve azalmakta olan su kaynakları nedeniyle Türkiye de su kıtlığı yaşayan ülke haline gelmektedir (Can, 2021).

3. ARTILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

Su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve korunumu için yeniden kullanım oldukça önemli hale gelmiştir. Atıksuların arıtılmasındaki amaç suyun geri kazanımı ve var olan su kaynaklarının kullanımını azaltmaktır (Demir vd., 2017).

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasının avantajları bunlardır;

- Arıtma kontrolleri yerine getirildiğinde ek su kaynağıdır.
- Enerji tüketimini azaltır.
- Var olan su kaynaklarının tüketimini azaltır.
- Geri kazanılan atıksular yüzeysel sulara deşarj edilmediğinden suyun kalitesinin bozulmasını önlemeye yardımcı olur.
- Arıtılmış atıksu azot ve fosfor içerdiğinden gübre kullanımını azaltır.
- Bitki verimini artırır.

3.1. Arıtılmış Atıksuların Kullanım Alanları

Arıtılmış atıksular yeniden kullanıma uygun hale getirildiğinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunla aşağıdaki kullanım alanlarıyla tanımlanabilir.

- Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım
- Yeraltı Suyu Beslemesi Amaçlı Yeniden Kullanım
- Endüstriyel Kullanım
- Tarımsal Kullanım

3.1.1. Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım

Kentsel amaç için yeniden kullanımda yüksek miktarda su yeniden kullanılarak dönüştürülmektedir. Şehirlere verilen içme suyu olarak kullanıldığı gibi farklı amaçlar için de kullanılır;

- Park, bahçe, spor sahaları, golf sahası, okul bahçeleri, peyzaj alanları, otoyol meydanları
- Araç yıkıkama (ticari amaç)
- Çeşmeler, havuzlar (dekoratif amaçlı kullanım)

- Yangından korunmak amacı ile yangın söndürme suyu
- Binalarda ve iş merkezlerinde tuvalet suyu olarak kullanım (Solak, 2018).

3.1.2. Endüstriyel Geri Kullanım

Endüstriyel atıksuların geri kazanımı, fabrika içinde veya kentsel su arıtma tesislerindeki dönüşümden sağlanmaktadır. Geri kazanılan suyun kullanım alanları;

- Soğutma suyu
- Kazan besleme suyu
- Kül sulama, baca gazı yıkama (Fesliyen, 2017).

Soğutma suyu endüstrilerde kullanılan en yaygın kullanım biçimidir. Bu nedenle en çok su ihtiyacını oluşturmaktadır. Soğutma suyu kullanımında korozyona, çökelek oluşmasına ve mikrobiyal büyüme faaliyetlerine önem verilmesi ve dikkat edilmesi gerekmektedir (Polat, 2013).

3.1.3. Yeraltı Suyu Beslemesi Amaçlı Kullanım

Artılmış atıksuyun yeraltına verilme amaçları şunlardır;

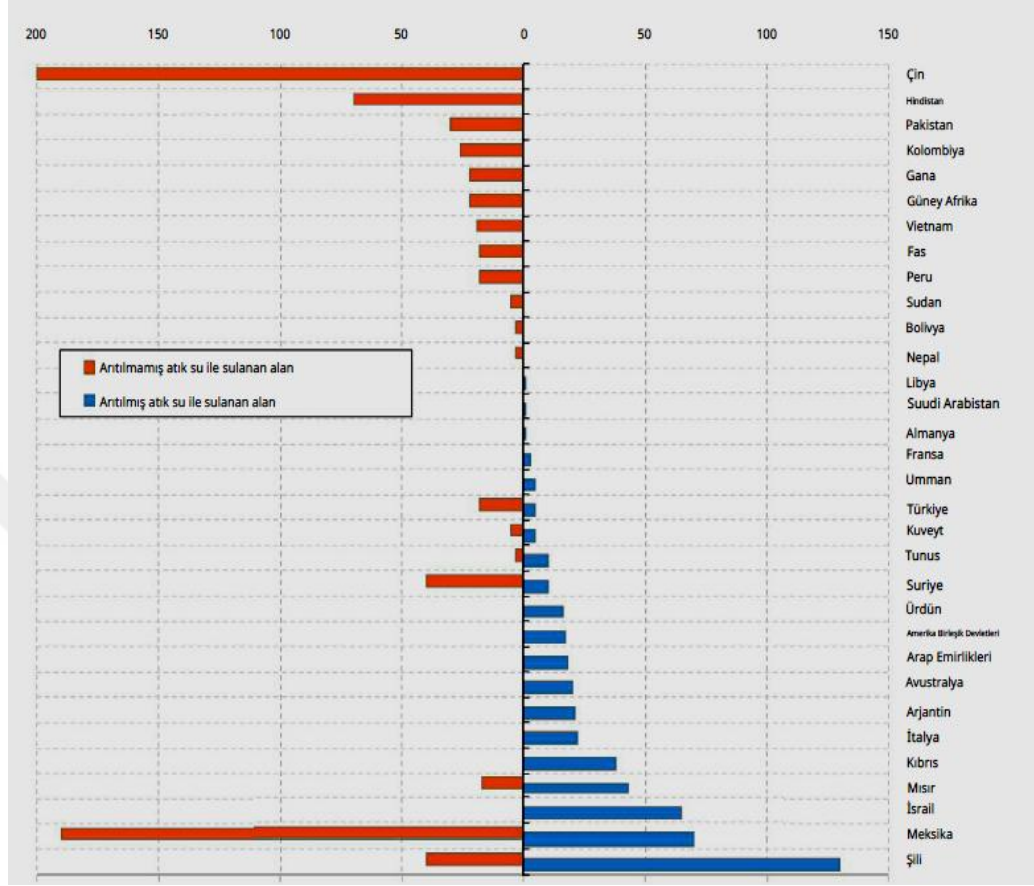
- Artılmış atıksuyu tekrar kullanmak üzere depolamak.
- Yeraltı suyunun seviyesindeki düşüşü önlemek.
- Yeniden kullanım için ileri arıtım sağlamak (Solak, 2018).
- Kıyı şeridinde tuzlu su girişini önlemek.

3.1.4. Tarımsal Amaçlı Kullanım

Dünya su tüketiminin %70'ini tarımsal kullanım alanı oluşturduğundan (Acar, 2018) arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında en çok paya sahip olan alandır. Tarımsal sulama amacı ile genellikle endüstriyel atıksu tercih edilmeyip kentsel atıksular kullanılmaktadır. Endüstriyel atıksuların içerisindeki toksik bileşiklerden dolayı tehlike oluşturabileceği düşünülmektedir. İçeriği daha temiz (gıda-içecek) endüstrilere ait atıksular seyreltilerek veya doğrudan tarımsal sulamada kullanılabilir (Ak ve Top, 2018).

Şekil 3.1'de ülkelerin sulamada yeniden kullanımı verilmiştir. Arıtılmış atıksuyun tarımsal amaçlı yeniden kullanımındaki fayda ve zararları, oluşabilecek

riskler değerlendirilmelidir. Bu risklerin bazıları, patojen mikroorganizmalar, aşırı tuzluluk, ağır metaller, TÇM, AKM, toksit maddeler olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.1. Ülkelere göre sulamada yeniden kullanım (Jarenillo ve Restrepo, 2017).

3.2. Arıtılmış Atıksuyun Yeniden Kullanımı İle İlgili Su Kalite Kriterleri

27527 sayılı Resmi Gazete’de Atıksu Arıtma Tesisleri Usuller Tebliği 7. Bölümde arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı başlığında yasal olarak hazırlanmıştır (Ak ve Top, 2018). Sulama için yeniden kullanılması amaçlanan arıtılmış atıksuyun özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Arıtılmış atıksuyun sulamada kullanılmak üzere için iki sınıf da oluşturulmuştur.

Ticari olarak işlenmemekte olan gıdaların ve bahçe, park gibi kentsel alanların sulanmasında insanlara temas edebilmesi ihtimaliyle iyi kalitede sulama suyu gerektirir. Bunun için daha düşük kirletici sınır değerlerine sahip A sınıfı su kullanılması öngörülmüştür. Ticari olarak işlenmiş gıda mahsulleri, sınırlı erişimli

sulanan alanlar ve tarımsal sulama: Gıda dışı mahsuller için B Sınıfı su kullanılması kabul edilmiştir.

Tablo 3.1. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (AATTUT, 2010).

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri^d</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d -Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 Sürekli mL ^{g,h} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -Bulanıklık: -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b)Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri^mb-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
Sınıf B				
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma ^c -Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL ^{g,j,k} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
b)Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler				
c)Otlak hayvanları için mera sulaması				

Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı (SSKKSYPKHY 'na göre geri kazanılmış suların zirai amaçlı kullanımı için atıksu özellikleri Tablo 3. 2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. SSKKSYPKHY yeniden kullanım için geri kazanılmış suyunun kalitesi ve uygulanması gereken arıtma tipi (SSKKSYPKHY, 2015).

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi
Gıda ürünleri : Yüzeysel-İkincil arıtma ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-Filtrasyon -Dezenfeksiyon-	- pH = 6-9 - BOİ ₅ ≤ 10 mg/L - Bulanıklık ≤ 2 NTU - Fekal koliform: 0/100 mL - Bakiye klor ≥ 1 mg/L (Ozon ve UV kullanıldığı durumlarda bakiye klora bakılmaz.)	- pH: Haftalık - BOİ ₅ : Haftalık - Bulanıklık: Sürekli - Koliform: Günlük - Bakiye klor: Sürekli	- İçme suyu temin edilen kuyuların mutlak ve birinci koruma alanlarına deşarj yapılmaz.
a-Ticari olarak işlenen gıda ürünleri ⁹ : Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve insani tüketim maksatlı ticari olarak işlenen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma -Dezenfeksiyon-	- pH = 6-9 - BOİ ₅ ≤ 30 mg/L - AKM ≤ 30 mg/L - Fekal koliform ≤ 200 ad/100 mL - Bakiye klor ≥ 1 mg/L (Ozon ve UV kullanıldığı durumlarda bakiye klora bakılmaz.)	- pH: Haftalık - BOİ ₅ : Haftalık - AKM: Günlük - Koliform: Günlük - Bakiye klor: Sürekli	- En yakın içme suyu temin kuyusunun mutlak ve birinci koruma alanlarına deşarj yapılmaz.
c- Gıda ürünü olmayan bitkiler: Yem, elyaf ve tohum bitkilerini içeren, insanlar tarafından besin olarak tüketilmeyen bitkiler ya da mera, ticari fidanlıklar ve çim ekim alanları				

Sulama suyunun kimyasal kalite standartları Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Evsel atıksu dışında sulama için kullanılan arıtılmış atıksu bu kimyasal standartları karşılamalıdır. Parametreler kullanım zarar derecesine göre sınıflandırılmış ve sınırlar belirlenmiştir. Tuzluluk, geçirgenlik, özgül iyon toksititesi açısından değerlendirilmiştir.

Atıksuyun araziye verilmesi veya sulama için uygun olup olmadığını belirlemek için incelenen ana parametreler şunlardır:

- Suda çözülmüş olan maddeler ve toplam konsantrasyonları ve elektrik iletkenliği
- Sodyum iyon konsantrasyonu ve bu konsantrasyonun diğer katyonlara göre oranı
- Ağır metaller, bor ve diğer potansiyel olarak toksik maddelerin konsantrasyonları
- Belirli koşullar altında Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları için toplam konsantrasyon
- Organik madde yükü, toplam katı içeriği, yağ gibi askıda katı madde miktarı
- Patojenlerin miktarı

Tablo 3.3. Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği'nde sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo (Duman, 2017).

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
İletkenlik	$\mu S/cm$	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözülmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000
SAR _{Tad}	0-3	EC $\geq$ 700	700-200	< 200
	3-6	$\geq$ 1200	1200-300	< 300
	6-12	$\geq$ 1900	1900-500	< 500
	12-20	$\geq$ 2900	2900-1300	< 1300
	20-40	$\geq$ 5000	5000-2900	< 2900
Sodyum (Na)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)				
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Taslak yönetmelikte sulama suyuna ilişkin genel standartlar yer almaktadır. Sulama sularında; geçirgenlik, tuzluluk, özgül iyon toksisitesi ve diğer etkilere ilişkin kullanım limitleri oluşturulmuştur. Tablo 3.4.'de SKKYK genel sulama kriterleri verilmiştir.

Tablo 3.4. SKKYK genel sulama kriterleri (SSKKSYPHY, 2015).

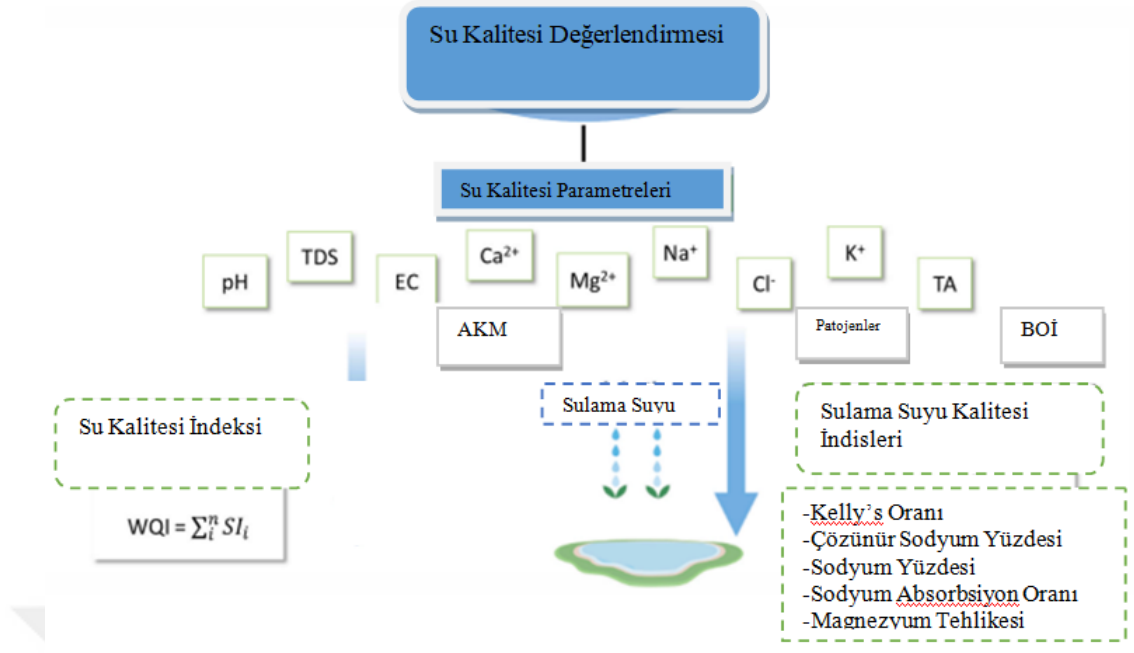
Kalite Kriteri	Birim ⁵	Kullanım Kısıtlaması Yok	Az-Orta Kullanım Kısıtlaması	Yüksek Kullanım Kısıtlaması	
Tuzluluk (Sulama suyunun bitki için uygunluğunu etkiler) ¹					
Elektriksel İletkenlik (EC _w)	dS/m	< 700	700 – 3000	> 3000	
Toplam Çözünmüş Madde (TÇM)	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000	
Geçirgenlik (Suyun toprakta emilim oranını etkiler. SAR ve EC _w birlikte değerlendirilmelidir.) ²					
SAR	0 - 3	> 700	700 – 200	< 200	
		Ve			
		Ec _w			
	3 - 6	> 1200	1200 – 300	< 300	
	6 - 12	> 1900	1900 – 500	< 500	
	12 - 20	> 2900	2900 – 1300	< 1300	
	20 - 40	> 500	500 – 2900	< 2900	
Özgül İyon Toksisitesi (Hassas bitkiler için)					
Sodyum (Na) ³	Yüzey sulama	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	Püskürtme sulama	me/L	< 3	> 3	
Klorür (Cl) ³	Yüzey sulama	me/L	< 4	4 – 10	> 10
	Püskürtme sulama	me/L	< 3	> 3	
Bor (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	
Diğer Etkiler (Hassas bitkiler için)					
Nitrat (NO3-N) ⁴	mg/L	< 5	5– 30	> 30	
Toplam Pestisit	mg/L	<0,01	0,01-0,1	> 0,1	
Bikarbonat (HCO ₃) (sadece tepeden püskürtme sulama için)	me/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5	
pH	Normal Aralık 6,5 – 8,4				
RSC (Artıksal Sodyum Karbonat) ⁶		<1,25	1,25	>2,5	

4. KENTSEL ARITILMIŞ ATIKSUYUN TARIMSAL SULAMADA KULLANILMASI

Evsel atıksu ya da evsel atıksuyun endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyunun bir karışımı kentsel atıksu olarak ifade edilir. Kentsel atıksu günümüzdeki nüfus artışı ve kentleşme ile artmaktadır. Kentsel atıksu miktar olarak fazla olduğu için bu suyun geri dönüşümü su kullanımı ve yönetimi için çok önemli bir gereksinimdir. Kentsel atıksuyun tarımda kullanılmasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır.

Kentsel atık su, çok düşük konsantrasyonlarda askıda veya çözünmüş organik veya inorganik madde içerir. Atıksudaki organik madde; yağlar, sabunlar gibi karbonhidratlar, doğal ve sentetik organik kimyasallardır. Kanalizasyondan toplanan kentsel atıksular, endüstriyel ve daha çok evsel içerikli çeşitli inorganik maddeler bulundurmaktadır. Özellikle endüstriyel kaynaklı atıksular, kanalizasyona deşarj edildiğinde arsenik, krom, kadminyum, kurşun, bakır, civa ve çinko gibi toksit inorganik maddeler de içerebilir. Toksit kimyasalların insan sağlığına etkilemediği seviyelerde bile bitkiler için toksit olabilirler. İnsan sağlığı ile ilgili olarak tarımsal sulama için atıksu kullanırken dikkate alınması gereken diğer bir önemli parametre patojen mikroorganizmalardır (Kukul vd., 2007).

Her hangi bir su kaynağının tarımsal uygunluğunun değerlendirilmesi Şekil 4.1’de görüldüğü üzere bir çok parametre ile, başta tarımsal sulama suyu indisleri olmak üzere çeşitli yollarla yapılabilmektedir. Arıtılmış atıksuların içeriği genel olarak çok sayıda farklı parametreler ile değerlendirilmektedir. Bu nedenle, tarımsal sulama için uygunluğu araştırılırken doğal su kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılan başlıca parametrelerden ek olarak başkaca parametrelerin değerlendirmeye dahil edilmesine çalışılmıştır (Chojnacka vd., 2020).



Şekil 4.1. Sulama suyu kalite değerlendirme (Elemile vd., 2022).

4.1. Tarımsal Sulama için Başlıca Parametreler

Tarım sektöründe mahsul sulama için atıksu kullanımının toprak kalitesi/verimliliği mahsul üretimi ve insan sağlığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olabilmektedir (Khalid vd., 2018). Atıksuların yeniden kullanılması için uygun kaliteye getirilip incelenmesi gereken parametreler şunlardır:

1. Toplam Çözünmüş Madde
2. Patojenler
3. Sodyum Adsorpsiyon Oranı
4. Askıda Katı Maddeler
5. Elektriksel İletkenlik
6. Özgün İyon Etkisi
7. pH
8. Eser Elementler ve Nutrientler
9. Ağır Metaller ve Toksik Elementler
10. Farmasötik Bileşikler ve Endokrin Bozucular

4.1.1. Toplam Çözünmüş Madde (Tuzluluk)

Tarımsal sulamada sulama suyunun kalitesini belirlemede tuzluluk en önemli parametrelerden biridir. Toplam çözünür tuzlar bitki tarafından kolayca emilir. Bitki çeşidine göre bitkiye giren tuz bileşiklerinin cinsine ve miktarına bağlı olarak belirli bir konsantrasyonun üzerinde bitkiye toksik hale gelirler. Toprakta tuz konsantrasyonu arttığında bitkilerin topraktan su alımı zorlaşır, toprağın yapısı bozulur, bitki büyümesi yavaşlar ve durur (Ekmekçi vd., 2005). Tuzlu su ile sulama topraga tuz eklenmesi ve bitki kökünden geçen tuzun dışarı atılması için daha fazla sulama suyu ihtiyacı oluşturduğu için istenmez (Karaaslan, 2009).

Tuzluluk, hem toprak hemde sudaki tuzun toplamı olarak tanımlanır ve toplam çözünmüş madde (TÇM) olarak ölçülür. TÇM ve EC arasında bir ilişki vardır;

- $EC < 5 \text{ dS/m}$ ise $TÇM \approx EC \times 640$
- $EC > 5 \text{ dS/m}$ ise $TÇM \approx EC \times 800$

TÇM değeri 500 mg/L'den düşük olan bitkiler için etki görülmemektedir. 500 ile 1000 mg/L arasındaki değerler hassas bitkileri etkileyebilir. 1000 ile 2000 mg/L arasındaki değerlerde birçok bitkinin etkilendiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle sulama suyu kullanırken dikkatli olunmalıdır.

Tuza dayanıklı bitkiler ve iyi geçirgenliğe sahip topraklar için TÇM değerleri 2000 mg/L'nin üzerinde olan sulama suları kullanılabilir (Acar, 2018). Tablo 4.1'de AATTUT teknik usuller tebliğine göre toplam tuz konsantrasyon değerleri verilmektedir. Tablo 4.2'de SKKYK toplam çözünmüş madde konsantrasyonuna göre hassaslık değerleri verilmiştir.

Tablo 4. 1. SKKYK tuza karşı hassasiyet (SSKSYKHY, 2015)

HASSASLIK			
Toleranslı TÇM > 2000 mg/L	Orta toleranslı TÇM: 1500-2000 mg/L	Orta hassas TÇM: 1000-1500 mg/L	Hassas TÇM: 500-1000 mg/L

Tablo 4. 2. AATTUT Göre Toplam Tuz Konsantrasyon Değerleri (AATTUT, 2010)

Kalite kriterleri	Sulama Suyu Sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (zararlı)
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/l)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100

Bitki büyümesinin önemli göstergesi olarak gösterilen ozmotik basınç 20 atm'ye geldiğinde bitkinin gelişimi kısıtlanmaktadır. Bu değer 40 atm'ye yükseldiğinde ise bitki ölümü gerçekleşmektedir. Tuzluluğun bitki büyümesinde zararlı semptomları vardır. Bitkiler yavaş ve zayıf çimlenir, fizyolojik kuraklık yaşar, kuruluk ve solgunluk meydana gelir, gelişmemiş küçük yapraklar, kısa dallar ve kısa gövde oluşur, yaprakların rengi mavimsi yeşildir, küçük tohumlar gözüktür, tuza dayanıklı farklı otlar gelişir (Ekmekçi vd., 2005). Tüm bitkiler tuzluluğa aynı şekilde tepki vermez. Tablo 4.3'da toprak tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılıkları verilmiştir.

Tablo 4.3. Tuz düzeylerine göre bitkilerin duyarlılıkları (Ekmekçi vd., 2005).

Tuzluluk (EC_e dS/m)	Bitki Tepkisi
0-0.98 Çok az tuzlu	Tuzluluk etkileri genellikle önemsizdir.
0.98-1.71 Az tuzlu	Çok hassas bitkilerin verimleri azalabilir.
1.71-3.16 Tuzlu	Birçok bitkinin ürün verimi düşer.
3.16-6.07 Çok tuzlu	Tuza dayanıklı bitkiler normal verim sağlayabilir.
> 6.07 Aşırı tuzlu	Tuza çok dayanıklı bazı bitkiler mahsul üretebilir.

Tarımsal alanlarda sulama için kullanılan suyun tuzluluk içeriğine bağlı olarak tuzluluk sorunu yaşanabilmektedir. Bununla birlikte kıyı bölgelerinde yeraltı suyu yüksekliği, toprak tabakalarının yanal sızmaları ve deniz etkileşimleri gibi faktörler tuzun kök bölgesine taşınmasını sağlar. Kullanılan tarım türü, sulama yöntemleri, sulamadaki su miktarı, drenajın yeterliliği, çiftçi bilgisi ve sosyolojik faktörler de sulanan alanların tuzlanmasına neden olmaktadır.

Toprak tuzluluğunu önlemek ve gidermek için iyi bir drenaj sistemi kurulmalı ve temiz su veya seyreltilmiş atıksu ile toprağın sulanmasıyla biriken tuz düzenli olarak topraktan uzaklaştırılmalıdır (Ak ve Top, 2018).

4.1.2. Elektriksel İletkenlik

Sulama suyundaki çözünabilir tuzların toplam konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan elektriksel iletkenlik, sulama kalitesine göre suları tanımlamak ve sınıflandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Elektriksel iletkenlik ve tuzluluk arasında

doğrusal bir ilişki vardır. Suda bulunan iyon miktarı yani tuzluluk yükseldikçe suyun iletkenliği de artar (Yılmaz, 2005).

Toprak riskleri ile ilgili olarak bazı otoriteler suyu çeşitli sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan sınıflandırma sistemi A.B.D Riverside Bölgesi Tuzluluk Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Bu sisteme göre sulama suyu elektriksel iletkenlik açısından 4 ana sınıfa ayrılır, sınıflandırılma Tablo 4.4'da verilmiştir (Yılmaz, 2005; Hasırcı, 2021).

Tablo 4.4. Sulama sularının elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması (Yılmaz, 2005).

Sınıflar	ECx10 625°C'de $\mu\text{mhos/cm}$.
Az Tuzlu Sular (C1)	0-250
Orta Tuzlu Sular (C2)	250-750
Yüksek Tuzlu Sular (C3)	750-2250
Çok Yüksek Tuzlu Sular (C4)	2250-5000

Az Tuzlu Sular (C1): Tüm toprak koşullarında tüm mahsullerin Sulanması için güvenle kullanılabilir.

Orta Tuzlu Sular (C2): Orta derecede tuz toleransı olan bitkilerin sulanmasında kullanılabilir.

Yüksek Tuzlu Sular (C3): Kontrollü kullanım gereklidir ve iyi tuz toleransı olan bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

Çok Yüksek Tuzlu Sular (C4): Normal şartlarda sulama için uygun değildir. Çok özel durumlarda ara sıra kullanılabilir. Tuza toleransı çok yüksek olan bitkilerde kontrollü kullanılabilir fakat iyi toprak drenajı ve genellikle toprak yıkması gereklidir.

Elektriksel iletkenlik bazı bitkilerin toleransını ve verim potansiyelini etkilemektedir. Tablo 4.5'de sulama suyu tuzluluğu ve toprak tuzluluğunda etkilenen bazı bitkilerin toleransı ve verim potansiyeli verilmiştir.

Tablo 4.5. Sulama Suyu tuzluluğundan (EC_w) veya toprak tuzluluğundan (EC_e) etkilenen seçili mahsullerin tolerans potansiyeli ve verimi (Ayers ve Westcot, 1989).

	%100		%90		%75		%50		%0	
									"Maks" ³	
TARLA BİTKİLERİ	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Şeker kamışı	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Mısır (maize)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Keten	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Bakla	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8.0
SEBZELER										
Patates	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Tatlı mısır (maize)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Tatlı patates	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
MEYVELER										
Portakal	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3
Şeftali	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Kayısı	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8

4.1.3. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulamada sodyum standartı, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) olarak tanımlanır. Sodyum toplam tuzluluğa doğrudan katkıda bulunur. Yüksek SAR değeri yüksek tuzluluk anlamına gelmektedir. Hassas bitkiler için toksik olabilir. Fakat yüksek sodyum konsantrasyonlarının ana sorunu toprağın fiziksel özellikleri üzerindeki etkileridir. Bu yüksek konsantrasyon toprak kalitesini ve yapısının bozulmasına yol açar.

SAR değeri hesaplanma şekli aşağıda verilmiştir (Anonim, 2010). Tablo 4.6’de SAR değerine göre tuzluluk sınıflandırılması ve kullanılabilirliği verilmiştir.

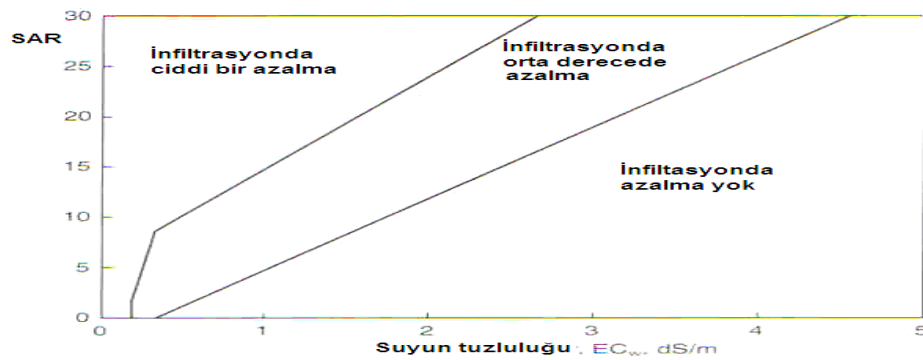
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Tablo 4.6. Suların SAR değerine göre sınıflandırılması (Hasırcı, 2021).

SAR	TUZZLULUK SINIFI
< 10	Düşük Sodyumlu Su (Sodyum Sınıfı S₁) Bu su sınıfı, her türlü toprak ve bitki için kullanılabilir. Bitkiler ve toprak için zarar içermez, içme suyu kullanımına da uygundur.
10 - 18	Orta Sodyumlu Su (Sodyum Sınıfı S₂) İri taneli, geçirgenliği yüksek organik içerikli topraklar için de kullanılabilir.
18 - 26	Yüksek Sodyumlu Su (Sodyum Sınıfı S₃) Geçirgen kumlu topraklarda kullanılabilir. Toprak tuzluluğu da düşük olmalıdır. Genellikle iyi kalitede drenaj, ilave organik madde ve yeterli toprak yıkama gibi koşulların sağlanması gerekmektedir.
> 26	Çok Yüksek Sodyum Su (Sodyum Sınıfı S₄) Bu katagorideki sular kullanım için uygun bulunmamaktadır. Toprakta çözünebilir kalsiyum varsa ve sulama suyuna jips veya diğer kimyasal değiştiriciler uygulanırsa, çok yüksek sodyumlu sular sınırlı ölçüde sulama suyu olarak kullanılabilir.

Son zamanlarda SAR değerinin yerini alması için revize edilen bir SAR değeri (SAR_{tad}) olarak önerilmiştir. Buradaki kalsiyum çözünürlüğü suda bulunan HCO_3 konsantrasyonuna bağlı olan değişkenliği göz önünde bulundurularak Ca_x kullanılmaktadır. Ca_x , HCO_3/Ca ve EC 'ye bağlı olarak değişmektedir. SAR ifadesi SAR_{tad} ifadesinden daha yaygın kullanılmaktadır. Topraktaki kimyasal karakterler veya su kalitesi kalsiyum dengesini bozabilecek durumda ise SAR_{tad} değerin kullanılması önerilir (AATTUT, 2010).

Yüksek alkali su konsantrasyon dengesini bozabilir ve daha yüksek SAR_{tad} değerlerine neden olabilir. EC ve SAR 'nın toprak üzerindeki infiltrasyonu Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. SAR ve EC 'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi (AATTUT, 2010).

SAR ve EC değerini bilmek toprağın sızma sorunu hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Toprak içeriğindeki kalsiyumun magnezyum oranına göre daha

fazla olması tavsiye edilmektedir. Kalsiyum sülfat (CaSO_4) toprak geçirgenliğini düzeltmek için kullanılır. Kalsiyum sülfat doğrudan toprağa veya suya karıştırılarak uygulanabilir. Bazı bitkilerin sulama suyundaki sodyuma toleransı Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Farklı bitkilerin sulama suyu içerisinde bulunan sodyuma toleransı (AATTUT, 2010).

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turuncgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

Toprakta sulama suyu kullanımının kısıtlanması, iletkenlik ve SAR’nın birlikte değerlendirilmesi ile belirlenir. Mutlak durumda, SSKKSYKHY’nın genel olan sulama için geliştirilen kriterlere göre 20 ile 40 arasında yüksek bir SAR değeri kullanmaktan kaçınmak için iletkenlik $> 5,0$ dS/m olmalıdır. Fakat bu durumda yüksek bir SAR değeri zamanla zemine zarar verecektir. Ayrıca yüksek derecede iletkenlik değerleri bitkiler için zararlıdır (Duman, 2017).

Tablo 4.8. SSKKSYKHY genel sulama suyu kriterleri (SSKKSYKHY, 2015).

Kalite Kriteri	Birim ⁵	Kullanım	Az-Orta	Yüksek
		Kısıtlaması	Kullanım	Kullanım
		Yok	Kısıtlaması	Kısıtlaması
Geçirgenlik <i>(Suyun toprakta emilim oranını etkiler. SAR ve EC_w birlikte değerlendirilmelidir.)²</i>				
SAR	0 - 3	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
	3 - 6	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
	6 - 12	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
	12 - 20	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
	20 - 40	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
	ve EC _w			

4.1.4. Özgöl İyon Toksisitesi

Sudaki veya topraktaki bazı iyonlar bitkiler tarafından emilir ve burada birikir, bazı bitkiler bu iyonların varlığına karşı hassas olabilir. Bu iyonlar; klorür, bor ve sodyumdur. Bu üç iyon bitkiler için toksittir. İyonlar sulama yoluyla birikir ve toksit seviyelere gelene kadar toprakta birikebilirler.

4.1.4.1. Klor

Klor toprakta tutulmaz bu nedenle kolayca taşınır ve yapraklarda birikir. Klor konsantrasyonu bitkinin toleransını aşar ise hassas bitkilerde semptomları açığa çıkarır. Klor toksitesi ilk olarak yaprak ucunda ortaya çıkar ve şiddet arttıkça yaprak kenarlarına doğru ilerler kuruma ve yanma şeklindedir (Ayers ve Westcot, 1989).

Tablo 4.9. Bitki yapraklarına zararlı klor seviyeleri (AATTUT, 2010).

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

4.1.4.2. Bor

Bor tüm bitkilerin büyümesi için gereklidir ancak bora küçük miktarlarda ihtiyaç duyulmaktadır bitki toleransını aşarsa zarar verir bitkiye yeterli miktarda bor sağlamak için minimum 0.02 ppm bor gereklidir. Borun toksit özelliğini engellemek için de sulama suyundaki bor seviyesi 0.03 ppm'den düşük olmalıdır. Bor toksisitesinin bitkideki etkileri yaprak ucundaki yaprak dokusunu sararması beneklenmesi veya kuruması gibi semptomlardır. Bu belirtiler ilk olarak yaşlı yapraklarda görülür tabloda bor için bitki tolerans seviyeleri gösterilmiştir sulama için arıtılmış atık su kullanırken bu sınıflandırma dikkate alınmalıdır (Ayers ve Westcot, 1989). Tablo 4.10'da bor için bazı bitkilerin dayanıklılık dereceleri verilmiştir.

Tablo 4.10. Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri (AATTUT, 2010).

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	Bor: > 4.0 mg/L	Bor: 2.0-4.0 mg/L	Bor: 1.0-2.0 mg/L	Bor: 0.5-1.0 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızması pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		
Soğan				√
Patates			√	
Domates	√			
Şalgam		√		
Yem bitkileri				
Kaba yonca	√			
Arpa (at yemi)				√
Börülce				√
Meyveli ağaçlar				
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Üzüm				√
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√

4.1.4.3. Sodyum

Aşırı klorda yaprak uçları yanarken yüksek sodyum seviyelerinde önce yaprak kenarları yanmaya başlar ve toksite de arttıkça damarlar boyunca yanma ilerler yüksek sodyum toprak yapısını bozarak dolaylı olarak bitki büyümesini engeller (Ayers ve Westcot, 1989).

4.1.5. Eser Elementler ve Nütrientler

Kentsel atık sular endüstriyel atık sulardan daha düşük seviyelerde inorganik bileşenlere sahiptir ve genellikle çamurda birikir. Kentsel atıksu ile endüstriyel atıksu karıştığında atıksuda ağır metallerin bulunma riski fazladır. Bu durum gelişmekte olan ülkelerde sık görülen bir durumdur. Ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile bitkilerin toprak kök ve yaprak meyvelerinde zamanla birikirler (Elgallal vd., 2016).

Eser elementler, çevrede çok düşük seviyede konsantrasyonlarda bulunurlar. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi konsantrasyonlarına bağlıdır. En önemli eser elementler; bakır, molibden, çinko, kadmiyum ve nikelidir. Geleneksel arıtma yöntemleri ile önemli ölçüde azaltılabilirler. Düşük pH'lı topraklarda aktif olurlar ve toksitlik yaratırlar düşük pH'lı topraklarda eser elementlere dikkat edilmelidir (Baskan, 2006).

$pH < 5.5$ olan asidik topraklar, bitkilerde ağır metallerin alımını artırır. Tarım amaçlı sulamada toprak pH değeri 6.5 -8 aralığında değişir ve az alkalidir. Burada ki durum toksik olan kimyasalların bitki yapılarına alınmasını zorlaştırır. Bu nedenle endüstriyel atık sular sulama amaçlı kullanıldığında ağır metal konsantrasyon uyumluluğuna dikkat edilmelidir (Kukul vd., 2007).

Eser elementlerin fazla konsantrasyonlarda alınması bitkinin yapraklarında hasar ve büyümede eksiklik yaratır. Genel olarak evsel atık sudaki eser elementlerin konsantrasyonları düşüktür fakat endüstriyel deşarj olduğunda konsantrasyonlar artabilir.

Arıtılmış atık sudaki eser maddelerin tahmini konsantrasyonları Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Tablo 4.12'de sulama suları için ağır metal ve toksit elementlerin maksimum konsantrasyonları için izin verilen değerleri verilmiştir.

Tablo 4.11. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/L) (AATTUT, 2010).

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa sürelili	Uzun sürelili
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmiyum (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

Tablo 4.12. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (AATTUT, 2010).

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	- ³	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)¹	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05 ²
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

Arıtılmış evsel atıksu sulama için yararlı nütrientler içerir. Bu ücretlerin en önemlisi fosfor, potasyum ve azotdur. Azot ile fosfor bitki büyümesini etkiler azot

genellikle belirli bir gübreleme etkisi olan amonyum nitrat formunda bulunur. Azot miktarı arttığında bitkinin olgunlaşması ve büyümesi yavaşlar. Bitki ihtiyaçlarını aşan seviyelerde uygulandıklarında, yeraltı sularına sızma riski olabilir (Elgallal vd., 2016).

Yüksek düzeyde fosfor bitkilere zarar vermez yüzey sularının karıştığında zarar oluşturur (Baskan, 2006). Tablo 4.13’de arıtılmış atık suyun oluşabilecek nütrient düzeyleri verilmiştir.

Tablo 4.13. Arıtılmış atıksuda olabilecek nütrient düzeyleri (AATTUT, 2010).

Elementler, mg/L	Birim	Ham atıksu	Klasik Aktif çamur	BNR	BNR+filtrasyon+ dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF+RO + dezenfeksiyon
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	mg N/L	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

BNR: Biyolojik nütrient giderimi MBR: Membran biyoreaktör

4.1.6. pH

pH asitlik ve bazlığın bir göstergesidir. Nadiren sorunlara yol açar. Sulama suyu için uygun aralıklar 6.5 ile 8.4’tür. Bu aralığın dışında pH beslenme dengesizliği oluşturabilir. Topraktaki pH değeri toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal özellikleri üzerinde mutlak bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bitki yetiştiriciliğinde bitki toprak tabakasının pH değerinin bilinmesi ve hangi pH değerinde bitkinin en iyi şekilde büyüyeceği bilinmelidir. Her bitki için uygun pH değeri farklıdır. Örneğin çay bitkileri oldukça asidik bir toprağa ihtiyaç duyarken pamuk daha alkali topraklarda yetişir.

Yüksek pH ile alkali topraklarda mikrobiyal aktivite çok düşüktür. Bu nedenle bitki besin elementlerinin yarar sağlaması büyük ölçüde azalır. Sonuç olarak bitkiler besinlerden mümkün olduğunca yararlanamaz ve tarımsal üretim sırasında verim azalması ciddi ekonomik sorunlara neden olur. Yüksek pH’lı topraklarda kükürt içerikli gübre ile pH düşürülerek verim artacağı gibi düşük pH’lı sular içinde kireç içeren gübreler tercih edilmelidir (Özyürek, 2016).

Düşük tuzluluktaki sular normal olmayan pH değerine sahip olabilir. Bu sular genellikle toprağa ve ürünlere daha az zararlıdır ancak çok aşındırıcıdır. Boruları ve kontrol ekipmanlarını hızla aşındırır. Tablo 4.14’de sulama suyu sınıflarına göre değerler verilmiştir.

Tablo 4.14. Sulama suyu sınıflarına göre pH değeri (AATTUT, 2010).

Kalite kriterleri	Sulama Suyu Sınıfları				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı)
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5 - 9	< 6 veya > 9

4.1.7. Patojenler

Foseptiklerin etkisi altındaki yeraltı suyunda ve/veya atıksu deşarjının yapıldığı/sızıntının gerçekleştiği yüzey sularında patojen mikro organizmaların bulunması muhtemeldir. Bununla birlikte arıtılmış atıksularda dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmediyse patojen içermesi çok yüksek ihtimaldir. Bu yüzden özellikle arıtılmış atık sularının tarımsal sulamada tekrar kullanımındaki en önemli faktör enfeksiyon kaynaklı sağlık sorunlarına yol açma potansiyelleridir. Sudaki patojenlerin varlığı arıtma seviyelerine bağlıdır.

Patojenik mikroorganizmalar uzaklaştırılmadan doğrudan tarımsal sulama için kullanıldıklarında bitkilere ve ardından da insanlara bulaşarak hastalığa neden olurlar. Doğrudan, çiğ olarak tüketilen sebze ve meyveleri direk etkileyebilmektedir ve tarım sektöründe çalışan işçiler de bu riske maruz kalmaktadır (Can, 2021).

Sulama için arıtılmış su kullanımına yönelik minimum gereksinimleri karşılamak üzere iki farklı mikrobiyal sınıf oluşturulmuştur. Ticari olarak işlenmemiş gıda ve park ve bahçeler gibi kentsel sulama, yenilebilir ürünler su ve insanlarla temas ettiğinden çok yüksek kalitede sulama suyu gerektirir. Bu durumda sulama suyu fekal koliformlardan arındırılmalı ve mikrobiyolojik kalitesi iyi kontrol edilmelidir. AATTUT (2010)’e göre (Fekal koliform değeri hiçbir zaman 14 ad/100 mL’yi geçmemelidir). Buna ek olarak, ticari olarak işlenmiş gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve bağlar), çimen üretimi ve kültür tarımı ile hayvanların otlatılması için mera ve saman gibi halkın erişiminin sınırlı olduğu alanlarda sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi daha düşük olabilir. Bu durumda dışkıdaki koliform değeri 200 adet/100 mL’den (30 günlük ortalama) az olmalı ve asla 800 adet/100 mL’yi

geçmemelidir (AATTUT, 2010). Atık su patojenleri sağlığa zararsız seviyelere indirmek için uygun dezenfeksiyon işlemleri kullanılarak arıtılmalı ve dezenfekte edilmelidir. Ozon ve ultraviyole (UV) dezenfeksiyon yöntemlerinden en yaygın olanlardır (Ak ve Top, 2018).

Klorlama işlemi sonrasında toksik klorlanmış organik bileşiklerin oluşabileceği göz önünde bulundurularak dezenfeksiyon olarak kullanılması sınırlandırılmalı ve takibi/izlenmesi sağlanmalıdır.

Tablo 4.15’de SSKKYKHY E.Coli konsantrasyonlarının bitkiler üzerindeki uygulanabilirliği verilmiştir. Tablo 4.16’da arıtılmış atıksu ile sulamadan kaynaklanan patojenik organizmaların hastalığa neden olan etkileri verilmiştir.

Tablo 4.15. SSKKYKHY E.Coli konsantrasyonunun bitki üzerindeki etkisi ve uygulama yöntemleri (SSKKSYPKHY, 2015).

Konsantrasyon (E. Coli sayısı/100 mL)	Bitki kalitesi üzerinde etki ve uygulama yöntemleri
<1	Çok düşük etki (tüm bitkiler ve tüm sulama yöntemleri için)
1-1000	Çok düşük etki (çiğ tüketilmeyen bitkiler için tüm sulama yöntemleri ile)
>1000	Park, bahçe vs. gibi su ile direk temasın olmadığı durumlarda

Tablo 4.16. Arıtılmış atıksu ile sulamadan kaynaklanan patojenik organizmaların hastalığa neden olan etkileri (Duman, 2017).

Patojen	Çevredeki Dayanıklılığı	Minimum Bulaşıcı Doz	Bağışıklık	Rastlantısal Bulaşma Rotası	Gizlenme/Toprakta Gelişme Safhası
Virüsler	Orta Süre	Düşük seviye de	Yüksek	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Bakteriler	Kısa-orta süre	Orta-yüksek seviyede	Düşük-orta	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Protozoalar	Kısa süre	Düşük-orta seviyede	Hiç-az	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Helmintler	Uzun süre	Düşük seviye de	Hiç-az	Genelde evin ve yiyeceğin dışında toprak ile temas	Var

Toprakta patojenlerin yaşam süresi çeşitli şartlara bağlı olarak değişir. Helmint grubundan yani bağırsak solucanları, doğal koşullar altında en kalıcı olanlardır. Genel olarak, patojenler soğuk ve nemli iklimlerde daha uzun yaşam süresine sahiptir. Kurak olan iklimlerde ve yarı kurak iklimlerde toprak ve iklim şartları

patojenlerin ölümüne yada inaktivasyonuna neden olur. Helminthler toprakla temas yoluyla oldukça bulaşıcıdır ve helminthler dışındaki patojenlerde enfeksiyon insanlara evlerindeki yiyecekler yoluyla bulaşır (Kukul vd., 2007).

Birçok risk faktörü, tarımsal sulama için suyun yeniden kullanımı ile ilişkilidir. Bazı risk faktörleri kısa süreli etkilidir ve etkilerinin şiddeti insan, hayvan veya çevresel maruziyet (mikrobiyolojik patojenler gibi) nesnesine göre değişir. Öte yandan, diğer risk faktörlerinin (toprak tuzluluğu, toksik kimyasalların etkileri gibi) uzun vadede ve sürekli artırılmış su kullanımı üzerinde etkisi vardır (Toze, 2006). Atık sularındaki patojenler ve mikrokimyasal maddelere ilişkin riskler Tablo 4.17.'de verilmiştir.

Tablo 4.17. Atık sularındaki patojenler ve mikrokimyasal maddelere ilişkin riskler (Kukul vd., 2007).

	Patojenler	Kimyasallar
Risk kaynakları –Risk oluşturanlar	Bakteriler Virüsler Helminthler (bağırsak solucanları) Protozoa (tek hücreliler)	Ağır metaller Nitratlar ve Nitritler Organik mikro kirleticiler
Riskin oluşma nedeni	Bir defalık veya tekrarlanan “ tüketim ” veya temas	Tekrarlanan “ tüketim ”
Riskin oluşma yolları	Sebzelerin, midye gibi kabuklu deniz hayvanlarının yenmesiyle v.b. Suyun içilmesiyle. Aerosol nedeniyle. Doğrudan veya dolaylı yollardan suyla temas edilmesiyle. Vektörler aracılığıyla (su civarında yaşayan böcekler gibi).	Çeşitli yiyeceklerin yenmesiyle. Suyun içilmesiyle
Risk kaynaklarına maruz kalınmış etkilerin ortaya çıkışı	Genellikle çabuk görülür.	Genellikle uzun süre sonra görülür

4.1.8. Askıda Katı Maddeler

Askıda katı maddeler yani AKM konsantrasyonu su dağıtım şebekesinin tıkanmasına neden olabilir. Bunun sebebi AKM içerisindeki organik madde miktarının kentsel atık sularda fazla olmasıdır. Organik madde miktarının çoğu mikrobiyal faaliyetlerin artmasına ve biyokütle artışına neden olmaktadır. Biyokütle

artışı ve AKM'de kalıcı inorganikler zaman içerisinde toprak filtrasyon kapasitesini azaltır ve toprak sulama sisteminin tıkanmasına neden olur (Ak ve Top, 2017). Sulama suyunda AKM konsantrasyonları istenmese de 30 mg/L konsantrasyonu kabul edilebilir. Sulama sistemlerinin tıkanmasına debi, sıcaklık ve güneş ışığı gibi faktörler de etki etmektedir (AATTUT, 2010).

4.1.9. Mikro Kirleticiler

Atık sularda çeşitli makro ve mikro kirleticiler bulunmaktadır. U.S.A EPA mikrokirleticilerin yasal statüsü olmadığını çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılmadığı yeni kimyasallar olarak ifade etmektedir (Akkurt ve Oğuz, 2019). Bu kirleticiler farmasotikler kişisel bakım ürünleri, steroid hormonları, endüstriyel kimyasallar, böcek ilaçları ve birçok bileşikten oluşur (Odabaşı Üstün vd., 2020).

Mikro kirleticiler su ortamlarında çok düşük konsantrasyonlarda bulunur ve birçok kirleticisi kararlıdır. Biyolojik arıtmaya karşı dirençlidir klasik arıtma tesislerinde arıtilamaz ve doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilir (Akkurt ve Oğuz, 2019). Tablo 4.18’de mikro kirleticilerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Tablo 4.18. Mikrokirleticilerin sınıflandırılması (Odabaşı Üstün Vd., 2020).

Farmasötik Maddeler	Endokrin Bozucu Maddeler
• Analjezik/Anti- Enflamatuvar İlaçlar	• Österojenler
• Antibiyotikler	• Progestojenler
• Antikonvülsanlar	• Östrojen Antagonistleri
• Kalp,kemoterapi,röntgen ve kolesterol ilaçları	• Androjenler ve Glukokotikoidler
Kişisel Bakım Ürünleri	• Fitoöstrojen
• Dezenfektanlar	• Veterinerlik ve Büyüme Hormonları
• Kokular (Fragrances)	• Tarım İlaçları
• UV Koruyucuları	• Sentetik Kimyasallar
	• Yüzey Aktif Maddeleri

4.1.10. Farmasotik Maddeler

Farmasötik maddelerdeki temel problem kronik toksitedir. Bu Maddeler kolaylıkla suda çözündüğü için atık sularda bulunur ve doğal sular ile kolayca karışır. Yan etkilere neden olup su ortamdaki organizmalara zarar verir. Farmasotik

bileşikler dışkı ve idrar yoluyla atık su arıtma tesislerine ulaşır ve değişim geçirilmeden sucul ortamlara karışır (Odabaşı Üstün vd., 2020).

4.1.11. Endokrin Bozucu Maddeler

Vücudun sağlıklı çalışması için önemli olan hormonların aktivitesini etkileyebilecek çeşitli kimyasallar vardır bu kimyasallara endokrin bozucu kimyasallar denir. Endokrin bozucu kimyasallar hormon benzeri oldukları için organizmanın normal fizyolojisinde hormonal bozulmaya neden olur. Balık cinsiyeti hormonlar tarafından kolayca değiştirilebildiğinden östrojenik etkileri olan endokrin bozucular ciddi bir tehdit oluşturur. İnsan sağlığı üzerindeki etkileri ise başta üreme sistemi olmak üzere birçok patolojiye neden olduğu gösterilmiştir. Bu maddeler ağızdan gıda yoluyla, deterjan kozmetik gibi evsel kullanım sırasında ise deri yoluyla alınır ve sağlık problemleri ortaya çıkartmaktadır (Topal ve Arslan Topal, 2016).

4.1.12. Kişisel Bakım Ürünleri

İnsan ve hayvan tüketimi için ilaçlar, lipit düzenleyiciler, sentetik hormonları, kokular, şampuanlar, güneş kremleri ve kozmetik ürünlerini içerir. Birçok kişisel bakım ürünü orijinal veya biyolojik haliyle atık suya karışır ve atık su arıtma tesisine girer. Bu maddelerin bir kısmı mineralize olur bir kısmı çamur olarak tutulmaktadır veya dönüşüme uğramadan deşarj edilir. Antiseptik özelliğe sahip olan bakım ürünleri atık su arıtma tesisinin biyolojik arıtma alanındaki bakterilere karşı direnç gösterir ve işleyişi bozar (Odabaşı Üstün vd., 2020).

Atıksuların yeniden kullanılması için uygun kaliteye getirilip incelenmesi gereken parametrelerin etkileri Tablo 4.19’da özetlenmiştir.

Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri

SODYUM

Yüksek sodyum koşullarında toprak yapısı bozulur, toprak bozunması toprak gözenekliliğini azaltır ve büyük boşlukları tıkayarak su ve havanın toprağa girmesini engeller. Ayrıca sodyumun bitkiler üzerinde toksik etkileri vardır (Urbano vd., 2017; Maathius, 2014). Fazla sodyum kil partiküllerinin bir araya gelmek yerine dağılmasına ve bazı durumlarda şişmesine neden olur. Düşük gözenekliliğe, düşük geçirgenliğe, ıslakken zayıf havalandırmaya ve kuruyken büyük öbeklere ve derin çatlaklara sahip topraklar üretir ve pH değeri genellikle yüksektir (Shuval vd., 1986). Sodyumun kamusal su mevcudiyetini doğrudan etkilediği ve topraklarda, özellikle toprak yapısında zararlı fiziko-kimyasal değişikliklere neden olmaktadır. Toprağı dağıtma kabiliyetine sahiptir, bu da daha düşük geçirgenlik, daha düşük kayma mukavemeti ve artan sıkıştırılabilirlik ile sonuçlanır. (Javobi vd., 2014)

KLOR

Klor toprak tarafından adsorbe edilmediğinde bitki tarafından topraktan kolayca alınır, toprak ve su tuzluluğunun önemli bir kısmını oluşturur. Klor iyonlarının sebep olduğu zarar çok hızlı ve şiddetlidir (Bingöl ve Altıkat, 2017).

EC

Yüksek tuzluluk, bitki büyümesinde, gelişmesinde ve üretkenliğinde sınırlayıcı bir faktördür. Artan toprak tuzluluğu, toprak geçirgenliğini ve hidrolik iletkenliği azaltır (Becerra-Castro ve ark. 2015). Toprak çözeltisindeki tuz konsantrasyonu arttıkça toprak ozmotik basıncı artar ve bu durum bitkilerin topraktan su almasını engelleyerek fizyolojik bir kuraklık sorunu EC değeri ne kadar yüksek olursa, toprak ıslak görünse bile bitkiler için o kadar az su bulunur. Bitkiler yalnızca 'saf' suyu soluyabildikleri için, toprak çözeltisindeki mevcut bitki suyu artan EC ile önemli ölçüde azalır (Joshi vd., 2009).

MAGNEZYUM VE KALSİYUM

Magnezyum toprak için tuzluluk oluşturan temel iyonlardan biridir. Magnezyum suda gereğinden fazla ise, toprak daha tuzlu hale geldiğinden mahsul verimi üzerinde olumsuz bir etki olacaktır. Suyun sertliği genellikle kalsiyum ve magnezyumdan kaynaklanır (Bhat vd., 2016 ; Omotoso ve Ojo, 2012)

TDS

Atık suda, yüksek TDS seviyeleri genellikle iyon değişiminin ve baskın iyonların çözünmesinin neden olduğu yüksek mineral içeriğine atfedilir. Sulama durumunda, tuzlar su ile birlikte uygulanır ve su buharlaştıkça veya ürün tarafından kullanılırken toprakta kalır. Tuz, mahsulün kök bölgesinde verim kaybına neden olacak bir konsantrasyonda birikirse, bir tuzluluk sorunu vardır. Su alımı önemli ölçüde azalırsa, bitki büyüme hızını yavaşlatır. Yüksek TDS konsantrasyonları suyun rengini değiştirir ve su berraklığını azaltır, fotosentezin azalmasına katkıda bulunur, toksik bileşikler ve ağır metallerle birleşir ve su sıcaklığının artmasına neden olabilir (Joshi vd., 2009; Alfalahi vd., 2023).

Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)

TAKM

Yüzeyde birikebilir ve toprağın sızdırmazlığına neden olabilir, birikim önemli bir mineral bileşen içeriyorsa ve organik ise, toprak sıcaklıkları mikroorganizma aktivitesine uygunsa, toprak mikroorganizmaları tarafından ayrıştırılabilirler. Malzemelerin soğuk havalarda yüzey bölgelerinde birikmesi ve ardından daha sıcak havalarda ayrışması, kök sisteminin yoğunlaştığı çok sığ derinliklerde ayrışma meydana gelirse toprakta aşırı oksijen tükenmesi dönemlerine yol açabilir. Askıda katı maddelerin varlığı, sprinkler başlığı açıklıklarını ve valflerini tıkayarak ve plastik ve metal bileşenleri aşındırarak sulama sisteminin çalışmasını da etkileyebilir. sulama sistemi bileşenlerinin beklenen ömrünü etkileyebilir ve önemli ölçüde ek maliyete yol açabilir (Harivandi, 1994; Carrow ve Duncan, 1998).

AĞIR METALLER

Az çözünür yapıları ve bitkiler tarafından sınırlı alımları nedeniyle, bu metaller yüzey toprağında ve bu toprakta yetiştirilen ürünlerde ve sebzelerde birikme eğilimindedir (McGrath vd, 1995; Hussain vd, 2019). Eser elementler arasında Pb, As, Cd, Ni ve Cr kanserojen olarak kabul edilirken geri kalanı (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Hg ve Se) kanserojen olmayan elementler olarak kabul edilir (Egbueri vd., 2022). Bazı ağır metaller (örn. Fe, Zn, Mn ve Cu) bazı insan organları için mikro besin görevi görse de, fazla birikimleri toksik hale gelir ve zehir görevi görür (Egbueri vd., 2022; Rashid vd., 2021). Bakır (Cu) yaprak sararmasına ve ayrıca kök büyümesinin baskılanmasına neden olabilir. Çinko (Zn) ve arsenik (As) hem kök klorozu hem de kök büyümesini baskılama yan etkilerine sahiptir. Alüminyum (Al), asitli toprakta üretkenliği azaltabilir. Kurşun (Pb), cam göbeği (CN) ve kadmiyum (Cd) suda veya toprakta çözündüğünden normalde kısıtlanır ve mahsulde birikerek insan vücuduna zararlı hale gelebilir (Yang vd., 2021).

AZOT

Bitki tarafından alınan, yer altı sularına karışan veya toprak erozyonu ve buharlaşması yoluyla kaybolan azot miktarı, atık su ve topraktaki azot konsantrasyonuna, toprağın tipine, mahsul talebine, toprak geçirgenliğine, sulama oranına ve akiferin durumuna bağlıdır. Sulama yoluyla sağlanan azot, öncelikle nitrifikasyon ve ardından amonyum azotu (NH_4^+ -N) ve nitrat azotu (NO_3^- -N) olarak bitkiler tarafından hazır alınır. Ancak aşırı miktarlarda uygulandıklarında bitkinin kalitesini etkileyebilirler (Chen vd., 2013a). Arıtılmış atık sudaki amonyum NH_4^+ konsantrasyonu normalde nitrattan daha yüksektir ve genellikle toprak parçacıklarına bağlanır ve yıkanmaz. Nitratlar, toprak bakterileri tarafından kolayca nitrifikasyon yoluyla nitrata dönüştürülebilir, ancak nitratlar toprak çözeltisinde yüksek oranda çözünür ve özellikle yüksek geçirgenliğe sahip topraklar olmak üzere atık su ile sulanan topraklarda kolayca taşınabilirler. Bitki ihtiyaçlarını aşan seviyelerde uygulandıklarında, yeraltı sularına sızma riski olabilir (da Fonseca vd., 2007; Qadir ve Scott, 2010).

Tablo 4. 19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)

FOSFOR

Normalde atık su düşük konsantrasyonlarda fosfor içerir. Fosfor toprakta kararlıdır ve bu nedenle çevre üzerinde hiçbir olumsuz etkisi olmaksızın faydalı kabul edilir. Yüksek konsantrasyonda fosfor içeren atık sular uzun süre uygulansa bile bu böyledir fakat fosfor zamanla toprak yüzeyinde veya yakınında biriktiği için toprak erozyonu ve yüzey akışı yoluyla yüzey sularına ulaşabilir. Ötrofikasyona katkıda bulunur (Elgallal vd., 2016).

POTASYUM

Genel olarak, atık su düşük seviyelerde potasyum içerir ve normalde bu, mahsulün ihtiyacını karşılamak için yeterli değildir. Sulama için atık su kullanımı genellikle potasyum varlığıyla ilişkili çevre için herhangi bir risk oluşturmaz (Emongor ve Ramolemana, 2004)

pH

Toprak pH'ı, sulama suyunun pH'ına bağlı olarak değişir ve sonuç olarak düşük pH'lı atık su uygulaması, toprak pH'ının düşmesine neden olabilir ve bu da, daha sonra bitki alımına veya alt toprak katmanlarına sızabilecek ağır metal hareketliliğinin artmasına neden olabilir (Xu vd, 2010). Normal aralığın dışında pH seviyelerine sahip su, topraklar ve bitkiler için çok az sorun teşkil eder, ancak oldukça aşındırıcıdır ve su tesisatını, fiskiyeleri ve kontrol ekipmanını hızla aşındırır (Ayers ve Westcot, 1989).

SAR

Emilen kalsiyum ve magnezyumun yerini alan sodyum, toprak yapısına zarar verdiği ve toprağı sıkıştırıp geçirimsiz hale getirdiği için bir tehlikedir (Raju, 2007). Bu, kil parçacıklarının dağılması nedeniyle toprak yapısının bozulmasına neden olabilir ve sonuç olarak bitki büyümesini ve bitkilerin ozmotik aktivitesini düşürmektedir (Bhat vd., 2016). Sulama suyunun SAR değeri arttıkça, toprağı asitleştirme eğiliminde olan toprağın değişebilir sodyum içeriği de artar. Yüksek sodyum koşullarında toprak yapısı bozulur, toprak bozunması toprak gözenekliliğini azaltır ve büyük boşlukları tıkayarak su ve havanın toprağı girmesini engeller (Urbano vd., 2017).

BOR

Bor'un bazı sulama sularında toksik konsantrasyonlarda bulunması, su kalitesinin değerlendirilmesinde bu elementin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Bor, hemen hemen tüm doğal yüzey ve yeraltı sularının bir bileşenidir, ancak konsantrasyonları birkaç eserden milyonda bir parçaya kadar değişir. Bitki büyümesi için gereklidir, ancak optimumun biraz üzerindeki belirli konsantrasyonlarda aşırı derecede toksik olabilir (Omotoso ve Ojo, 2012).

Tablo 4.19. Parametrelerin toprak ve yeraltı suyu üzerindeki etkileri (devamı)

Sülfat
Yüksek seviyelerde sülfatlar, kalsiyumun topraktan emilimini engellediği için bitkiler üzerinde toksik etkilere sahip olabilir. Bunun nedeni bitki gelişme geriliğine neden olabilmesidir (Kıymaz vd., 2016). Suda bulunan yüksek sülfat miktarı yüksek tuz miktarı, yüksek sertlik ve yüksek asidite anlamına gelmektedir. Sülfat arttıkça elektriksel iletkenlik artar ve pH değeri düşer (Şimşek vd., 2016).
BOİ
Sulama suyunda aşırı miktarda organik madde içeriğinin bulunması, toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta, su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır (Bedbabis vd., 2013). Biyolojik oksijen ihtiyacı, organik kirliliğin en önemli ölçüsüdür. BOİ, bakterilerin aerobik koşullar altında parçalanabilir organik maddeleri stabilize etmek için ihtiyaç duyduğu oksijen miktarıdır (Gümüş ve Akgöz, 2020).

4.2. Temel Tarımsal Sulama Kriterleri

Sulama suyu kalitesi, bitki toksisitesi ve besin tüketimi yoluyla bitki büyümesini doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Özellikle tarımsal suların içerdiği maddeler ve konsantrasyonları sulama suyunun kalitesini belirlemektedir. Sulama suyu analizi, sudaki toplam tuz konsantrasyonunun yanı sıra önemli tuz ve elementlerin miktarını da belirler (Özer ve Köklü, 2019).

Sulama suyunun kalitesi tarımsal mahsülün randumanı üzerinde oldukça etkilidir ve toprak sağlığının gelecekteki durumunu belirler. Bu yüzden sulama suyunun kalitesini değerlendirerek, sulama suyu ile ilgili gelişebilecek sorunlar önlenmelidir. Karşılaşılabilecek olası problemlerden yola çıkılarak çeşitli kalite kriterleri geliştirilmiştir. Doğada bulunan suyun bileşimi değişken olduğundan, sulama sularını değerlendirmek için kalite kriterleriyle birlikte sınıflandırma sistemleri de oluşturulmuştur. Bu kriterler vesilesiyle sulama suyunun hangi sınıf içerisinde yer aldığı ve amacına uygun kaliteye sahip olduğu, kullanırken gelişebilecek sorunlar hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu amaçla, uzun bir süredir, çeşitli indisler tarımsal sulama suyu değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Bu indisler arasında sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), Kelly oranı (KI), sodyum yüzdesi (%Na), Magnezyum oranı (MAR), Kalıntı sodyum karbonat (RSC), yüzde sodyum çözünürlüğü (SSP), Permeabilite indeksi (PI) yer almakta olup Tablo 4.20.'de verilen bağıntılardan da görüldüğü üzere çeşitli parametrelerin birlikte değerlendirmesini sağlayacak değerin hesaplanmasına dayanmaktadır.

Tablo 4.20. Sulama için su kalitesi indeksleri (Acharya vd., 2018).

1.Yüzde Sodyum (%Na) : $(Na + K) \times 100 / (Na + K + Ca + Mg)$
2. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) : $Na / ((Ca + Mg) / 2)^{0.5}$
3. Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC) : $(CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$
4. Magnezyum Oranı (MAR) : $Mg \times 100 / (Ca + Mg)$
5. Kelly Oranı (KI) : $Na / (Ca + Mg)$
6. Permeabilite İndeksi (PI%) : $(Na + HCO_3 - 0.5) \times 100 / (Ca + Mg + Na)$
7.Çözünür Sodyum Yüzdesi: $(Na / (Ca + Mg + Na)) \times 100$

SAR parametresi, Na iyonlarının toprakta adsorbe edilme eğilimini temsil eder ve toprak geçirgenliğini etkiler.

SAR değeri; 0-10 harika

10-18 iyi

18-26 tehlikeli

> 26 uygun değildir (Ayers and Westcot, 1989).

Kelly İndeksi (KI), sudaki kalsiyum ve magnezyumdan ölçülen sodyum konsantrasyonuna dayalı olarak sulama suyu kalitesini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Kelly indeks oranı $KI < 1$ olan sular sulama için uygundur, $KI > 1$ olan sular sulama için uygun değildir (Kelley, 1940).

% Na sulardaki sodyum içeriğinin yüzdesini değerlendirmek için kullanılır. Sulama suyundaki yüksek Na konsantrasyonları kil partikülleri tarafından emilir ve yerini Mg ve Ca iyonları alır. Sudaki Na ve topraktaki Ca ve Mg yer değiştirmesi geçirgenliği azaltır (Merouche vd., 2019).

% Na değeri < 20 ise harika

20-40 iyi

40-60 izin verilebilir

60-80 tehlikeli

> 80 uygun değildir (Wilcox, 1955).

Magnezyum adsorpsiyon oranı, suyun sulama için uygunluğunu değerlendirmek için en önemli kriterlerden biri olarak kabul edilir. Sulama suyundaki fazla magnezyum, mahsul verimini olumsuz yönde etkileyen yüksek toprak tuzluluğuna yol açar (Karakuş ve Yıldız, 2020).

MAR değeri; < 50 uygun

> 50 uygun değildir (Paliwal, 1972).

Kalıntı sodyum karbonatın (RCS) fazla olması sodyumun zararlı etkilerini artırmaktadır. RSC değeri; < 1.25 iyi

1.25-2.5 orta

> 2.5 uygun değildir (Bozan Kapdı ve Aşık, 2021).

Çözünür sodyum oranı (SSP) toprak geçirgenliği ile ilgili olduğu için, çözünür sodyumun oranı sulama suyunun sınıflandırılmasında önemli bir kriterdir. Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonları ile yer değiştiren sodyum iyonu, toprağın geçirgenliğini azaltır ve toprağın sertleşmesine neden olur. Ayrıca, sodyumun klorür ve karbonatlarla kombinasyonundan kaynaklanan tuzluluk ve alkalilik, bitki büyümesi ve mahsul verimliliği için zararlıdır. çözünür sodyum yüzdesi <50 iyi, >50 iyi değil anlamına gelmektedir (Elemile vd., 2022).

Geçirgenlik indeksi (PI), su kalitesinin toprağın fiziksel özellikleri üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmek için kullanılır. Sulama suyu kalitesinin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki uzun vadeli etkileri, temel olarak sulama suyunun toplam tuzluluğuna (Na^+ , HCO_3^- , CO_3^-) ve başlangıçtaki toprak özelliklerine bağlıdır (Kırda, 1997). PI ile ilgili olarak, su kütleleri üç sınıf olarak sınıflandırılmıştır. $PI \geq 75$, Sınıf I uygun değildir. $PI = \%25-75$ Sınıf II iyi anlamına gelmektedir ve $PI \leq \%25$ Sınıf III uygun olarak sınıflandırılır (Doneen,1964).

Tarımsal sulama yapılırken kullanılan suyun ilgili su kalite kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Bu kriterler birçok ülke tarafından ülke koşullarına özel geliştirilmiş olmakla birlikte Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından da tanımlanmıştır. Buna göre önemli olduğu kabul edilen çeşitli su parametreleri için kullanım amacına ve/veya sınırlamasına göre farklı eşik değerleri belirlenmiştir. FAO Sulama İçin Su Kalitesi rehberinde ki değişkenler Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Tarımsal sulamada kullanılacak su kalite kriterlerinin FAO standartları (Ayers ve Westcot, 1989).

Potansiyel Sulama Problemleri		Birim	Kullanım Sınırlama Derecesi		
			Yok	Hafif-Orta	Şiddetli
Tuzluluk (Bitki su yarıyışlılığını etkiler) ²					
EC _w		dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Veya					
TDS		mg/l	<450	450-2000	>2000
İnfiltrasyon (Toprak içerisine suyun sızma hızını etkiler. EC _w ve SAR değerlerinin her ikisi kullanılarak değerlendirilir)					
SAR	0-3	ve	>0.7	0.7-0.2	<0.2
	3-6		>1.2	1.2-0.3	<0.3
	6-12		>1.9	1.9-0.5	<0.5
	12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
	20-40		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Özel İyon Toksikliği (Duyarlı bitkileri etkilemektedir)					
Sodyum (Na) ⁴	Yüzey Sulama	SAR	<3	3-9	>9
	Yağmurlama sulama	me/l	<3	>3	
Klor (Cl) ⁴	Yüzey Sulama	me/l	<4	4-10	>10
	Yağmurlama sulama	me/l	<0.7	>3	
Bor (B) ⁵		mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
İz elementler (Çizelge 21'e bakınız)					
Diğer Etkiler (Hassas bitkileri etkilemektedir)					
Azot (NO ₃ -N) ⁶		mg/l	<5	5-30	>30
Bikarbonat (HCO ₃) Yalnızca yağmurlama sulama		me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Normal aralık 6.5-8.4			

FAO Sulama İçin Su Kalitesi rehberinde “kullanımda sınırlama yok” şeklinde belirtildiğinde özel uygulamalara gerek duyulmadan bütün bitkiler için tam üretim kapasiteleri olduğu kabul edilir. Kullanım sınırlama derecesi, derecesi “hafif-orta”, özel uygulamalara ihtiyaç duyulabilir veya bitki seçimi yaparken sınırlama olabileceği kabul edilir. Kullanım sınırlama derecesi “şiddetli” kabul edildiğinde özel uygulamalara ihtiyaç duyulur ve bitki seçimi yaparken sınırlama vardır. Fakat bu durum suyun kullanılmaması gerektiğini ifade etmez. Su, önemli ölçüde farklı koşullar altında kullanılıyorsa, kılavuz değerler ayarlanmalıdır. Yapılan varsayımlardan önemli sapmalar, özellikle bir sınır durumunda, belirli bir su kaynağının kullanımına ilişkin hatalı yargılara yol açabilir. Yeterli deneyim, saha deneyimi, araştırma ve gözlemlerle, yol gösterici değerler yerel koşullara daha iyi uyacak şekilde ayarlanabilir (Ayers and Westcot, 1989).

Tarımsal su kalitesi, bitkinin kalitesi ve verimi üzerindeki etkisi ve toprak özellikleri üzerindeki etkisi ile belirlenmektedir (Etteieb vd., 2015).

4.3. Su Kalite İndeksi

Su Kalitesi İndeksi (WQI), suyu tüketim (içme suyu olarak) ve kullanım (tarımsal sulama ve endüstriyel kullanım) için değerlendirirken kullanılan önemli bir araçtır. Su tüketimine yönelik su kalitesinin değerlendirilmesinde her bir su kalitesi parametresinin birleşik etkisini belirleyen bir sıralama tekniği olarak tanımlanır. Ana amacı, fazla su kalitesi verilerini anlaşılır ve bilgilendirici bir şekilde azaltmaktır.

WQI, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir;

$$WQI = \sum [W_i \times \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100]$$

$$W_i = w_i / \sum w_i$$

Burada W_i , her parametrenin göreceli ağırlığıdır, w_i : parametre ağırlığıdır. C_i her bir kimyasal parametrenin ölçülen konsantrasyonudur, S_i kimyasal parametrenin tavsiye edilen standart değeridir. w_i değeri maksimum olarak 5 ve minimum olarak 1 olarak atanır (Ustaoglu vd., 2021). Hesaplanan WQI değerleri Tablo 4.22.'de görüldüğü gibi beş kategoride sınıflandırılır.

Tablo 4.22. Su kalitesi indeksine göre su tipleri (Şimşek vd., 2022).

WQI < 50 mükemmel (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun A sınıfı)
50 < WQI < 100 iyi (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun B sınıfı)
100 < WQI < 200 zayıf (sulama ve endüstriyel kullanıma uygun C sınıfı)
200 < WQI < 300 çok zayıf (sadece sulama için uygun D sınıfı)
WQI > 300 kullanıma uygun değil

Yukarıda anlatılan su kalite indeksi genel olarak son yıllarda yeraltı suyu gibi doğal kaynakların içme suyu bakımından uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Abbasnia vd., 2019). Bu durumda genelde WHO'nun önerdiği içme suyu standart değerleri hesaplamalarda yer almaktadır. Tarımsal sulama suyu için bir değerlendirme aracı olarak ele alındığında FAO tarafından tavsiye edilen standart değerleri S_i değerleri olarak kullanılmıştır. Su kalite indeksi çok yakın zamanda atıksu (wastewater quality index) (Anusha ve Dhrubajyoti, 2022), endüstriyel su (industrial water quality index) (Abel ve Peiyue, 2022) ve sulama suyu (irrigation quality index) (Aravinthasamy vd., 2020) kalitelerinin uygunluklarının incelenmesinde uygulama alanı bulmuş olup araştırmaları devam etmektedir.

5. RİSK VE GENEL TANIMLAR

Sanayi sektörü geliştikçe teknolojik gelişmeler, ekonomik ve sosyal koşullar insan sağlığı ve çevre ile ilgili tehlikeleri ve risk faktörlerini ortaya çıkarmıştır. Başlangıçta göz ardı edilen çalışan sağlığı ve güvenliği tehlikeleri ve riskleri, iş ve çalışma verimliliğini olumsuz etkilemeye başladığından önem kazanmıştır. İş sağlığı ve iş güvenliği ile alakalı olarak işverenler, işyerinin ve bu sahada çalışanların maruz kaldıkları riskler için gerekli ölçüm, araştırma, kontrol ve incelemeleri yapmaları veya yaptırmaları istenmiştir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı iş yerinde İş Sağlığı ve Güvenliği kapsamında gerçekleştirilen risk değerlendirmesi usul ve esaslarını belirlemek üzere 28512 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'ni çıkarmıştır. Bu yönetmelik 6331 Sayılı Kanunu kapsamakta olup aşağıdaki tanımlamaları yapmaktadır.

Risk Yönetimi: İşyerinde, insanların sağlığı ve çevre güvenliği ile ilgili risklerin değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi için politikaların ve tecrübelerin uygulanmasıdır.

Risk: Bir tehlikeden kaynaklanan kayıp yaralanma veya diğer olumsuz sonuçların oluşma olasılığını ifade eder (RG: 28339, 2012).

Tehlike: İş yerinde mevcut olabilecek veya dışarıdan kaynaklanabilecek çalışanları ve iş yerine etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeline denir (RG: 28339, 2012).

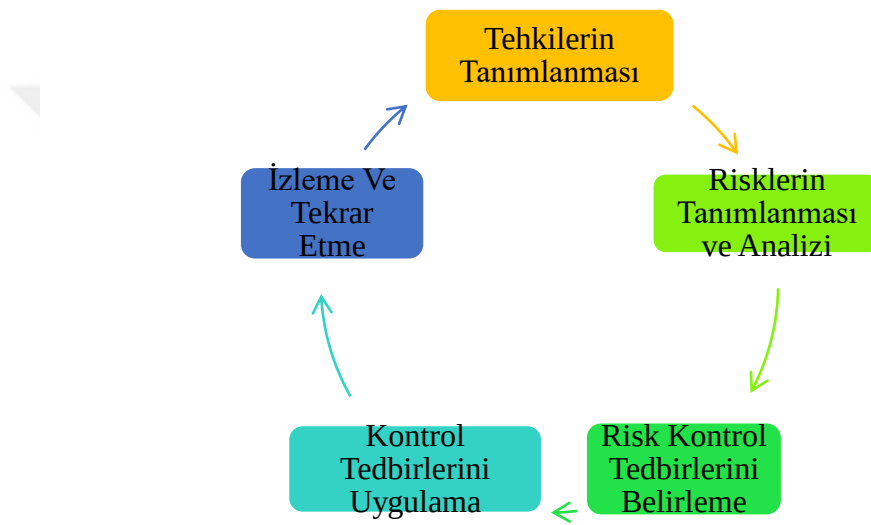
Ramak Kala Olay: İş yerinde ortaya çıkan çalışanlara iş yerine veya iş ekipmanlarına zarar verebilme ihtimali olduğu halde zarar vermeyen olaya denir (RG: 28339, 2012).

Kabul Edilebilir Risk Düzeyi: yasal yükümlülükler ve iş yeri önleme politikaları gereğince kayıp veya yaralanmaya yol açmayan risk düzeyini ifade eder (RG: 28339, 2012).

5.1. Risk Değerlendirme Aşamaları

Risk değerlendirmesi genel olarak 5 temel adımdan oluşmaktadır (Şimşek, 2014). Şekil 5.1.'de risk değerlendirme adımları görülmektedir.

- 1) Tehlikelerin Tanımlanması
- 2) Risklerin Tanımlanması ve Analiz Etme
- 3) Risk Kontrol Tedbirlerini Belirleme
- 4) Kontrol Tedbirlerinin Uygulanması
- 5) İzleme ve Tekrar Etme



Şekil 5.1. Risk değerlendirmesi adımları

5.1.1. Tehlikelerin Tanımlanması

Tehlikelerin tanımlanmasında iş yeri ve iş yerinde çalışanların içeriden veya dışarıdan zarara uğrama olasılığı olan durumlar belirlenir (Çelenk Kaya vd., 2018). Tehlikeler çalışılan alana veya yaşanılan bölgeye bağlı olarak değişir. İş yerinde gerçekleştirilen tüm faaliyetler önde olmakla beraber yöntemler, malzemeler ekipmanlar ve kimyasallar gibi detaylar belirlenmelidir (Çiftçi, 2019).

5.1.2. Risklerin Tanımlanması ve Analizi

Tanımlanan birçok tehlikeyi farklı farklı ele alarak oluşan tehlikelerden doğabilecek risklerin sıklığı ve bu risklerin kime, neye, nasıl ve ne ölçüde zarar verebileceği belirlenir. Bu belirlemede mevcut kontrol önlemlerinin etkisi de dikkate alınır (RG: 28339, 2012).

Toplanan bilgi ve verilere dayanarak belirlenen riskler, iş yeri tehlike veya risk nitelikleri, iş yeri kısıtlamaları ulusal veya uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak seçilen bir veya daha fazla yöntem kullanılarak analiz edilir. İş yerinde farklı işler yapan bölümler var ise bu maddeler her bölüm için tekrarlanır, bölümler arası etkileşimler dikkate alınarak işlenir ve sonuçlandırılır. Analizi yapılan riskler etkilerinin büyüklük ve önemine göre risk düzeyi en yüksek olandan başlayarak sıralama yapılır ve yazılı duruma getirilir (RG: 28339, 2012).

Atıksu arıtma tesislerindeki muhtelif risklerin tanımlanması yukarıda anlatıldığı şekilde yapılması beklenmekle birlikte arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasındaki riskler atıksu kompozisyonundaki muhtelif parametre ve spesifik kirleticilere maruziyetlerin ve muhtelif etkilerin analizi şeklinde yapılması önem arz etmekte. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanım alanları (sanayi, tarımsal vb.) bazı açılardan farklılık gösterecektir. Bununla birlikte kullanım sektörüne bağlı olarak kısa-orta-uzun vadeli kullanımların etkileri ayrı ayrı göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Mesela, arıtılmış atıksuların uzun vadeli olarak tarımsal sulamada kullanılması durumunda gelişebilecek risklerin dikkate alınması çevresel ortamların (toprak-su) korunması bakımından değerlendirilmesi gerekmektedir.

5.1.3. Risk Kontrol Tedbirlerini Belirleme

Planlama: Etki büyüklükleri ve önemine göre sınıflandırılan risklerin kontrol edilebilmesi için planlar geliştirilir.

Risk Kontrol Tedbirlerini Kararlaştırılması: Risk tamamen ortadan kaldırılmalıdır. Bu mümkün değil ise onaylanılabilir bir düzeye indirmek için tehlikeler veya tehlikelerin kaynağı ortadan kaldırılmalıdır. Tehlikeli maddeler tehlikesiz veya daha az tehlikeli maddelerle değiştirilmelidir. Riskler kaynağında mücadele ile yönetilmelidir.

5.1.4. Risk Kontrol Tedbirlerini Uygulama

Kararlaştırılan eylem görevleri ve süreç adımları, işlemi yapacak kişiler veya çalışma alanları, sorumlu kişiler veya çalışma alanları, ne zaman başlayıp ne zaman bitirileceği vb. bilgileri içerecek şekilde bir plan hazırlanır, planlar işveren tarafından uygulanır (RG: 28339, 2012). Öncelikle amaç tehlikeyi ortadan kaldırmaktır. Bir risk

ortadan kaldırılamıyorsa riskin şiddeti veya tehlikeden kaynaklanan risklerin sayısı azaltılmalıdır. Kişisel koruyucu donanımları kullanımı çalışanların tehlikeye maruz kalmamasını sağlamak için son çare olarak düşünülmelidir (Ulutaş, 2019).

5.1.5. İzleme Ve Tekrar

Yapılan iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları tümü ile sistematik olarak belgelenmelidir. Bu süreç en önemli kısımdır. Saklanan bu kayıtlar bir sonraki kontrol adımı için bir döngü şeklinde veri olarak kullanılacaktır. Değerlendirmede olmayan yeni tehlikeler olabilir ve bu adımlar yeni bir risk ortaya çıkarabilir (Kılınç, 2019).

5.2. Risk Analiz Yöntemleri

Risk Analiz yöntemleri ikiye ayrılır; Kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel), nicel yöntemler tanımlanmış risklerin olasılıklarını ve sonuçlarını sayısal veriler ile ifade eder. Kantitatif risk analizinde kesin olasılık ve kaybın tahmin edilmesi her bir risk için zordur. Kalitatif yöntemler riskin olasılığını ve sonucunu yüksek orta veya çok düşük olarak ifade eder. İki yöntem de yaygın olarak kullanılır ve bazı durumlar için beraber de kullanılırlar (Suluman, vd., 2016).

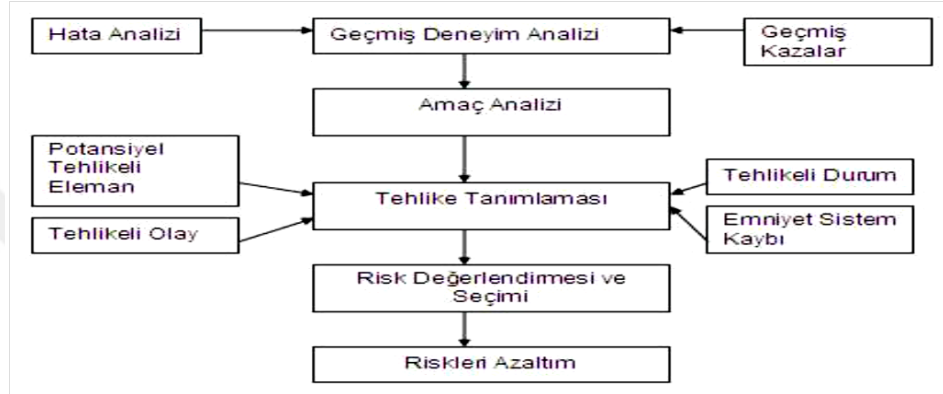
Yaygın olarak kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- Ön Tehlike Analizi
- Olursa Ne Olur?
- X Tipi Matris Yöntemi
- L Tipi Matris Yöntemi
- Tehlike ve İşletilebilme Yöntemi
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi
- Hata Ağacı Analizi
- Fine-Kinney Metodu
- Olay Ağacı Analizi

5.2.1. Ön Tehlike Analizi

Olası tehlikeler ve tüm potansiyel riskler belirlenir riskler önem derecesine göre sıralanır, gereken takip ve kontroller, tehlikeler için gerçekleştirilir (Rausand,

2005). Ön tehlike analiz metodunda potansiyel olaylar önce tanımlanır daha sonra bu olaylar ayrı ayrı çözülür, istenmeyen tüm olay ve tehlike için olası çareler ve tedbirler geliştirilir. Bunun sonucunda hangi tür tehlikenin yaygın olduğu ve hangi analiz yöntemlerinin kullanılması gerektiği belirlenir. Sıklık sonuç diyagramı kullanılarak tehlikeler sınıflandırılır ve önceliğine göre sıraya konulur. Ön Tehlike Analizi analistler tarafından tasarımın ilk aşamalarında kullanılır ancak kendi başına yeterli değildir diğer yöntemler için bir başlangıç ve veri işlevi görür (Özkılıç, 2005). Ön Tehlike Analizi aşamaları Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Ön tehlike analizi aşamaları (Özkılıç, 2005).

5.2.2. Olursa Ne Olur? (What If?) Analizi

Diğer yöntemlere göre kullanımı çok kolaydır. Diğer risk analizleri için veri sağlanması ve mevcut durum hakkında temel bilgileri veren yöntemdir. Olursa ne olur ile başlar ve sorulara verilen cevaplara dayanır. Risk analisti birçok noktaya değinir bu noktaları konsantre olamayabilir veya tehlikeyi fark edecek kadar deneyimli olmayabilir. Sonuç olarak bu metot analistin deneyimlerine bağlı olduğundan farklılık gösterir bundan dolayı yöntem resmi değildir (Çiftçi, 2019). Tablo 5.1’de olursa ne olur? risk değerlendirmesi verilmiştir.

Tablo 5. 1. Olursa ne olur (what if?) risk değerlendirmesi (Özkılıç, 2005).

“Olursa Ne Olur?”	Sonuç	Tavsiye	Sorumlu Personel	Alınan Eylemin Zamanı
1....Olursa Ne Olur?				
2....Olursa Ne Olur?				
3....Olursa Ne Olur?				

5.2.3. X Tipi Matris Analizi

Ekip olarak çalışılması gerekli olan sıkı disiplinli bir yöntemdir. Bu yöntemde matris diyagramında tehlikeleri etkileyen faktörlerin ve parametrelerin tanımlanmasını bunlar arasında ilişkilerin belirlenmesini gerektirir. Bir kazanın tekrarlanma olasılığını değerlendirmek için geçmiş kazaların nedenleri araştırılır bu nedenle bir önceki yıla ait detaylı verilere ihtiyaç duyulur. Değişkenler arasındaki ilişkiler grafiksel olarak gösterilmesi avantajlarından birisidir.

5.2.4. L Tipi Matris Yöntemi

Risk değerlendirme yöntemlerinden en çok kullanılan yaklaşımlardan biridir. Bir tehlikenin meydana gelme olasılığı ile meydana gelen etki arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılır. Bu yöntemde analistin deneyimine göre başarının değişiklik gösterdiği farklı süreçlere veya farklı akım şemalarına sahip işler için yeterli değildir (Aker ve Över Özçelik, 2020). Aşağıdaki tablolarda 5x5 L tipi matris yönteminin geliştirilmesi halinde olasılık şiddet ve risk değerleri ve bu değerlerin anlamları verilmiştir.

Tablo 5.2’de L tipi matris yönteminde riskin gerçekleşme sıklığına bağlı olarak verilen olasılık değerleri ve sonuçları verilmiştir. Tablo 5.3’de risklerin sonucunda yarattığı etkinin şiddet değerleri verilmiştir (Aker ve Özçelik, 2020). Olasılık ve etki derecelendirmesi genellikle 5 sınıf/kategori için yapılmakla birlikte, risk analizinin yapıldığı duruma bağlı olarak 4’lü veya 3’lü derecelendirme de yapılabilir. Bunun sonucunda elde edilen L matrisi 4x4 veya 3x3’lük matris olur.

Tablo 5.2. L tipi matris olasılık değerleri (Ünverdi ve Çetinyokuş, 2021).

SONUÇ	OLASILIK	
Çok Küçük	1	Hemen hemen hiç
Küçük	2	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
Orta	3	Az (yılda bir kez)
Yüksek	4	Sıklıkla (ayda bir)
Çok Yüksek	5	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

Tablo 5.3. L tipi matris şiddet değerleri (Özgür, 2021).

SONUÇ		ŞİDDET
Çok Hafif	1	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Hafif	2	İşgünü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi, ilkyardım gerektiren
Orta	3	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerektiren
Ciddi	4	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok Ciddi	5	Ölüm, sürekli iş görememezlik

Bu iki değer çarpılarak risk skoru elde edilmektedir. Tablo 5.4’de L tipi matris yöntemine göre sonuçlarının kabul edilebilirlik değerleri verilmiştir. Risk skoru puanları risk düzeyinin kabul edilip edilemediğini ifade eder. Tablo 5.5’de L Tipi Matris yönteminin risk skoru verilmiştir.

Tablo 5.5. L tipi matris risk skoru (Aker ve Över Özçelik, 2020).

Olasılık x Etki	Etki	Çok Hafif	Hafif	Orta	Ciddi	Çok Ciddi
Olasılık		1	2	3	4	5
Çok Küçük	1	1	2	3	4	5
Küçük	2	2	4	6	8	10
Orta	3	3	6	9	12	15
Yüksek	4	4	8	12	16	20
Çok Yüksek	5	5	10	15	20	25

Düşük risk  Acil Tedbir Gerektirmeyebilir

Orta risk  Olabilecek en hızlı şekilde müdahale gerektirir

Yüksek risk  Hemen çalışma yapılmalıdır

Tablo 5.4. L tipi matris risk değerlendirme sonuçlarının kabul edilebilirliği (Kabakulak, 2019).

Risk Değeri	Risk Değerlendirme Sonucu
Kabul Edilemez Riskler (25)	Belirlenen riskler kabul edilebilir bir düzeye indirilene kadar çalışmaya başlamamalı ve devam eden herhangi bir faaliyet derhal durdurulmalıdır. Önlemler alınarak risk azaltılamıyorsa faaliyet durdurulmalıdır.
Önemli (Yüksek) Riskler (15,16,20)	Tanımlanan riskler azaltılana kadar çalışma başlamamalı ve devam eden herhangi bir faaliyet derhal durdurulmalıdır. Risk, işin devamına ilişkin ise acil tedbirler alınmalı ve bu tedbirler sonucunda faaliyetlerin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Tespit edilen riskleri azaltmak için önlemler alınmalıdır. Risk azaltma eylemleri zaman alabilir.
Kabul Edilebilir (Düşük) Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ek kontroller gerekmebilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürülüp sürdürülmediği incelenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol eylemlerinin planlanması ve alınan önlemlerin kayıtlarının tutulması gerekli olmayabilir.

5.2.5. Fine-Kinney Metodu

Fine Kinney yöntemi matematiksel esaslara dayalı olup, matris yönteminin (L-tipi matris) gelişmiş bir versiyonudur ve ülkemizde kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır (Erdem, 2021).

İki veya daha fazla sonuç arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla kullanılır. Bu metotta iş yerinde meydana gelebilecek kazaların ciddiyet derecesi sıklığı ve olasılığı tanımlanır. Önceki verilerin istatistiklerinin kullanılmasına olanak verir ve kullanım kolaylığı ile öne çıkar (Şimşek, 2020).

Risk= Olasılık x Şiddet x Frekans

Frekans: Tehlikeye Maruz Kalınan Süre

Olasılık: Tehlikenin Meydana Gelme İhtimali

Şiddet: Sonuçların Derecesi

Tablo 5.6’da belirtilen tehlikelerin meydana gelme olasılıklarının derecelendirilmesi, Tablo 5.7’de frekans değerleri, Tablo 5.8’de oluşacak sonuçların şiddetlerinin derecelendirilmesi Tablo 5.9’da bu 3 parametrelerin çarpımı ile risk değerlendirmesi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.6. Fine-Kinney metodu olasılık değerleri (Acar Filizci ve Erdebilli, 2022).

Olasılık Değeri	Anlamı
0.2	Pratik Olarak Anlamsız
0.5	Zayıf Olasılık
1	Oldukça Düşük Olasılık
3	Nadir Fakat Olabilir
6	Kuvvetle Muhtemel
10	Çok Kuvvetli Olasılık

Olasılık: Zarar yada hasarın zaman içerisinde gerçekleşme ihtimalidir ve 0.2 ile 10 arasındadır.

Tablo 5.7. Fine-Kinney metodu şiddet değerleri (Acar Filizci ve Erdebilli, 2022).

Şiddet Derecesi	Anlamı
1	Dikkate Alınmalı (hafif, zararsız veya önemsiz)
3	Önemli (düşük iş kaybı, küçük hasar, ilk yardım gerektirir)
7	Ciddi (önemli hasar, dış tedavi, iş gücü kaybı)
15	Çok Ciddi (sakatlık, uzuv kaybı, çevresel etki)
40	Çok Kötü (ölüm, tam maluliyet, ağır çevre etkisi)
100	Felaket (birden çok ölüm, önemli çevre felaketi)

Şiddet: Tehlikenin insan veya çevre üzerinde yaratacağı tahmini zarardır.

Tablo 5.8. Fine-Kinney metodu frekans değerleri (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Frekans Değeri	Anlamı
0.5	Çok Nadir (yılda bir ya da daha az)
1	Oldukça Nadir (yılda bir ya da birkaç kez)
2	Nadir (ayda bir ya da birkaç kez)
3	Ara Sıra (haftada bir ya da birkaç kez)
6	Sıklıkla (günde bir ya da birkaç kez)
10	Sürekli (sürekli ya da saatte birden fazla)

Frekans: zaman içerisinde tehlikeye maruz kalma tekrarıdır ve 0.5 ile 10 arasındadır.

Tablo 5.9. Fine-Kinney metodu risk değerlendirme sonucu (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Risk Değeri	Risk Değerlendirme Sonucu
$R < 20$	Kabul Edilebilir Risk -Acil tedbir gerekemeyebilir.
$20 < R < 70$	Kesin Risk -Eylem planına alınmalı
$70 < R < 200$	Önemli Risk -Dikkate alınmalı ve yıllık eylem planına alınmalıdır.
$200 < R < 400$	Yüksek Risk- Kısa vadeli eylem planına alınmalıdır
$R > 400$	Çok Yüksek Risk -Çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalıdır

Tablo 5.10. Fine-Kinney metodu risk değerlendirmesi (Erten, 2016).

OLASILIK DEĞERİ	OLASILIK	FREKANS		ŞİDDET DEĞERİ	ŞİDDET
		FREKANS DEĞERİ	FREKANS		
10	Çok Kuvvetli Olasılık	10	Sürekli	100	Felaket
6	Kuvvetle Muhtemel	6	Sıklıkla	40	Çok kötü
3	Nadir Fakat Olabilir	3	Ara Sıra	15	Çok ciddi
1	Oldukça Düşük Olasılık	2	Nadir	7	Ciddi
0.5	Zayıf Olasılık	1	Oldukça Nadir	3	Önemli
0.2	Pratik Olarak İmkansız	0,5	Çok Nadir	1	Dikkate Alınmalı

5.2.6. Tehlike ve İşletilebilme Yönetimi (Hazop)

Tesislerin tasarım hedeflerinden sapmasına neden olabilecek olayların araştırılmasını içerir. Hazop çalışmasında çözüm, problem tanımlanırken ortaya çıkar ve çalışmanın bir parçasının sonucu olarak belgelendirilir. Hazop'un birinci amacı problemi belirlemek olduğundan görünmeyen çözümleri bulmaya çalışmaktan kaçınılmalıdır (Çetinkaya Uzun ve Utlu, 2015).

Hazop aslen kimya enstitüsü için geliştirilmiştir. Yöntemin en önemli özelliği multidisipliner bir ekip oluşturarak kazaların nedenlerini belirlemek, analiz etmek ve ortadan kaldırmak için kullanılmasıdır (Kabakulak, 2019).

Belirli kılavuz kelimeler kullanılarak yapılan bir beyin fırtınası çalışmasıdır. Çalışmadaki kişilere sorular sorulur ve olayın olup olmaması durumunda ne gibi sonuçlar oluşacağı sorulur. Hazopda kurulan takım aşağıdaki verilen gruptan oluşur (Çetinkaya Uzun ve Utlu, 2015).

Fabrikanın İşveren Temsilcisi Veya Vekili

Fabrikanın Müdürü

İş Sağlığı Güvenliği Uzmanlar

Proses Mühendisleri

Sistem Ve Otomasyon Mühendisleri

Elektrik Mühendisi

Hazop Lideri dahili (içeriden) veya harici (dışarıdan) olabilir. Ekip önemli tehlikeli sapmaları belirlemek için anahtar sözcükleri kullanarak ilk olarak prosesin veya proses adımının bir değişkenini seçer. Tespit edilen sapmanın neden ve sonuçlarını gerçekleştirir (Çetinkaya Uzun ve Utlu, 2015). Tablo 5.11’de Hazop için kullanılan bazı anahtar kelimeler verilmiştir.

Tablo 5.11. HAZOP'ta kullanılan bazı anahtar kelimeler (Clifton, 2005).

Kılavuz Kelime	Anlamı
Hiç	Tasarım hedeflerinin karşılanamaması (ileri veya geri akış yok, ısı transferi yok, reaksiyon yok, vb.)
Az	Çalışma parametrelerinde azaltma (sıcaklık, basınç, akışın hızı, seviye ve viskozite)
Fazla	Çalışma parametrelerinde artma (sıcaklık, basınç, akışın hızı, seviye ve viskozite)
Ters	Tasarım amacının tersi (karşı akış, ters ısı transferi)
Yanı sıra	Diğer ilgili faaliyetlerin yanı sıra yardımcı olayların varlığı (istenmeyen maddeler, kirleticiler, hava, buhar, korozyon ürünleri, eklenen fazlar, vb.)
Diğer	İstenen durumun tersi bir süreç uygulamak (Akışın istenmeyen bir akışa yönlendirilmesi veya istenmeyen bir ürün elde edilmesi)
Kısmen	İstenilen durum tam olarak gerçekleşmez. (Düzen istenilen durumdan farklı, istenilen düzen yoktur)
Erken	İstenilen zamanlama tasarlanandan farklı gerçekleşir (sıralı süreçlerde biri diğerinden önce veya sonra başlar)
Geç	Erken kelimesinin aynısı.

5.2.7. Hata Türleri Ve Etkileri Analizi (FMEA)

Hata türleri ve etkileri analizi yöntemi riski önerilen kontrol önlemleri ile birlikte ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Diğer yöntemlerden ayıran en önemli farkı mevcut olan hatalar ile tehlikeyi tanımasıdır. Bu analiz yöntemi hataları kontrol etme tekniği olarak kabul edilir (Yerlikaya vd., 2016). Hata türleri ve etkileri analizi ürünün tasarım ve üretim aşamalarına meydana gelebilecek hata türlerini nedenlerini ve etkilerini ve bu arızaların meydana gelme riskini azaltacak önlemlerini belirleyen değerlendirilen bir grup çalışmasıdır (Şençoban Kaya ve Alaykiran, 2019).

3 bileşenden oluşur bunlar olasılık, şiddet ve tespit edilebilirliktir. Bileşenler dikkate alınarak matris yöntemi tespit edilebilirlik ile birleştirilerek risk puanı ölçeğe genişletilmiştir (Kılınç, 2019).

Risk= Olasılık x Şiddet x Tespit Edilebilirlik

- RÖP: Risk Öncelik Puanı
- Olasılık: Hatanın sıklığı.
- Şiddet: Hatanın şiddeti.
- Fark Edilebilirlik: Zararı meydana getirecek unsurların ortaya çıkma zorluğu.

Bu kapsamda Tablo 5.13’de hatanın tespit edilebilirliği, Tablo 5.14’de hatanın oluşma olasılığı, Tablo 5.12’de hatanın şiddeti verilmiştir. Riskin önem derecesinin belirlenmesi için verilen bilgiler vardır. Risk değerlendirme sonucunda çıkan puanlamaya göre; $RÖP < 40$ ise önlem almaya gerek yoktur, $40 < RÖP < 100$ ise önlem alınmasında fayda vardır, $RÖP > 100$ ise mutlaka önlem alınması gerekir.

Tablo 5.12. Hatanın şiddetinin etkisi (Ulu ve Şahin, 2020).

Etki	Derece
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	10
Uyarısız Gelen Tehlike	9
Çok Yüksek	8
Yüksek	7
Orta	6
Düşük	5
Çok Düşük	4
Küçük	3
Çok Küçük	2
Yok	1

Tablo 5.13. Hatanın tespit edilebilirliği (Şençoban Kaya ve Alaykırın, 2019).

Tespit Edilebilirlik	Tespit Edilebilirlik Olasılığı	Derece
Tespit edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği mümkün değil	10
Çok az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği uzak	8
Çok düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği yüksek orta	5
Yüksek orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği yüksek ortalama	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği yüksek	3
Çok yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği çok yüksek	2
Hemen hemen kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedebilirliği hemen hemen kesin	1

Tablo 5.14. Hatanın olasılığı (Şençoban Kaya ve Alaykırın, 2019).

Hatanın Oluşma Olasılığı	Hatanın Olasılığı (Sıklığı)	Derece
Çok Yüksek	1/2'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
Düşük	1/2000	4
	1/15000	3
Pek Az	1/150000	2
	1/150000'den düşük	1

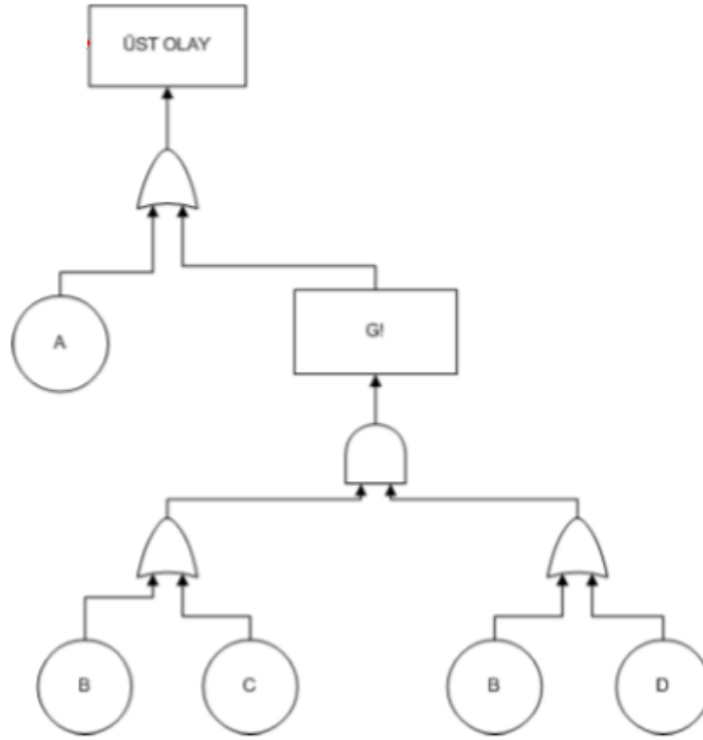
5.2.8. Hata Ağacı Analizi

Hata ağacı yöntemi, sistemin arızaları ve sistemin bileşenlerine olumsuz olaylar arasındaki ilişkiyi gösteren mantıksal diyagramları içerir. Yöntem tümdengelim mantığına dayalı bir tekniktir (Ak ve Zorluel, 2022).

Temel olarak üç aşamada yürütülür. Sistem analizi, hata ağacının oluşturulması ve oluşturulan hata ağacının değerlendirilmesidir (Yalçinkaya vd., 2020). İstenmeyen tepe olaylar belirlenir, olaya sebebiyet verebilecek bütün etkenlerin analizi yapılır. Tepe olay bütün olarak incelemek için tebrübesi yüksek bir analist gerektirir ve analiz edilen sistemi çok iyi bilinmesi gerekir (Çiftçi, 2019).

Tablo 5.15’de hata ağacı analizinde kullanılan yaygın semboller ve anlamları verilmiştir. Bu semboller mantıksal kapılar ve olaylar olarak ifade edilmektedir.

Kapılar , bağımsız olayların nasıl etki vereceğini belirler böylece olaylar dizinin nereye varacağı ortaya çıkmış olur. Analizde VE ve VEYA kapıları sıklıkla kullanılır. Şekil 5.2’de hata ağacı diyagramı verilmiştir.



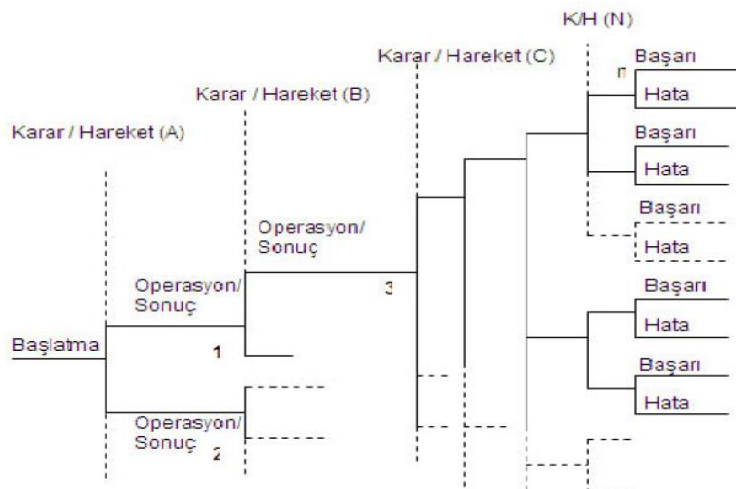
Şekil 5. 2. Hata ağacı diyagramı (Özkılıç, 2005).

Tablo 5. 15. Hata ağacı analizinde kullanılan semboller ve anlamları (Yalçinkaya vd., 2020).

Sembol	İşaret edilen	İşlev
○	Temel olay	Temel olay/hata.
□	Olay	Daha temel olaylardan oluşanolay
⌋	VE kapısı	C çıktı olayı, A ve B (tüm girdi) olayları aynı anda meydana geliyorsa görülür
⌋	VEYA kapısı	C çıktı olayı, herhangi bir girdi olayı meydana geliyorsa görülür.
△	Transfer sembolü	Ağacın başka bir yerde daha ileri noktaya geliştiğini gösterir.

5.2.9. Olay Ağacı Analizi

Karma bir metot olan bu yöntem birden fazla süreç ve koruma işletmesinde çalışan ve sistem hatalarının altındaki faktörleri analiz eder. Olay ağacı analizi, başlangıçta seçilen olaydan sonraki olası sonuçların bir akış şemasını görüntüleme yöntemidir. Bu analiz hata ağacından tümevarımsal mantık yöntemi ile ayrıştır (Özkılıç, 2005). Diyagram olarak oluşturulur ve üst kısımda çalışan, solda kazaya sebep olan ana olay, sağda ise oluşan hasar gösterilmektedir. Bu çalışma başarılı sonuçlandı ise ağaç yukarıyı gösterir, olumsuz sonuç var ise ağaç aşağıya gösterir (Kılınç, 2019). Sistemde güvenilir şekilde çalışan tüm değişiklikler tanımlanır. İzlenen her yol, nihai başarıya veya başarısızlığa götürür. Şekil 5.3’de olay ağacı diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.3. Olay ağacı diyagramı (Özkılıç, 2005).

6. MATERYAL METOD

Tez çalışmasında arıtılmış atık suyun tarımsal sulama için uygunluğu AATUT Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmelik Taslağına (SSKKSİYKHY) göre ve FAO kriterlerine göre değerlendirilmiş, su kalite indeksi hesaplanarak arıtılmış atık suyun genel kalitesi yorumlanmış ve sulamada kullanımı sonucunda doğabilecek riskler belirlenmiştir. Değerlendirme yapmak için literatür bilgileri kullanılmıştır. Risk analizinden önce arıtılmış atıksu ile sulamada oluşabilen riskler değerlendirilmiştir ve tüm önemli parametreler incelenmiştir. Risk değerlendirme yöntemlerinden iki farklı matrix yöntemi seçilmiş ve tehlikeler ve oluşturabileceği sorunların üzerinde durulmuş, sorunların azaltılması için yapılması gereken uygulamalar belirlenmiştir.

Yapılan tez çalışmasında Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) ıkış suyu su kalitesinin tarımsal sulama için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Değerlendirilen parametreler BOİ, AKM, pH, EC, TÇM, sodyum, bor, klorür, TN, TP ve ve SAR, eser elementler, nütrientler ve mikro kirleticilerdir.

6.1. Materyal

Yapılan tez çalışmasında Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) çıkış suyu su kalitesinin tarımsal sulama için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Değerlendirilen parametreler BOİ, AKM, pH, EC, sodyum, bor, klorür ve SAR. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu 12 ay için ölçülen parametrelerin ortalama değerleri Tablo 6.1’de görülmektedir. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde ölçüm yapılmamış bazı parametrelerin değerleri Tarım ve Orman Bakanlığı Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi (TOB, 2019) raporundan alınmıştır. Tablo 6.1’de SDAAT çıkış suyu değerleri verilmiştir.

Tablo 6.1. SDAAT çıkış suyu değerleri

	BİRİM	ÇIKIŞ SUYU	PARAMETRE DEĞERLERİ
SICAKLIK	C ⁰	17.74	SDAAT
pH		7.18	SDAAT
İLETKENLİK	µS/cm	1333.35	SDAAT
TAKM	mg/L	13.90	SDAAT
BOİ	mg/L	11.00	SDAAT
KOİ	mg/L	30.38	SDAAT
NH ₄ -N	mg/L	0.34	SDAAT
TN	mg/L	5.82	SDAAT
PO ₄ -P	mg/L	0.21	SDAAT
TP	mg/L	0.31	SDAAT
Klorür	mg/L	263.60	SDAAT
Nematod	adet/L	YOK	SDAAT
Fekal Koliform	mpn/100ml	63.64	SDAAT
SAR	-	5,04	(TOB, 2019)
Nitrat Azotu	mg/L	3,6	(TOB, 2019)
Bor	mg/L	0,2	(TOB, 2019)
Sülfat	mg/L	100,3	(TOB, 2019)
Escherichia Coli	KOB/100 mL	64	(TOB, 2019)
Sodyum	mg/L	193,63	(TOB,2019)
Alüminyum (Al)	mg/L	0.0436	(TOB, 2019)
Arsenik (As)	mg/L	0.0016	(TOB, 2019)
Berilyum (Be)	mg/L	0.0005	(TOB, 2019)
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0.0005	(TOB, 2019)
Krom (Cr)	mg/L	0.0019	(TOB, 2019)
Kobalt (Co)	mg/L	0.0006	(TOB, 2019)
Bakır (Cu)	mg/L	0.0403	(TOB, 2019)
Florür (F)	mg/L	0.01	(TOB, 2019)
Demir (Fe)	mg/L	0.0959	(TOB, 2019)
Kurşun (Pb)	mg/L	0.001	(TOB, 2019)
Lityum (Li)	mg/L	0.0075	(TOB, 2019)
Mangan (Mn)	mg/L	0.0731	(TOB, 2019)
Molibden (Mo)	mg/L	0.0008	(TOB, 2019)
Nikel (Ni)	mg/L	0.005	(TOB, 2019)
Selenyum (Se)	mg/L	0.0005	(TOB, 2019)
Vanadyum (V)	mg/L	0.0043	(TOB, 2019)
Çinko (Zn)	mg/L	0.0931	(TOB, 2019)

6.2. Metodlar

6.2.1. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne (AATTUT) Sulama Suları Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmelik Taslağına (SSKKSYPHY) göre ve FAO sulama suyu kriterlerine göre çıkış suyu değerlendirilmiştir.

6.2.2. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kalite İndeks Değerlerinin Belirlenmesi

Su Kalite İndeksi Water Quality Index (WQI) ile su kalitesi değerlendirilmiştir. Hesaplama yapılırken $WQI = \sum [W_i \times (\frac{C_i}{S_i}) \times 100]$ formülü kullanılmıştır. W_i , her parametrenin göreceli ağırlığıdır, C_i Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu parametrelerinin ölçülen konsantrasyonudur, S_i kimyasal parametrenin FAO, AATTUT veya SKKY tarafından tavsiye edilen standart değeridir.

W_i (göreceli ağırlık), hesaplaması yapılırken tarımsal sulama için belirlenmiş her parametreye toprak, yeraltı suyu ve insan sağlığı üzerindeki etkisine göre 1 (en düşük etki) ve 5 (en yüksek etki) aralığında w_i (ağırlık) değerleri seçilmiştir.

Örneğin; elektriksel iletkenlik (EC) parametresi için Bölüm 4.1.11'de verilmiş Tablo 4.19'da özetlendiği üzere tarımsal sulamada etkili bir parametre olduğu için w_i değeri 5 seçilmiştir. Daha sonra diğer parametreler de tarımsal sulamada önemliliğine ve toprak, yeraltı suyu ve insan sağlığı üzerindeki etkisine göre değerlendirilip 1 ile 5 arasında değerlendirilmiştir ve tüm parametrelerin w_i değerleri toplanarak $\sum w_i$ değeri bulunmuştur. Her bir parametrenin w_i değerinin $\sum w_i$ değerine bölümü, W_i (göreceli ağırlık) sonucunu oluşturur ve göreceli ağırlıkların (W_i) toplamı $\sum W_i$ her zaman 1 olmalıdır. Tablo 7.4'de $\sum w_i$ ve $\sum W_i$ değerleri verilmiştir. C_i Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu parametrelerinin ortalama konsantrasyonudur, S_i parametrenin FAO, AATTUT veya SKKY tarafından tavsiye edilen standart değeridir.

EC değeri için IWQI hesaplanırken; $IWQI = [W_i \times (\frac{Ci}{Si}) \times 100]$

EC için W_i değeri : 0.031

$(\frac{Ci}{Si})$ değeri : $(\frac{1.133}{3})$

IWQI değeri : $[0.051 \times (\frac{1.133}{3}) \times 100] = 1.92$ dir.

$\sum$ IWQI'yi bulmak için hesaplanan her parametrenin IWQI değerini toplamak gerekir. L Tipi Matris Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi

6.2.3. L Tipi Matris Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi

Çalışmada arıtılmış atık suyun tarımsal amaçlı kullanımında potansiyel risklerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki tesirini tespit etmek için muhtemel riskler belirlenmiştir.

Risklerin Belirlenmesi

Patojenlerden kaynaklanacak riskler

- Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturması
- Çiğ tüketilen meyve ve sebzeler
- Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas

Tuzluluktan kaynaklanacak riskler

Toplam çözünmüş madde miktarının fazla olmasına bağlı olarak;

- Toprak yapısının bozulması, bitkilerin gelişimini tamamlayamaması
- Tuz konsantrasyonunun artması
- Mikroorganizma faaliyetlerinin etkilenmesi

SAR konsantrasyonundan oluşabilecek riskler

- Toprak yapısının bozulması
- Toprak kuruması ve çatlaması
- Bitkilerde toksit etki oluşması

- Bitki yapraklarının yanması
- Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması

AKM konsantrasyonunda oluşabilecek riskler

- Boruların tıkanması
- Mikrobiyal faaliyetlerin artması
- Toprak filtrasyon özelliğinin azalması
- Sudaki organik kirletici yükünün artması
- Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturması
- Bitki gelişimi eksikliği
- Kötü koku problemleri

Mikrokirleticilerden kaynaklanacak riskler

- Mikroorganizma faaliyetlerinin zarar görmesi
- İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler görülmesi
- Endokrin sistem bozukluğu
- Sucul ortamlarda mikrokirleticilerin birikmesi
- Zehirlilik ve kanserojenlik etkisi oluşturması

Eser element ve nütrientlerden kaynaklanacak riskler

- Bitki üzerinde ağır metal birikimi
- Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı
- Kansere ve sinir sistemi hastalıkları oluşması
- Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği
- Yeraltı suyunun kirlenmesi
- Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi
- Ötrofikasyon oluşması ve alg patlamaları

pH değerinden kaynaklanacak riskler

- Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması
- Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması
- Düşük pH sonucu borularda aşınma

Elektriksel iletkenlik değerinden kaynaklanacak riskler

- Topraktaki tuzluluğun artması
- Toprak yapısının bozulması
- Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması
- Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma

Özgül iyon toksititesinden kaynaklanacak riskler

- Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması
- Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma
- Bor konsantrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma, beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi
- Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması
- Toprak yapısının bozulması, bitki gelişimin engellenmesi

Olasılık ve Etki Değerlendirmesi

Risk değerlendirme metodu olarak L Tipi Matris yöntemi seçilmiştir. L Tipi Matris, sebep-sonuç ilişkilerinde kullanılmakta olup olayın gerçekleşme olasılığı ile zarar etkisinin değerlendirilmesi ile ifade edilmektedir. Tablo 6.2’de olasılık dereceleri verilmektedir.

Tablo 6.2. L tipi matris olasılık değerleri (Ünverdi ve Çetinyokuş, 2021).

SONUÇ	OLASILIK	
Çok Küçük	1	Hemen hemen hiç
Küçük	2	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
Orta	3	Az (yılda bir kez)
Yüksek	4	Sıklıkla (ayda bir)
Çok Yüksek	5	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

L tipi matris olasılık derecelendirmesi yapılırken 4 farklı olasılık değeri oluşturulmuştur. Çok küçük olasılık (1), küçük olasılık (2), orta olasılık (3) ve yüksek olasılıktır (4). Tablo 6.3’de olasılık derecelendirmesi verilmiştir. Olasılık aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\text{Olasılık} = \text{Olayın Olabileceği Sonuç Sayısı} / \text{Olayın Toplam Sayısı}$$

Bu bağıntıya göre bir A parametresinin deneysel olarak yılda M kez (örneğin 26 kez (2 haftada 1) ölçüldüğünü varsayalım. Bu M ölçümden A parametresi

ortalama değerin bulunduğu aralık içerisinde ölçölmesi (örneğin elektriksel iletkenlik için bu 0,75-2,25 mS/cm) N kez gerçekleşmiş, N-M kez gerçekleşmemiştir. Burada A parametresinin ortalama değerin bulunduğu aralıkta gerçekleşme olasılığı= N/M dir (Uymaz, 2016). Yani 26 ölçümde 10 tane ölçüm/değer 0,75-2,25 mS/cm aralığında belirlenmişse, arıtılmış atıksuyun elektriksel iletkenliğinin bu ortalama değerin bulunduğu aralıkta olma olasılığı $10/26=0.38$, başka bir deyişle düşük (2) olasılık.

Tablo 6.3. Olasılık derecelendirmesi

Olasılık	1	2	3	4
N/M	0-0.25 çok küçük olasılık	0.25-0.5 küçük olasılık	0.5-0.75 orta olasılık	0.75-1 yüksek olasılık

Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılan laboratuvar analizlerinde sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, E-koli, ve sülfat parametrelerinin ölçümü sürekli yapılmamış olup bu değerler Tarım ve Orman Bakanlığı Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi (TOB, 2019) içerisinde bulunan parametrelerden tamamlanmıştır.

Sulama suyunun dikkat edilmesi gereken parametreleri için L tipi matris etki derecelendirmesi oluşturulurken genel sulama kriterlerin değerleri dikkate alınarak aralıklar oluşturulmuş ve derecelendirme çok düşük etki, düşük etki, orta ve yüksek etki olmak üzere dört grup ile tanımlanmıştır. Etki derecelendirmesi ; Çok düşük etki, (1) zararsız olup herhangi bir kayıp yaratmamaktadır. Düşük etki (2) kayda değer bir etki yok, kayıp yok kıymetsiz anlamına gelmektedir. Orta etki (3) zarar vardır ancak telafisi mümkündür. Yüksek etki (4) önemli derecede kayıp ve zarar vardır, tedavi gerektirir.

6.2.3.1. L Tipi Matris Risk Değerlendirmesi

Bölüm 5.2.4'de anlatıldığı gibi, olasılık ve etki değeri çarpılarak risk skoru elde edilmektedir. Risk skoru puanları risk düzeyinin kabul edilip edilemediğini ifade eder. Şekil 6.1.'de olasılık ve etki derecelerinin çarpılması sonuçları risk skoru puanları olarak verilmiştir.

OLASILIK	ŞİDDET				
	Çok Hafif 1	Hafif 2	Orta 3	Ciddi 4	Çok Ciddi 5
1 (Çok Küçük)	Önemsiz 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Kabul Edilemez 25

Şekil 6.1. Risk skorunun belirlenmesi (Aker ve Över Özçelik).

Bir örnek ile L tipi risk hesabı açıklanacak olursa, örneğin; EC için etki değerlendirmesi sonucu orta düzey etki (3) olup, olasılık değerlendirmesi sonucu yüksek (4) olasılıktır. Buna göre risk skoru belirlenirken olasılık değeri x etki değeri = $4 \times 3 = 12$ hesaplanıp, sonuç orta düzeydeki risk olarak sınıflandırılabilir.

Risk değerlendirmesi orta ve daha üst düzeydeki risk sınıfında yer alıyor ise tespit edilen riskleri en aza indirecek önlemler alınmalıdır. Risk azaltma eylemleri vakit alabilir (Kabakulak, 2019). L tipi matris yöntemine göre sonuçlarının kabul edilebilirlik değerleri Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4. L tipi matris risk değerlendirme sonuçlarının kabul edilebilirliği (Kabakulak, 2019).

Risk Değeri	Risk Değerlendirme Sonucu
Kabul Edilemez Riskler (25)	Belirlenen riskler kabul edilebilir bir düzeye indirilene kadar çalışmaya başlamamalı ve devam eden herhangi bir faaliyet derhal durdurulmalıdır. Önlemler alınarak risk azaltılamıyorsa faaliyet durdurulmalıdır.
Önemli (Yüksek) Riskler (15,16,20)	Tanımlanan riskler azaltılana kadar çalışma başlamamalı ve devam eden herhangi bir faaliyet derhal durdurulmalıdır. Risk, işin devamına ilişkin ise acil tedbirler alınmalı ve bu tedbirler sonucunda faaliyetlerin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Tespit edilen riskleri azaltmak için önlemler alınmalıdır. Risk azaltma eylemleri zaman alabilir.
Kabul Edilebilir (Düşük) Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ek kontroller gerekmeyebilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürülüp sürdürülmediği incelenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol eylemlerinin planlanması ve alınan önlemlerin kayıtlarının tutulması gerekli olmayabilir.

6.2.4. Finne-Kinney Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabilecek Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama için uzun süreli kullanılabilirliğini ve bu kullanımda olabilecek riskleri belirlemek için Finne-Kinney metodu seçilmiştir. İlk olarak riskler belirlenmiştir bu riskler L tipi matris yönteminde de belirlenmiş ve bölüm 6.2.3’de açıklanmıştır. Finne-Kinney risk değerlendirmesi yapılırken olasılık, etki ve frekans değerinin çarpılması ile risk skoru oluşturulmuştur.

6.2.4.1. Finne-Kinney Risk Değerlendirme Yönteminde Olasılık, Etki ve Frekansın Belirlenmesi

Finne-Kinney metodu için olasılık derecelendirmesi yapılırken 4 farklı olasılık değeri oluşturulmuştur. Zayıf olasılık (0.5), oldukça düşük olasılık (1), nadir fakat olabilir (3) ve kuvvetle muhtemel (6) olasılıktır. Bölüm 6.2.3’ de olasılık aralıklarının nasıl belirlendiği anlatılmıştır. Tablo 6.5’de olasılık dereceleri tanımlanmıştır.

Tablo 6.5. Olasılık dereceleri

SONUÇ	OLASILIK	OLASILIK ARALIĞI
0.5	Zayıf Olasılık	0-0.25
1	Oldukça Düşük Olasılık	0.25-0.5
3	Nadir Fakat Olabilir	0.5-0.75
6	Kuvvetle Muhtemel	0.75-1

Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi’nde yapılan laboratuvar analizlerinde sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, E-koli, ve sülfat parametrelerinin ölçümü yapılmamış olup bu değerler Tarım ve Orman Bakanlığı Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi (TOB, 2019) içerisinde bulunan parametrelerden tamamlanmıştır. Belirli bir sıklıkla ölçülmediği içi bu parametrelerin olasılık sıklığını bilmediğimizden dolayı yapılan çalışmada sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, nitrat, E-koli, ve sülfat parametrelerinin olasılık değerlendirmesinde olasılılık değeri $12/12=1$ kuvvetle muhtmel (6) olasılıkla sonuçlandırılmış ve çalışmaya devam edilmiştir.

Finne-Kinney metodunda etki derecelendirmesi oluşturulurken sulama suyu yapılırken dikkat edilmesi gereken parametreler genel sulama kriterleri değerlerine göre aralıklar oluşturulup dört gruba ayrılmıştır. Dikkate alınacak etki (1), düşük seviyede olan ancak koruma amaçlı olarak yine de dikkate alınması iyi olacak etki; önemli etki (3), küçük hasar, ilk müdahale gerektirir. Ciddi etki (7), önemli hasar; çok ciddi etki (15), çevresel etki oluşturur (Acar Filizci ve Erdebilli, 2022).

Finne-Kinney metodunda etki derecelendirmesi oluşturulurken sulama suyu yapılırken dikkat edilmesi gereken parametreler genel sulama kriterleri değerlerine göre aralıklar oluşturulup olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Dikkate alınacak etki (1) düşük seviyede olan ancak koruma amaçlı olarak yine de dikkate alınması iyi olacak etki, önemli etki (3) küçük hasar, ilk müdahale gerektirir. Ciddi etki (7) önemli hasar, çok ciddi etki (15) çevresel etki oluşturur (Acar Filizci ve Erdebilli, 2022).

Finne-Kinney metodu için frekans değerleri arıtılmış atık suyun sulamada kullanılma durumu dikkate alınarak dört gruba ayrılmıştır ve anlamları Tablo 6.6’da verilmiştir. Sulama suyunun % 10’u atıksudan karşılanıyor ise frekans değeri (1), % 20’si atıksudan karşılanıyor ise ve frekans değeri (2), % 30’u atıksudan karşılanıyor ise frekans değeri (3), % 60’ı atıksudan karşılanıyor ise (6) ve % 100’ü karşılanıyor ise frekans değeri (10) seçilmiştir.

Tablo 6.6. Finne-Kinney metodu frekans derecelendirmesi (Acar Filizci ve Erdebilli, 2022).

FREKANS	ANLAMLARI	Arıtılış Atıksuyun Uygulanma Şekli
1	Oldukça Nadir	Sulama suyunun %10 arıtılmış atıksu
2	Nadir	Sulama suyunun %20 arıtılmış atıksu
3	Ara Sıra	Sulama suyunun %30 arıtılmış atıksu
6	Sıklıkla	Sulama suyunun %60 arıtılmış atıksu
10	Sürekli	Sulama suyunun %100 arıtılmış atıksu

Potansiyel olarak tehlikeli durumlara ne kadar sık maruz kalınırsa, içerdği riskler o kadar artar bu sebeple hangi sıklıkta risk skorunun artacağına belirlenmesi için arıtılmış atıksu ile tarımsal sulamada sulama yapılması yukarıdaki beş farklı frekans için hesaplanmıştır.

Başka bir deyişle sulama suyunun %10, 20, 30, 60 ve %100'ünün arıtılmış atık sudan karşılanması durumu için ayrı ayrı oluşabilecek riskteki artışlar gösterilmeye çalışılmıştır. Kısaca sulama suyu kalitesine göre oluşabilecek riskleri düşük tutabilmek için tarımsal üretim deseninin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Örneğin; EC için risk skoru belirlenirken olasılık derecelendirmesi kuvvetle muhtemel olasılık (6), etki derecelendirmesi çok ciddi etki (15) ve frekans değeri yukarıda belirtilen beş grup içinde hesaplanmıştır ve frekans değerleri sırası ile 1, 2, 3, ve 10 alınmıştır. Buradan EC için risk skoru = $6 \times 15 \times 1 = 90$ 'dır. 2 ile çarpıldığında 180, 3 ile çarpıldığında 270, 6 ile çarpıldığında da 540 ve 10 ile çarpıldığında 900'dur.

Finne-Kinney Metodu Risk Değerlendirmesi

Olasılık, etki ve frekans değeri çarpılarak risk skoru elde edilmektedir. Risk skoru puanları risk düzeyinin kabul edilip edilemediğini ifade eder. Finne-Kinney metoduna göre sonuçlarının kabul edilebilirlik değerleri Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Finne-Kinney metodu risk skoru (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Risk Değeri	Risk Değerlendirme Sonucu
$R < 20$	Kabul Edilebilir Risk -Acil Tedbir Gerekmeyebilir.
$20 < R < 70$	Kesin Risk -Eylem Planına Alınmalı
$70 < R < 200$	Önemli Risk -Dikkate Alınmalı Ve Yıllık Eylem Planına Alınmalıdır.
$200 < R < 400$	Yüksek Risk- Kısa Vadeli Eylem Planına Alınmalıdır
$R > 400$	Çok Yüksek Risk -Çalışmaya Ara Verilerek Derhal Tedbir Alınmalıdır

7. BULGULAR

7.1. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı ve FAO'ya göre değerlendirilmiş ve kullanım kısıtlamaları ve kullanımında zarar dereceleri belirlenmiştir.

Tablo 7.1.'de Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği' ne göre değerlendirilmiş ve EC, TÇM, SAR, sodyum, klorür (yüzey sulama) az-orta kullanım derecesinde olup ikinci sınıf su kalitesindedir, klorür (damlatmalı sulama) kullanımında zarar derecesi yüksektir, bor ve pH değerlerinde ise kullanımında zarar derecesi yoktur ve birinci sınıf su kalitesindedir.

Tablo 7.1. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği'ne göre değerlendirilmesi

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi			Sonuç SDAAT Ort değer	Nihai Sınıf
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)		
Tuzluluk						
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000	1333	AO
Toplam çözünmüş Madde	mg/L	< 500	500-2000	>2000		
Geçirgenlik						
SAR _{Tad}	0-3	EC ≥ 700	700-200	< 200	5.04-1333	AO
	3-6	≥ 1200	1200-300	< 300		
	6-12	≥ 1900	1900-500	< 500		
	12-20	≥ 2900	2900-1300	< 1300		
	20-40	≥ 5000	5000-2900	< 2900		
Özgül iyon toksisitesi						
Sodyum (Na)						
Yüzey sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9	5.04	AO
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	> 70		193.63	tehlikeli
Klorür (Cl)						
Yüzey sulaması	mg/L	< 140	140 –350	> 350	263.60	AO
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	> 100		263.60	Tehlikeli
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0	0.2	Yok
pH		6-9			7.18	Yok

Tablo 7.2.'de çıkış suyu kalitesinin SSKKSYKHY göre değerlendirilmiştir. EC, TÇM, SAR, sodyum, az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir. Klorür damlama

sulama yöntemi kullanıldığında yüksek kullanım kısıtlaması gerektirir. Bor, nitrat azotu, ve pH için herhangi bir kullanım kısıtlaması bulunmamaktadır. E-coli konsantrasyonu ise çiğ tüketilmeyen bitkiler için çok düşük etki oluşturmaktadır.

Tablo 7.2. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin sulama sularının kalitesi ve kullanılmış suların yeniden kullanılması hakkında yönetmelik taslağı'na göre değerlendirilmesi (TOB, 2019).

Parametre	Birim	Kullanım kısıtlaması yok	Az-Orta Kullanım Kısıtlaması	Yüksek Kullanım Kısıtlaması	Sonuç	Nihai Sınıf	
Tuzluluk (Sulama suyunun bitki için uygunluğunu etkiler)							
Elektriksel İletkenlik	µS/cm	700	700-3000	>3000	1333	AOKK	
Toplam Çözülmüş Madde	mg/L	450	2.000	>2.000			
Geçirgenlik							
SAR	0-3	EC (µS/cm)	>700	700-200	<200	5.04-1333	AOKK
	3-6		>1200	1200-300	<300		
	6-12		>1900	1900-500	<500		
	12-20		>2900	2900-1300	<1300		
	20-40		>5000	5000-2900	<2900		
Özgül İyon Toksisitesi (Hassas bitkiler için)							
Sodyum (yüzey sulama)	SAR	3	9	>9	5,04	AOKK	
Sodyum (yağmurlama sulama)	mg/L	<69	>69		193.6373	AOKK	
Klorür (yüzey sulama)	mg/L	142	355	>355	296.6	AOKK	
Klorür (yağmurlama sulama)	mg/L	<106.5	>106.5		296.6	YKK	
Bor	mg/L	0,7	3	>3	0.2	KKY	
Diğer Etkiler (Hassas bitkiler için)							
Nitrat Azotu	mg/L	5	30	>30	3.6	KKY	
Toplam Pestisit	mg/L	<0.01	0.1	>0.1	0.001	KKY	
pH	-	6.5-8.4	6.5-8.4	6.5-8.4	7.18	KKY	
E.Koli	(E.coli sayısı/100 mL)	Çok düşük etki (tüm bitkiler) <1	Çok düşük etki(çiğ tüketilmeyen bitkiler) 1-1.000	Park bahçe gibi direkt su temasının olmadığı durumlar >1000	64	Çiğ tüketilmeyen bitkiler	

Tablo 7.3’de FAO sulama kriterlerine göre değerlendirilmiş olup, EC, TDS, SAR, sodyum, ve azot konsantrasyonu hafif-orta kullanım sınırlama derecesindedir. Bor ve pH için kullanımında sınırlama derecesi yoktur.

Tablo 7.3. Samsun doğu AAT çıkış suyu kalitesinin FAO kriterlerine göre değerlendirilmesi

Potansiyel Sulama Problemleri		Birim	Kullanım Sınırlama Derecesi			Sonuç	Sınıf
			Yok	Hafif-Orta	Şiddetli		
Tuzluluk (Bitki su yarayışlılığını etkiler) ²							
EC _w		dS/m	<700	700-300	>300	1333	hafif-orta
Veya							
TDS		mg/l	<450	450-2000	>2000		
İnfiltrasyon (Toprak içerisine suyun sızma hızını etkiler. EC _w ve SAR değerlerinin her ikisi kullanılarak değerlendirilir)							
SAR	0-3	v e C w	>700	700-200	<0.200		
	3-6		>120	1200-300	<0.300	5.04-1333	hafif-orta
	6-12		>190	1900-500	<500		
	12-20		>290	2900-1300	<1300		
	20-40		>500	5000-2900	<2900		
			0				
Özel İyon Toksikliği (Duyarlı bitkileri etkilemektedir)							
Sodyum (Na) ⁴	Yüzey Sulama	SAR	<3	3-9	>9	5.04	hafif-orta
	Yağmurlama sulama	mg/l	<69	>69		193.63	hafif-orta
Klor (Cl) ⁴	Yüzey Sulama	mg/l	<142	142-355	>355	263.6	hafif orta
	Yağmurlama sulama	mg/l	<24.85	>106.5			
Bor (B) ⁵		mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0	0.2	kısıt yok
İz elementler (Çizelge 21'e bakınız)							
Diğer Etkiler (Hassas bitkileri etkilemektedir)							
Azot (NO ₃ -N) ⁶		mg/l	<5	5-30	>30	3.6	kısıt yok
Bikarbonat (HCO ₃)		me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5		
Yalnızca yağmurlama sulama							
pH			Normal aralık	6.5-8.4	7.18		kısıt yok

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı ve FAO sulama kriterlerine göre Samsun Doğu AAT çıkış suyu parametrelerin ortalama sonuçlarının değerlendirmesi yapıldığında aşağıdaki yorumlar yapılmıştır:

Çıkış suyunda EC değeri 1333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir ve Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre değerlendirildiğinde yüksek tuzlu sular sınıfına girmektedir ve bu sular kullanım kontrolü gerektirir, tuza iyi toleransı olan bitkiler için kullanılabilir diğer bitkiler için toksittir. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağına göre de az-orta kullanım kısıtlaması gerektirir. FAO sulama kriterlerinde de hafif-orta kullanım sınırlama derecesinde olup bu suların kullanımı şeker kamışı, mısır, keten, bakla, seftali, portakal, kayısı gibi verimlilik potansiyeli uygun bitkilerin sulanmasında kullanılabilir, elektriksel iletkenlik değeri arttıkça zaman bu bitkilerdeki verim potansiyeli azalmaktadır.

Çıkış suyu analizinde SAR değeri 5.04 olup Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre çok hassas bitkilerin etkilendiği görülmektedir. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı ve FAO sulama kriterlerinde göre SAR değeri ve EC birlikte değerlendirilmektedir ve az-orta kullanım kısıtlaması sınıfına girmektedir. AATTUT'de SAR değeri için turuncgiller , avokado ve yaprak döken meyve ağaçları bu konsantrasyondan etkilendikleri için onun yerine buğday, pirinç, arpa, domates, yonca ve fasülye sulaması yapılabileceği önerilmektedir.

Çıkış suyu değerlerinde klorür 263.60 mg/L, sodyum 193.63 mg/L , bor 0.2 mg/L dir. Klorür II. sınıf su kalitesine ve orta hassas bitkiler için zarar veren konsantrasyonlardadır. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre klor konsantrasyonu yüzeysel sulama yapılacaksa az-orta yağmurlama sulama yapılacaksa yüksek kullanım kısıtlamasına sahiptir. AATTUT'de üzüm, patates, domates ve biber klorürden etkilenen bitkiler arasındadır. Arpa, salatalık, mısır, ayçiçeği gibi bitkilerin sulanması için uygundur.

Sodyum konsantrasyonu az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir, II. sınıf su kalitesine girmektedir, sulama Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre sodyum değeri çok yüksek sodyumlu su kategorisindedir ve bu kategorideki sular sulama için uygun bulunmamaktadır. Ancak tuza toleransı oldukça kuvvetli bitkilerde kullanılabilir yine de bitki büyümesi ve toprak yapısının

bozulmasına neden olacaktır. Konsantrasyonları sınır değerlerinden yüksek olduğundan tuzluluğu artırıcı etki göstermektedir.

Bor konsantrasyonu için kullanım kısıtlaması bulunmayıp her türlü bitkinin sulanması yapılabilmektedir.

Nitrat azotu konsantrasyonu çıkış suyu değeri 3.6 mg/L olup kullanım kısıtlaması bulunmamaktadır

Çıkış suyundaki AKM konsantrasyonu 13.90 mg/L dir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre 30 mg/L'ye kadar tolere edilmektedir. AKM konsantrasyonu boruların tıkanmaması ve mikrobiyal faaliyetlerin artmaması için takip edilmelidir.

Çıkış suyu pH değeri 7.18'tir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre I. kalite su sınıfına girmektedir. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağına göre ve FAO sulama kriterlerinde göre de bir kullanım kısıtlaması yoktur.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre, B kalitesinde su için koliform sayısı < 200 ad/100 mL olmalıdır. Çıkış suyu analizinde Fekal Koliform değeri 63.64 ad/100 mL'dir. Su kalitesi ve kullanılmış suların yeniden kullanımı ile ilgili taslak yönetmelik uyarınca E.Koli (E.Koli sayısı/100 mL) değeri 64 /100 mL olduğundan çok düşük etki oluşturur ve çiğ tüketilmeyen bitkilerin sulanmasında uygundur.

7.2. Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Değerlerinin Sulama Suyu Kalite İndeks Değerlerinin Belirlenmesi

Su kalite indeksinde w_i için atanan değerler tarımsal sulama suyu için parametrelerin önem derecesine göre seçilmiş olup elde edilen diğer değişkenlerle karşılaştırmalı görelî önemlerine göre belirlenmiştir.

Atıksu parametreleri belirlenirken AATTUT, FAO ve birçok ülkenin geliştirdiği sulama suyu parametrelerine bakılarak seçilmiştir. Buna göre tuzluluk etkisi tek bir parametre ile EC parametresi ile WQI dahil edilmiş, TÇM değerlendirmeye alınmamıştır, patojenik mikroorganizmalardan E.Coli ve Fekal-Coli arasından Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi en çok izlenen parametrelere göre

karar verilmiştir (duruma göre değişkenlik gösterilebilir). Parametreler bitki, toprak ve yeraltı suyu ile halk sağlığı bakımından ele alınarak, etkisine göre 6 gruba ayrılmıştır. Grup 1 parametrelerinin daha çok toprak geçirgenliği, Grup 2 toprak tuzluluğu, sodalaşma, Grup 3 bitki besleme ve yeraltı suyu kirliliği, Grup 4 toprak sağlığı, Grup 5 insan sağlığı, Grup 6 genel toksisite ve çevre sağlığı açısından etkiye sebebiyet veren parametreler olarak düşünülerek oluşturulmuştur. Bu şekilde etkiler daha vurgulanmak istenmiştir. Genel atıksu kalitesi indeksi tüm kalite parametreleri grup 1 ile 6 arasında değerlendirilmiştir. İnsan sağlığı toprak ve yeraltı suyu ile ilgili bu değerlendirme atık suyu kalitesinin sorunlarını belirlemede önemli katkı sağlamaktadır.



Tablo 7.4. Sulama suyu kalite indeksi

	Weight (w_i)	Relative weight (W_i)	AAT Kons. (C_i)	Std (S_i)	IWQI
Grup 1					
pH	3	0,031	7,18	7,5	2,9306
TAKM	3,5	0,036	13,9	30	1,6548
Grup 2					
EC (MS/cm)	5	0,051	1,133	3	1,9269
SAR	4,75	0,048	5,04	10	2,4429
Na (mg/L)	4,25	0,043	193,64	207	4,1160
Cl (mg/L)	3,25	0,033	263,6	350	2,4977
SO ₄ (mg/L)	2,75	0,028	100,3	960	0,2932
Grup 3					
NO ₃ -N (mg/L)	2,5	0,026	3,6	10	0,9184
Bor (mg/L)	3,25	0,033	0,2	1	0,6633
Grup 4					
KOİ/BOİ	3,5	0,036	2,76	3,33	2,9601
Pestisit	4	0,041	0,001	0,1	0,0408
Grup 5					
E-Coli	5	0,051	64	1000	0,3265
Fekal-Coli	5	0,051	63,64	200	1,6235
Grup 6					
Alüminyum (Al)	2,5	0,026	0,0436	5	0,0222
Arsenik (As)	3	0,031	0,0016	0,1	0,0490
Berilyum (Be)	3	0,031	0,0005	0,1	0,0153
Kadmiyum (Cd)	3,75	0,038	0,0005	0,01	0,1913
Krom (Cr)	2,5	0,026	0,0019	0,1	0,0485
Kobalt (Co)	2,75	0,028	0,0006	0,05	0,0337
Bakır (Cu)	3	0,031	0,0403	0,2	0,6168
Florür (F)	2	0,020	0,01	1	0,0204
Demir (Fe)	1,5	0,015	0,0959	5	0,0294
Kurşun (Pb)	3,25	0,033	0,001	3	0,0011
Lityum (Li)	3	0,031	0,0075	2,5	0,0092
Mangan (Mn)	3,5	0,036	0,0731	0,2	1,3054
Molibden (Mo)	3,5	0,036	0,0008	0,01	0,2857
Nikel (Ni)	3,5	0,036	0,0005	0,2	0,0089
Selenyum (Se)	3,5	0,036	0,0005	0,02	0,0893
Vanadyum (V)	3	0,031	0,0043	0,1	0,1316
Çinko (Zn)	1	0,0102041	0,0931	2	0,0475
$\sum w_i=98$		$\sum W_i=1,000$		$\sum IWQI=25,29$	

Bölüm 4.2.1’de su kalite indeksinin sınıflandırması verilmiştir. Yapılan çalışmada su kalite indeksi değerimiz 25.29 bulunmuştur ve $WQI < 50$ mükemmel (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun A sınıfı) (Şimşek vd., 2022) su sınıfına girmektedir.

Tablo 7.4’de de görüldüğü üzere su kalitesi indeksinin üzerine daha fazla katkı yapan bazı parametreler vardır. Bu parametreler pH, AKM, EC, SAR, Na, Cl ve KOI/BOI, E.Coli, Fekal- Koliform ve mangandır. Bu durum arıtılmış atık su ile sulama yapılırken hangi parametrelerin sulama üzerinde daha fazla etkili olduğunu gösterir. Özellikle uzun vadeli sulama sonucunda yıllar içerisinde toprak ile bitki sağlığındaki ve yeraltı suyu kalitesindeki değişimin gözlemlenmesi ve parametrelerin toprak tekstürü ve bitki desenleri üzerinde önemli etkisi olan parametrelerin belirlenmesi önemli görülmektedir. Örneğin birçok çalışma atıksu parametrelerinden BOI’nin toprak organik maddesinin artışı, agregalaşma gibi birçok pozitif etkisinden bahsederken uzun süreli sulamaların sonucunda toprak mikroflora ve faunasında değişim ve toprak gözenğinde gelişen biyofilm nedenli geçirgenlik sorunları ve oksijen değişimi üzerinde olumsuz etkilerinden de bahsetmektedir (İbrahimi vd., 2022; Touil vd., 2020). Dolayısıyla önem derecesine göre seçilmiş olan wi değeri çok dikkat ve seçicilikle belirlenmelidir, çünkü bu değer değiştirildiğinde hesaplanan indeks değeri üzerine yorumlamalarda farklılıklar olacaktır. Parametrelerin etkisindeki azalma veya artma ile su kalitesinin yorumlanmasında da önemli sonuçlar çıkartılacaktır.

7.3. Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Risklerin Olasılık ve Etki Değerlendirmesi

Tablo 7.5’de olasılık Tablo 7.6’da ve etki derecelendirmesi yapılmıştır. Etki değerlendirme yapılırken çıkış suyunda ölçülen parametrelerin sulama suyu için kullanılabilirliği ve hangi aralıklarda ne tür etkiler oluşturduğu AATUT, FAO, SKKY ve SSKSYKHY ile belirlenmiştir.

7.3.1. Olasılık Değerlendirmesi

Olasılık değerlendirme yapılırken Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi analiz sonuçlarının 12 aylık verileri Ek 1 dosyasında verilmiş olup olasılık hesabı 12 ay

verisi olan parametreler üzerinden belirlenmiştir. Olasılık değerlendirmesi Bölüm 6.2.3’de anlatılmaktadır.

EC için çıkış suyu konsantrasyonu 1.333 mS/cm olup 0.75-2.25 mS/cm aralığı içerisinde kalmaktadır. 12 aylık değerleri incelendiğinde genel olarak 0.75-2.25 mS/cm aralığı içerisinde yer aldıklarından dolayı olasılık değeri (Olasılık = 12/12 =1 gelmekte olduğundan) yüksek olasılık (4) olarak sonuçlanmıştır. Yüksek olasılık değeri EC parametresinin verilen aralığının dışında gelme olasılığının olmadığını göstermektedir veya başka bir deyiş ile bu seviyede seyretme olasılığının yüksek olduğunu belirtmektedir.

AKM konsantrasyonu çıkış suyu değeri 13.90 mg/L olup 10-20 mg/L aralığında bulunmaktadır. 12 ay boyunca ölçülen değerlerinin de 10-20 mg/L aralığında seyretmektedir ve benzer şekilde olasılığı yüksek olasılıktır (4).

pH çıkış suyu değeri 7.18’dir. 12 ay içerisinde pH değeri hiç bir zaman 6.5-8.5 aralığını geçmemiştir. Olasılık skoru yüksektir (4)

BOİ konsantrasyonunun çıkış suyundaki değeri 11 mg/L dir. 12 ay içerisinde BOİ konsantrasyonu yalnız bir kez 10-20 mg/L aralığından dan küçük çıkmış olup olasılık skoru yüksek olasılık (4) anlamına gelmektedir . BOİ parametresinin bu seviyede seyrettiği göstermektedir.

Klorür çıkış suyu konsantrasyonu 263.60 mg/L dir. 142-355 mg/L aralığını 12 ay boyunca hiç geçmemiştir yüksek olasılık (4) anlamına gelmektedir.

Sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, E-koli, ve sülfat parametrelerinin sürekli ölçümü gerçekleştirilmediğinden bu parametrelerin olasılık değeri yüksek olasılık (4) olarak alınmıştır.

Elde edilen atıksu verileri ışığında, her bir parametrenin ortalama değerinin bulunduğu aralıkta ölçülme olasılığı hesaplanarak olasılık değeri Tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5. Olasılık değerlendirmesi

Olasılık Değeri	ÇOK DÜŞÜK(1)	DÜŞÜK(2)	ORTA(3)	YÜKSEK(4)
	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1
EC (µS/cm)				12/12=1
SAR - (SKKY 1991)				12/12=1
Sodyum(mg/L)(AATTUT 2010)				12/12=1
Klor (mg/L) FAO				12/12=1
Bor (mg/L) (AATTUT 2010)				12/12=1
Nitrat Azotu (mg/L) NO ₃ ⁻ (SKKY 1991)				12/12=1
Pestisit (mg/L)				12/12=1
E-Koli (KOB/100 mL) (AATTUT 2010)				12/12=1
Fekal Koliform 1/100 ml (AATTUT 2010)				12/12=1
BOİ (mg/L) (AATTUT 2010)				11/12=0.91
pH (AATTUT 2010)				12/12=1
AKM (mg/L) (AATTUT 2010)				11/12=0.91
SO ₄ (SKKY 1991)				12/12=1

7.3.2. Etki Değerlendirmesi

Etki değerlendirmesi Tablo 7.6'da verilmiş olup çıkış suyuunda ölçülen parametreler için etki değerlendirmesinin sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Elektriksel iletkenlik için çıkış suyu konsantrasyon değeri 1.333 mS/cm olup etki değerlendirmesinde orta etki (3) olduğu tespit edilmiştir.

SAR konsantrasyonu çıkış suyu analizinde 5.04 dr. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğine göre çok hassas bitkilerin etkilendiği görülmektedir. Etki değerlendirmesinde çok düşük etki (1) yaptığı belirlenmiştir.

Sodyum konsantrasyonu çıkış suyu analizinde 193.63 mg/L olup sodyum konsantrasyonu az-orta kullanım kısıtlamasına sahiptir. Etki değerlendirmesinde düşük etki (2) yaptığı belirlenmiştir.

Klorür konsantrasyonu çıkış suyunda 263.60 mg/L dir. Klorür II.sınıf su kalitesine ve orta hassas bitkiler için zarar veren konsantrasyonlardadır ve etki değerlendirmesinde orta etki (3) olduğu gözlemlenmiştir.

Bor konsantrasyonu çıkış suyu değeri 0.3 mg/L dir. Herhangi bir kullanım kısıtlaması yoktur. Etki değerlendirmesinde dikkate alınacak etki (1) yaptığı gözlemlenmiştir.

E-Coli konsantrasyonu çıkış suyunda 64 ad/L ölçülüp Çiğ tüketilmeyen bitkilerin sulanmasında uygundur. Etki değerlendirmesinde düşük etki (2) oluşturduğu belirlenmiştir.

Fekal Koliform çıkış suyu konsantrasyonu 63.64 ad/L olup düşük etki (2) oluşturduğu etki değerlendirmesinde tespit edilmiştir. AATTUT'a göre çiğ tüketilmeyen bitkilerin sulanmasında uygundur.

BOİ konsantrasyonun çıkış suyundaki değeri 11 mg/L ölçülmüştür ve etki değerlendirmesinde düşük etki (2) oluşturmuştur. AATTUT'a göre herhangi bir kullanım kısıtlaması bulunmamaktadır.

Çıkış suyu pH değeri 7.18 olup çok düşük etki (1) oluşturduğu etki değerlendirmesinde belirlenmiştir. FAO sulama kriterlerinde pH değeri 6.5 ile 8.5 arasında olan suların sulama açısından kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır .

AKM konsantrasyonu çıkış suyu analizinde 13.90 mg/L ölçülmüştür ve etki değerlendirmesinde çok düşük etki (1) oluşturduğu tespit edilmiştir.

Nitrat konsantrasyonu çıkış suyu analizinde 3.6 mg/L ölçülmüştür ve 5 mg/L'yi geçmediği çok düşük etki (1) oluşturmuştur.

Tablo 7.6'nın en sağındaki sütünde verilen ortalama çıkış suyu parametre değeri incelenerek değerin yer aldığı grup tabloda renklendirilerek vurgulanmıştır.

Tablo 7.6. L tipi matris etki (şiddet) derecelendirmesi

Etki Değeri	ÇOK DÜŞÜK(1)	DÜŞÜK(2)	ORTA(3)	YÜKSEK(4)	ÇIKIŞ SUYU
EC (mS/cm) (FAO)	< 0.25	0.25-0.75	0.75-2.25	> 2.25	1.333
SAR - (SKKY 1991)	< 10	10-18	18-26	> 26	5,04
Sodyum(mg/L) (AATTUT 2010)	<69	69-450	450-920	920	193,63
Klor (mg/L) FAO	< 42	42-142	142-355	>355	263,60
Bor (mg/L) (AATTUT 2010)	< 0.7	0.7-2	2-3	> 3	0.3
Nitrat Azotu (mg/L) NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ mg/L (SKKY 1991)	< 5	5-15	15-30	> 30	3.6
Pestisit (mg/L)	< 0.01	0.01-0,1	0.1-0.3	> 0.3	0.001
E-Koli (KOB/100 mL) (AATTUT 2010)	< 1	1-1000	1000-2000	> 2000	64
Fekal Koliform 1/100 ml (AATTUT 2010)	< 2	20-100	100-1000	> 1000	63.64
BOİ (mg/L) (AATTUT 2010)	< 10	10-20	20-30	> 30	11
pH (AATTUT 2010)	6,5-9			6,5-9,0 dışında	7.18
AKM (mg/L) (AATTUT 2010)	< 10	10-20	20-30	> 30	13.90
SO ₄ (SKKY 1991)	< 192	192-336	336-575	> 575	100.3

7.4. L Tipi Matris Risk Değerlendirmesi

Bölüm 6.2.3’de belirtildiği üzere olasılık ve etki değerlerinin çarpımı ile risk skoru belirlenmiştir yine aynı kısımda risk skorunun kabul edilebilirlik düzeyleri belirtilmiştir. Tablo 7.7’de risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Bor, pH, SAR, eser element ve nutrientlerden kaynaklanan risklerin skoru kabul edilebilir risk olup artırılmış atık suların tarımsal sulamada kullanılmasında risk teşkil etmemişlerdir fakat devam eden kontroller sürdürülmeli ve kontrollerinin yapılıp yapılmadığı denetlenmelidir.

Patojen konsantrasyonu, AKM, elektriksel iletkenlik, klor, sodyum parametrelerinin risk değerlendirmesinde orta düzey risk skoru olduğu görülmüştür. Orta düzeydeki riskleri düşürmek için çalışmalara başlanmalı bu riskleri azaltmak için yapılan faaliyetler vakit alabilmektedir. Bu parametrelerdeki risk skorunun düşmesi için atıksu analizleri tekrarlanıp uygun arıtma yöntemleri ile parametre

konsantrasyonu azaltılmalıdır. Azaltma işlemi gerçekleştirilemiyor ise iyi kalitede su ile karıştırılıp seyreltilerek kullanılması sağlanmalıdır.

Tablo 7.7. L tipi risk değerlendirme tablosu

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	Olasılık	Etki	Risk Büyüklüğü	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonu nun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturması Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	4	2	8	Orta Düzey
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması, Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkileneceği bodur kalması	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturması Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	4	2	8	Orta Düzey
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı, Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk

Tablo 7.7. L tipi risk değerlendirme tablosu (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	Olasılık	Şiddet	Risk Büyüklüğü	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	4	3	12	Orta Düzey
Özgöl iyon toksitesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	4	2	8	Orta Düzey
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	4	3	12	Orta Düzey
(Bor için)	Bor konsatrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma,beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
BOİ konsantrasyonu fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	4	2	8	Orta Düzey

7.5. Finne-Kinney Yöntemiyle Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabilecek Riskler, Olasılık ve Etkilerin Belirlenmesi

Bölüm 6.2.4.1’de olasılık, etki ve frekans derecelendirmesinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Etki değerlendirmesi yapılırken çıkış suyunda ölçülen parametrelerin sulama suyu için kullanabilirliği ve hangi aralıklarda ne tür etkiler oluşturduğu AATUT, FAO, SKKY ve SSKKSYKHY ile belirlenmiştir.

7.5.1. Finne-Kinney Metodu Olasılık Değerlendirilmesi

Olasılık değerlendirmesi yapılırken Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi analiz sonuçlarının 12 aylık verileri Ek 1 dosyasında verilmiş olup olasılık hesabı bu 12 ay verisi olan parametreler üzerinden belirlenmiştir. Olasılık değerlendirmesi bölüm Tablo 7.8’de verilmiştir.

EC, AKM, pH BOİ, klorür çıkış suyu değerleri Samsun atık su arıtma tesisinde 12 ay boyunca ölçülmüştür ve bu parametreler etki değerlendirmesindeki belirlenen aralıklardan başka bir değer ölçülmediğinden dolayı olasılıkları 0.75 ve 1 olasılık skoru içerisinde yer almaktadır bu da kuvvetle muhtemel (6) ile sonuçlandığını göstermektedir.

Sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, E-koli, ve sülfat parametrelerinin sürekli ölçümü gerçekleştirilmediğinden bu parametrelerin olasılık değeri kuvvetle muhtemel (6) olarak alınmıştır.

Tablo 7.8. Finne-Kinney metodu olasılık değerlendirmesi

Olasılık Değeri	Zayıf olasılık (0.5)	Oldukça düşük (1)	Nadir fakat olabilir (3)	Kuvvetle muhtemel (6)
	0-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1
EC (mS/cm)				12/12=1
SAR - (SKKY 1991)				12/12=1
Sodyum(mg/L) (AATTUT 2010)				12/12=1
Klor (mg/L) FAO				12/12=1
Bor (mg/L) (AATTUT 2010)				12/12=1
Nitrat Azotu (mg/L) NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ mg/L (SKKY 1991)				12/12=1
Pestisit (mg/L)				12/12=1
E-Koli (KOB/100 mL) (AATTUT 2010)				12/12=1
Fekal Koliform 1/100 ml (AATTUT 2010)				12/12=1
BOİ (mg/L) (AATTUT 2010)				11/12=0.91
pH (AATTUT 2010)				12/12=1
AKM (mg/L) (AATTUT 2010)				11/12=0.91
SO ₄ (mg/L) (SKKY 1991)				12/12=1

7.5.1. Finne-Kinney Metodu Etki Değerlendirilmesi

Çıkış suyunda ölçülen parametreler için Tablo 7.9’da tanımlanan aralıklar göz önünde bulundurularak etki değerlendirmesinin sonuçları açıklanmıştır.

Çıkış suyu SAR ve pH değerleri ile bor ve nitratkonsantrasyonları etki değerlendirmesinde dikkat edilmesi gereken etkiye (1) sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Düşük seviyededir ancak koruma amaçlı olarak yine de dikkate alınması iyi olacaktır.

E-Coli, Fekal-Coli, BOİ, AKM, sodyum çıkış suyu seviyeleri etki değerlendirmesinde önemli etki (3) oluşturduğu belirlenmiştir. Önemli etkide küçük

hasarlar meydana gelebilir ve bu hasarlara yapılan ilk müdahalelerle etkinin sonucu azaltılabilir.

Elektriksel iletkenlik ve klorür için çıkış suyu konsantrasyon değerleri etki değerlendirmesinde ciddi etkiye (7) neden olduğu tespit edilmiştir. Ciddi etkilerde önemli hasarlar meydana gelir dışarıdan yapılan ilk müdahaleler ile hasarın etkisi azaltılabilir.

Tablo 7.9. Fine-Kinney metodu etki değerlendirmesi

Etki Değeri	Dikkate Alınmalı (1)	Önemli (3)	Ciddi (7)	Çok Ciddi (15)	ÇIKIŞ SUYU
EC (µS/cm) (FAO)	< 0.25	0.25-0.75	0.75-2.25	> 2.25	1.133
SAR - (SKKY 1991)	< 10	10-18	18-26	> 26	5,04
Sodyum(mg/L) (AATTUT 2010)	<69	69-450	450-920	920	193,63
Klor (mg/L) FAO	< 42	42-142	142-355	>355	263,60
Bor (mg/L) (AATTUT 2010)	< 0.7	0.7-2	2-3	> 3	0.3
Nitrat Azotu (mg/L) NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ mg/L (SKKY 1991)	< 5	5-15	15-30	> 30	0.34
E-Koli (KOB/100 mL) (AATTUT 2010)	< 1	1-1000	1000-2000	> 2000	64
Fekal Koliform 1/100 ml (AATTUT 2010)	< 2	20-100	100-1000	> 1000	63.64
BOİ (mg/L) (AATTUT 2010)	< 10	10-20	20-30	> 30	11
pH (AATTUT 2010)	6.5-8.5			6.0-9.0 dışında	7.18
AKM (mg/L) (AATTUT 2010)	< 10	10-20	20-30	> 30	13.90
Sıcaklık (°C) (SKKY 1991)	< 30	30 -35	35-40	> 40	17.74
SO ₄ (SKKY 1991)	< 192	192-336	336-575	> 575	100.3

7.6. Arıtılmış Atık Suyun Tarımsal Sulamada Oluşturabileceği Risklerin Finne-Kinney Metodu İle Değerlendirmesi

Tablo 7.6. 'de Finne-Kinney metodu risk değerlendirmesi verilmiştir.

Arıtılmış atıksu ile tarımsal sulamada sulama yapılmasına potansiyel olarak tehlikeli durumlara ne kadar sık maruz kalınırsa, içerdiği riskler o kadar artar. Bu sebeple hangi atıksu sulama yoğunluğu ile risk skorunun artacağını belirlemek için bölüm 6.1.4.1'de belirtilen dört farklı frekans değeri ile çarpılarak, ayrı ayrı dört tane risk değerlendirmesi yapılmıştır.

İlk olarak arıtılmış atıksu ile sulama yapılırken tüm sulama sezonu boyunca;

- Arıtılmış atıksuyun toplam sulama suyunun %5'ini oluşturması durumunda sulama yapmak, yani arıtılmış atıksuyu tarımsal sulamada çok nadir (0.5) kullanım için risk değerlendirmesi Tablo 7.10'da verilmiştir.
- Arıtılmış atıksuyun toplam sulama suyunun %10'unu oluşturması durumunda sulama yapmak yani, oldukça nadir olarak arıtılmış atıksuyu tarımda kullanma için yapılan risk değerlendirmesi Tablo 7.11'da yapılmıştır.
- Arıtılmış atıksuyun toplam sulama suyunun % 20'si oluşturması durumunda ile sulama yapmak yani nadir sulama (2) yapmak için risk değerlendirmesi Tablo 7.12'de verilmiştir.
- Arıtılmış atıksuyun toplam sulama suyunun %30'unu oluşturması durumunda sulama yapmak yani ara sıra sulama (3) yaparak arıtılmış atıksuyu kullanarak yapılan risk değerlendirmesi Tablo 7.13'de verilmiştir.
- Arıtılmış atıksuyun toplam sulama suyunun %60'ını oluşturması durumunda sıklıkla sulama (6) yaparak arıtılmış atıksu kullanımı risk değerlendirmesi Tablo 7.14'de verilmiştir.
- Arıtılmış atıksuyla yani sulama suyunun %100'ünün atıksu olması durumunda sulama yapmak yani sürekli (10) atıksuyu kullanarak sulama yapılırken risk değerlendirmesi Tablo 7.15'de verilmiştir.

Tablo 7.10. Çok nadir sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturması Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	0.5	9	Kabul Edilebilir
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması	6	1	0.5	3	Kabul Edilebilir
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturması Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	0.5	9	Kabul Edilebilir
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı,Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	0.5	3	Kabul Edilebilir

Tablo 7.10. Çok nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	0.5	3	Kabul Edilebilir
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	0.5	21	Kesin Risk
Özgöl iyon toksititesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	0.5	9	Kabul Edilebilir
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	0.5	21	Kesin Risk
(Bor için)	Bor konsatrasyonun artması ile yaprak ucunda sararma,beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	0.5	3	Kabul Edilebilir
BOİ konsantrasyo fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	0.5	9	Kabul Edilebilir

Tablo 7.10.'dan görüldüğü üzere patojen AKM, BOİ, bor, sodyum, pH, SAR, eser element ve nutrientlerden kaynaklanan risklerin skoru kabul edilebilir risk olup arıtılmış atık suların toplam sulama suyunun %5'ini oluşturması durumunda tarımsal sulamada kullanılmasında risk teşkil etmemişlerdir. Bu nedenle tedbir gerektirmez.

Elektriksel iletkenlik, klorür parametreleri için risk değerlendirmesinde kesin risk skoru olduğu ve riski düşürmek için önlemler alınması gerektiği ve gözetim altında sulama yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Atıksu analizleri tekrarlanıp uygun arıtma yöntemleri ile parametre konsantrasyonu azaltılarak tekrar sulama yapılabilir. Azaltma işlemi gerçekleştirilemiyor ise iyi kalitede su ile karıştırılıp seyreltilerek kullanılması sağlanmalıdır.

Atıksuyun toplam sulama suyunun %10'u, %20'si, %30'u, %60'ı ve tamamını (%100) oluşturması durumunda, yani frekans değeri arttırıldığında oluşan riskler Tablo 7.11-7.15'de görülmektedir.

Tablo 7.11. Oldukça nadir sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturmaları Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	1	18	Kabul Edilebilir
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması, Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması	6	1	1	6	Kabul Edilebilir
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturmaları Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	1	18	Kabul Edilebilir
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı,Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	1	6	Kabul Edilebilir

Tablo 7.11. Oldukça nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	1	6	Kabul Edilebilir
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	1	42	Kesin Risk
Özgül iyon toksitesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	1	18	Kabul Edilebilir
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	1	42	Kesin Risk
(Bor için)	Bor konsantrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma, beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	1	6	Kabul Edilebilir
BOİ konsantrasyon fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	1	18	Kabul Edilebilir

Tablo 7.12. Nadir sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturması Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	2	36	Kesin Risk
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması	6	1	2	12	Kabul Edilebilir
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturması Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	2	36	Kesin Risk
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı,Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	2	12	Kabul Edilebilir

Tablo 7.12. Nadir sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	2	12	Kabul Edilebilir
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	2	84	Önemli
Özgöl iyon toksititesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	2	36	Kesin Risk
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	2	84	Önemli
(Bor için)	Bor konsatrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma,beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	2	12	Kabul Edilebilir
BOİ konsantrasyon fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	2	36	Kesin Risk

Tablo 7.13. Ara sıra sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturması Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	3	54	Kesin Risk
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması	6	1	3	18	Kabul Edilebilir
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturması Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	3	54	Kesin Risk
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı,Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	3	18	Kabul Edilebilir

Tablo 7.13. Ara sıra sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	3	18	Kabul Edilebilir
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	3	126	Önemli
Özgöl iyon toksitesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	3	48	Kesin Risk
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	3	126	Önemli
(Bor için)	Bor konsantrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma,beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	3	18	Kabul Edilebilir
BOİ konsantrasyonu fazla olması	Toprak gözeneklerinin tikanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	3	54	Kesin Risk

Tablo 7.14. Sıklıkla sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturmaları Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	6	108	Önemli Risk
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenecek bodur kalması	6	1	6	36	Kesin Risk
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturmaları Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	6	108	Önemli Risk
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı, Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	6	36	Kesin Risk

Tablo 7.14. Sıklıkla sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	6	36	Kesin Risk
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	6	252	Yüksek Risk
Özgül iyon toksitesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	6	108	Önemli Risk
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	6	252	Yüksek Risk
(Bor için)	Bor konsantrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma, beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	6	36	Kesin Risk
BOİ konsantrasyonu fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	6	108	Önemli Risk

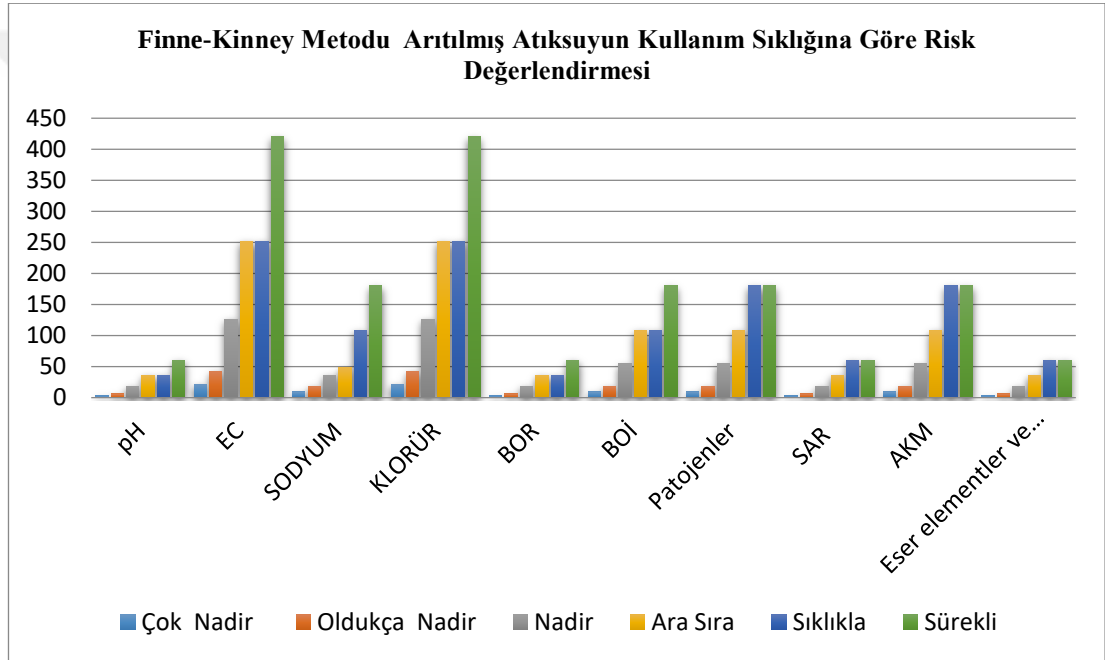
Tablo 7.15. Sürekli sulama ile risk değerlendirmesi

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
Patojen konsantrasyonunun fazla olması	Mikroorganizmaların tifo dizanteri ishal vb hastalık oluşturmaları Doğrudan veya dolaylı olarak sulama suyuna temas	6	3	10	180	Önemli Risk
SAR değerinin fazla olması	Toprak yapısının bozulması, toprak kuruması ve çatlaması Bitkilerde toksit etki oluşması Bitki yapraklarının yanması Bitkilerin gelişimin etkilenerek bodur kalması	6	1	10	60	Kesin Risk
AKM değerinin fazla olması	Boruların tıkanması Mikrobiyal faaliyetlerin artması Toprak filtrasyon özelliğinin azalması, Sudaki organik kirletici yükünün artması Besin zinciri yolu ile mikroorganizmaların insanlar üzerinde hastalık oluşturmaları Bitki gelişimi eksikliği, Kötü koku problemleri	6	3	10	180	Önemli Risk
Eser elementler ve nütrientlerin varlığı (azot, fosfor, potasyum, ağır metaller...)	Bitki üzerinde ağır metal birikimi, Besin zinciri yolu ile insan üzerine alınımı,Kanser ve sinir sistemi hastalıkları oluşması Bitki yapraklarında hasar ve büyüme eksikliği Yeraltı suyunun kirlenmesi Aşırı miktarda azot birikimi ile bitki olgunlaşmasının gecikmesi, Azot konsantrasyonu yükselmesi ile Ötrofikasyon oluşması ve Alg patlamaları	6	1	10	60	Kesin Risk

Tablo 7.15. Sürekli Sulama ile risk değerlendirmesi (devamı)

Tespit Edilen Tehlike	Tehlikenin Sebep Olacağı Risk	O	E	F	Risk skoru	Risk Sınıfı
pH değerinin düşük veya yüksek olması	Mikrobiyal faaliyetlerde azalma yaşanması Toprak yapısının bozulması ve bitki veriminin azalması Düşük pH sonucu borularda aşınma	6	1	10	60	Kesin Risk
Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olması	Topraktaki tuzluluğun artması ve toprak yapısının bozulması Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması ve Bitkilerin gelişimini tamamlayamaması ve bodur kalma	6	7	10	420	Yüksek Risk
Özgül iyon toksitesinin yüksek olması (sodyum için)	Bitkiler üzerinde toksit etki oluşması Sodyum konsantrasyonunun artması ile yaprak kenarlarının yanması Toprak yapısının bozulması Bitki gelişimin engellenmesi	6	3	10	180	Önemli Risk
(Klorür için)	Klorür konsantrasyonundaki artma ile yaprak ucunda yanma ve kuruma	6	7	10	420	Yüksek Risk
(Bor için)	Bor konsantrasyonunun artması ile yaprak ucunda sararma, beneklenme, kuruma ve yaprak dökülmesi	6	1	10	60	Kesin Risk
BOİ konsantrasyonu fazla olması	Toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olmakta su süzülmesini azaltmakta ve alınan toprakta havalandırma içerik oranının düşmesine yol açmaktadır	6	3	10	180	Önemli Risk

Yukarıda verilen tablolarda da görüldüğü üzere arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama için kullanım sıklığı arttıkça her parametrenin risk skoru artmıştır. Tablo 7.15’den de görüldüğü üzere arıtılmış atıksunun kullanım oranı arttıkça tüm parametrelerde skor artışı belirlenmiştir. Bu yüzden arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama için kullanılabilirliği çok yüksek riskler için sulama amaçlı kullanımının durdurulup gerekli iyileştirmeler ve gerekli arıtma yöntemleri geliştirilerek uygun sulama yöntemleri, drenaj koşullarında iyileştirmeler ve uygun bitki seçimi gibi çözümler derhal belirlenip sulama yapılmak zorunda ise bu işlemler yapıldıktan sonra devam edilmelidir. Sulama sıklıklarının risk değerlendirme sonuçları üzerindeki etkisi Şekil 7.1’de daha belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 7.1. Sulama sıklıkları ile risk değerlendirme

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunda su kalite analiz sonuçları Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı ve FAO'ya göre tarımsal sulama için uygunluğu değerlendirilmiştir. Arıtılmış atıksu çıkış suyu değerlerinin sulamadaki kullanım kısıtlamaları belirlenmiştir.

Tarımsal sulama suyu kalite indeksi ile arıtılmış atıksuyun kalitesi belirlenmiştir ve iyi kalitede bir su olduğu ve sulama için uygun olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte bazı parametrelerin bu indeks üzerinde vermiş olduğu etki fazla olduğundan etkisi yüksek olan parametrelerin iyileştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama için kullanmasında risk analiz yöntemlerinden L tipi ve Fine-Kinney matris risk analiz metodu kullanılmıştır. L tipi matris ile yapılan risk analizi sonucunda mevcut SAR, eser elementler, nütrientler, bor, mikrokirletici ve pH seviyeleri için risk önem derecelendirmesinde kabul edilebilir yani önemsiz riskler kategorisinde değerlendirilmiştir. AKM, patojenler, EC, klorür, sodyum, BOİ seviyeleri için orta düzeydeki risk olarak belirlenmiştir. Orta düzeydeki riskler önem ifade eden riskler olup önlem alınmasını gerektirir. Özgül iyon toksititesi için risk önem derecesi belirlenirken klorür, bor ve sodyum için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır.

Arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanılabilirliğinin araştırmasında sulama sıklığı önemli olduğundan değerlendirmeye dahilmesi gerekmektedir. Bu yüzden sulama sıklığı frekans yani sıklık değeri şeklinde dahil edilmiştir. L tipi matris analizi daha basit bir analiz olup kullanım kolaylığından dolayı seçilmiştir fakat risk skorlarının daha hassas sonuçlandırabilmek için Finne-Kinney metodu ile frekans değeri risk değerlendirmesine dahil edilmiştir. Finne-Kinney metodu sulama sıklığını kapsayabildiğinden tercih edilmiştir.

Finne-Kinney metodu ile risk değerlendirme sonucunda arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada oldukça nadir kullanıldığında oluşan risk değerlendirmesi yapıldığında ve patojen , AKM, BOİ, bor pH, SAR, eser element ve nutrientlerden kaynaklanan risklerin skoru kabul edilebilir risk olup arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanılmasında risk teşkil etmemişlerdir. Elektriksel iletkenlik (EC),

klorür ve sodyum parametreleri için risk değerlendirmesinde kesin risk skoru olduğu görülmüştür. Arıtılmış atıksuya erişilebilirlik artığında yani daha fazla kullanılması durumu söz konusu olduğunda parametrelerin risk skorlarının arttığı, yani tehlikeli duruma maruz kalma sıklığı arttığı tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanımında olumsuz etki yapabilecek tüm riskler değerlendirilmiş olup risk önem dereceleri belirlenmiş ve sulama yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalar risk önem derecelerine göre sıralanıp risklerin kontrolü sağlanmıştır.

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılırken risk değerlendirme sonuçlarına bakılarak verim/randuman düşüklüğü yaşanılmaması için bitkilerin hassasiyet durumlarına göre bitki seçimi yapıp ekilmesi ve uygun sulama yöntemi belirlenmesi, parametrelerin iyileştirilmesinin sağlanması, uygun drenaj koşulları sağlanması önerilmektedir.

Tez çalışmasında atıksuların tarımsal sulama için uygunluğu araştırılırken bazı parametrelerin Samsun Doğu AAT çıkış suyu analiz sonuçları içerisinde ölçülmediği tespit edilmiştir. Magnezyum, potasyum, kalsiyum, karbonat ve bi karbonat parametrelerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmadaki risk analizinde L tipi matris yöntemi kullanılırken olasılık değerlerinin hatasız olarak belirlenebilmesi için 12 aylık analiz sonuçları gerekmektedir.

Samsun Doğu Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılan laboratuvar analizlerinde Sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum, bor, E-koli, ve sülfat parametrelerinin ölçümü yapılmamış olup bu değerler Tarım ve Orman Bakanlığı Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi içerisinde bulunan parametrelerden tamamlanmıştır. Belirli bir sıklıkla ölçülmediği için bu parametrelerin olasılık sıklığını hesaplanamadığından dolayı yapılan çalışmada olasılık değerleri yüksek olasılık i değeri verilerek yapılmıştır. Olasılık değerinin artması ve azalması durumunda risk skoru da değişeceği için atıksu arıtma tesislerinin ülkemizdeki ve dünyamızdaki su kıtlığı ve iklim değişiklikleri nedeni ile oluşan su sorunlarının ve arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılması önemliliğini kavrayarak bu parametrelerin de ölçülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, yüzey veya yeraltı sularının tarımsal sulama için uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan indislerin (SAR, %Na, RSC, MAR vb), indislerde yararlanılan parametrelerin arıtılmış atıksuların sulama için uygunluğunun

değerlendirmesinde yeterli gelmeyeceği düşünülmektedir. Bu yüzden söz konusu indislere ilaven artırılmış atıksuların sulama için uygunluğunu değerlendirilmesinde özellikle uzun süreli kullanımları gözeterek bir başka aracın gerektiğine inanılmaktadır. Rutin olarak analizi gerçekleştirilen birçok atıksu parametresinin toprak, bitki, yeraltı suyu vs üzerine etkisinin uzun süreli sulama durumları için araştırılmasına ihtiyaç devam etmektedir. Değerlendirmeye katılması gereken ilave atıksu parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Arıtılmış atıksuyun uzun süreli sulamada kullanımında toprak tekstürü etkisinin de araştırmalara dahil edilmesi önemlidir, çünkü geçirimsliği yüksek özellikteki (kaba bünyeli) topraklarda AKM, BOI parametrelerin (tıkanma, havalanma, flora-fauna) etkisi ile geçirimsliliği orta-düşük özellikteki topraklardaki etkisi oldukça farklı olacaktır. Dileriz ki FAO, ATTUT vb sulama suyu kriterleri ve sulama indislerine ilaven artırılmış atıksuyun karakterinin uzun süreli sulamalarındaki etkisini ön görebilecek bir değerlendirme aracı geliştirilebilsin. Bu tez çalışmasının amacı artırılmış atıksuların sulama suyu için uygunluğunun değerlendirilmesinde su kalite indeksi ve risk analizi yöntemlerinin kullanımının denemesi gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- AATTUT. (2010, Mart 20). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Abbas Abbasnia, Nader Yousefi, Amir Hossein Mahvi, Ramin Nabizadeh Majid Radfard, Mahmood Yousefi & Mahmood Alimohammadi (2019) Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran), Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 25:4, 988-1005, <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1458596>
- Acar Filizci, A. E. & Erdebilli, B. (2022). Akaryakıt İstasyonuna Ait Klasik Fine Kinney Risk Analizinin Bulanık Fine Kinney Yöntemi Karşılaştırılması . *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi* , 5 (2) , 188-198 . <https://doi.org/10.51764/smutgd.1124513>
- Acar, Ö. Ö. (2018). Evsel nitelikli arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Acharya, Sanigdha & Sharma, S.K. & Khandegar, Vinita. (2018). Assessment of groundwater quality by Water Quality Indices for Irrigation and drinking in South West Delhi, India. Data in Brief. 18. 10.1016/j.dib.2018.04.120.
- Ak, M. & Top, İ. (2018). Arıtılmış kentsel atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanımı . *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 24 (6) , 1161-1168 .
- Aker A. ve Tijen Ö.Ö. (2020). "Metal sektöründe 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi", *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 4(1): 69.
- Akkurt, Ş. & Oğuz, M. (2019). Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirlenmelerin Arıtılabilirliği . *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 22 (2) , 58-77 . <https://doi.org/10.17780/ksujes.451940>
- Aküzüm, T. , Çakmak, B. & Gökarp, Z. (2010). Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi . *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* , (1) , 67-74 .
- Alfalahi, A., Al-Muselehi, S.W., Al-Nozaily, F.A.S. et al. The role of regular evaluation of wastewater quality in minimizing health consequences due to wastewater reuse in irrigation. *Arab J Geosci* 16, 140 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11214-6>
- Al-Jaboobi, Muamar & Tijane, M. & El-Ariqi, S. & Housni, A.E. & Zouahri, A. & Bouksaim, M.. (2014). Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. *Journal of Materials and Environmental Science*. 5. 747-752.
- Atalık, A. (2006). "Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri". Bilim ve Ütopya, 139: 18-21.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1989. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No. 29, FAO, Rome.
- Başkan, T. (2006). Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Becerra-Castro, Cristina & Lopes, Ana & Vaz-Moreira, Ivone & Silva, Elisabete & Manaia, Célia & Nunes, Olga. (2014). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*. 75. 10.1016/j.envint.2014.11.001.
- Bedbabis S, Rouina B, Boukhris M, Ferrara G (2013) Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *J Environ Manage* 133C:45–50.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.007>
- Bingül, Z. & Altıkat, A. (2017). Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği . *Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 69-75 .
- Bozan Kapdı, E. & Aşık, B. B. (2021). Sulama Göleti Suyunun Yüzeysel Su Kalitesi ve Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi; Usak İli Güllübağ Göleti Örneği . *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi* , 2 (1) , 52-69 .
- C, Ericson (2005). Hazard Analysis Techniques for System Safety, John Wiley & Sons, London.
- Can, S. (2021). Arıtılmış Atıksuların Tarımda Kullanımı Ve İnsan Sağlığı Yönünden Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Nevşehir.
- Carrow, R.N. and R.R. Duncan. 1998. *Salt-Affected Turfgrass Sites: Assessment and Management*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Chen, W., Lu, S., Jiao, W., Wang, M., Chang, A.C., 2013a. Reclaimed water: a safe irrigation water source? *Environ. Dev.* 8, 74–83.
- Chojnacka, Katarzyna & Witek-Krowiak, Anna & Moustakas, Konstantinos & Skrzypczak, Dawid & Mikula, K. & Loizidou, M.. (2020). A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 130. 109959. 10.1016/j.rser.2020.109959.
- Çelenk Kaya, E. , Ölmezoğlu, N. İ. & Başkan Takaoğlu, Z. (2018). Risk Değerlendirmesi Ne Kadar Önemli? İşveren Bakış Açısı . *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* , 7 (4) , 10-18 .
- Çetinkaya Uzun, R. & Utlu, Z. (2015). Elektrometal Kaplama İşlemlerinde Hazop Risk Değerlendirmesi: Örnek Uygulama . *Celal Bayar University Journal of Science* , 11 (2) , 279-286. <https://doi.org/10.18466/cbujos.78601>
- Çiftci, B. (2021). Hazır Beton Santrallerinde Çevresel Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İsparta.
- da Fonseca, A.F., Herpin, U., DE Paula, A.M., Victoria, R.L., Melfi, A.J., 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Sci. Agric.* 64, 194–209.
- Demir, Ö. , Yıldız, M. , Sercan, Ü. & Arzum, C. Ş. (2017). Atıksuların Geri Kazanılması Ve Yeniden Kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* , 2 (2) , 1-14 .
- Doneen, L., 1964. Notes on water quality in agriculture, Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.

- Duman, H. (2017). Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi. Ankara.
- Egbueri JC, Agbasi JC (2022) Data-driven soft computing modeling of groundwater quality parameters in southeast nigeria: comparing the performances of different algorithms. *Environ Sci Pollut Res* 29(25):38346–38373. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18520-8>
- Egbueri JC, Enyigwe MT, Ayejoto DA (2022) Modeling the impact of potentially harmful elements on the groundwater quality of a mining area (Nigeria) by integrating NSFQI, HERisk code, and HCs. *Environ Monit Assess* 194(3):150. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09789-w>
- Ekmekçi, E. , Apan, M. & Kara, T. (2005). Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi . *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* , 20 (3) , 118-125 .
- Elemile, Olugbenga & Ibitogbe, Enoch & Okikiola, B.T. & Ejigboye, Praise. (2022). Groundwater quality using indices for domestic and irrigation purposes in Akure, Nigeria. *Results in Engineering*. 13. 100347. [10.1016/j.rineng.2022.100347](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100347).
- Emongor, V., Ramolemana, G., 2004. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C* 29, 1101–1108.
- Erdem, M. (2021). Kontrol Listesi (Check-List) ve Fine-Kinney Risk Değerlendirme Yöntemleri Kullanılarak Bir Eğitim Kurumu Risk Analizi Uygulaması ve Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gaziantep.
- Erten, B. (2017). İlaç lojistik sektöründe risk analizi yapılarak 5x5 Matris, Fine Kinney ve FMEA yöntemleri ile risk değerlendirmelerinin karşılaştırılması: bir firma örneği .Yüksek Lisans Tezi, 63s. İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Etteieb S., Cherif S., Tarhouni J., (2015), *Hydrochemical assessment of water quality for irrigation: a case study of the Medjerda River in Tunisia*, *Applied Water Science*, 1–12.
- FAO, 1985. URL 1, <http://www.fao.org>. Son güncelleme tarihi: 03-03-2005.
- Fesliyen, K. (2017). Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, 277s. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa.
- Gümüş, N.E., Akköz, C., 2020. Eber Gölü (Afyonkarahisar) Su Kalitesinin Araştırılması, *Limnofish-Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research* 6(2): 153-163 (2020).
- Harivandi, A. 1994. Wastewater quality and treatment plants. In: United States Golf Association. *Wastewater Irrigation for Golf Course Irrigation*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Hasırcı, O. S. (2021). Konya İli Çumra İlçesindeki Yeraltı Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, <https://doi.org/10.1002/ird.2386> .
- Hussain A, Priyadarshi M, Dubey S (2019) Experimental study on accumulation of heavy metals in vegetables irrigated with treated wastewater. *Appl Water Sci* 9:122. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0999-4>

- Ibrahimi, Khaled & Attia, Kmar & Roua, Amami & Américo-Pinheiro, Juliana & Sher, Farooq. (2022). Assessment of three decades treated wastewater impact on soil quality in semi-arid agroecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 21. 10.1016/j.jssas.2022.03.002.
- Jaramillo MF, Restrepo I. Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. *Sustainability*. 2017; 9(10):1734. <https://doi.org/10.3390/su9101734>
- Joshi D.M., Kumar A., Agrawal N., (2009), Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district, *Rasayan Journal of Chemistry*, 2(2), 285–292.
- Kabakulak, T.(2019). "Bir Tekstil İşletmesinde Risk Değerlendirme Uygulaması : 5x5 Matris ve HAZOP", *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, c. 3, sayı. 2, ss. 97-111, doi.org/10.33720/kisgd.581677
- Karaaslan , Y. (2020). Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Yeniden Kullanımı, *Academic Platform - Journal of Engineering and Science*, c. 8, sayı. 2, ss. 230-236, May. <https://doi.org/10.21541/apjes.615091>
- Karakuş, CB , ve Yıldız, S. (2020) Sivas Şehir Merkezi (Türkiye) Çevresindeki Yeraltı Suyu Kalitesinin Gis ve Sulama Suyu Kalitesi İndeksi Kullanılarak Sulama Amaçlı Değerlendirmesi. *Irrig. Ve Boşaltma.* , 69 : 121 – 137
- Katip, A. (2018). Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi . *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 7 (2) , 541-557 . <https://doi.org/10.28948/ngumuh.432827>
- Kelly, W.P. (1940) Permissible composition and concentration of irrigated waters. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 66, 607–613.
- Khalid S, Shahid M, Natasha, Bibi I, Sarwar T, Shah AH, Niazi NK. (2018) . A Review of Environmental Contamination and Health Risk Assessment of Wastewater Use for Crop Irrigation with a Focus on Low and High-Income Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(5):895. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>
- Kılınç, O. D. (2019). İçme Suyu Arıtma Tesisinde Tehlikelerin, Risklerin Belirlenmesi Ve Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı ,Gaziantep.
- Kıymaz, S., Karadavut, U. 2014. Application of Multivariate Statistical Analysis in the Assessment of Surface Water Quality in Seyfe Lake, Turkey. *Tarım Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences*, 20:152-163.
- Lawrence, P. R., Meigh, J., & Sullivan, C. (2002). *The water poverty index: an international comparison*. Keele, Staffordshire, UK: Department of Economics, Keele University.
- M. Elgallal, L. Fletcher, B. Evans. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review, *Agricultural Water Management* Volume 177 , Pages 419-431, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.027>.
- Maathuis, F. J. M. (2014). Sodium in plants: Perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 65(3), 849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>

- McGrath S, Chaudri A, Giller K (1995) Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *J Ind Microbiol* 14:94–104. <https://doi.org/10.1007/BF01569890>
- Merouche, A., Selvam, S., Imessaoudene, Y., Maten, C.N., 2019. Environment, Development and Sustainability. Assessment of dam water quality for irrigation in the northeast of catchment Cheliff-Zahrez, Central Algeria. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00447-9>. 20 Nisan 2021.
- Muluk, Ç. B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M. A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G. & Zeydanlı, U. (2013). Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi, İstanbul.
- Nadella, Anusha & Sen, Dhruvajyoti. (2022). Application of wastewater quality index (WWQI) as an evaluation tool: a case of stormwater flow channel (SWF) of Kolkata, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194. 10.1007/s10661-021-09714-7.
- Nsabimana, Abel & Li, Peiyue. (2022). Hydrogeochemical characterization and appraisal of groundwater quality for industrial purpose using a novel industrial water quality index (IndWQI) in the Guanzhong Basin, China. *Geochemistry*. 83. 125922. 10.1016/j.chemer.2022.125922.
- Omotoso O.A., Ojo O.J., 2012. Assessment of quality of river Niger floodplain water at Jebba , central Nigeria : implications for irrigation, *Water Utility Journal*, 4: 13–24.
- Oturakçı, M. , Dağsuyu C.(2017). "Fuzzy Fine - Kinney Approach in Risk Assessment and an Application", *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, c. 1, sayı. 1, ss. 17-25. <https://doi.org/10.33720/kisgd.327548>
- Özer, Ç. & Köklü, R. (2019). Aşağı Sakarya Nehri Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi . *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* , 5 (2) , 237-246 . <https://doi.org/10.21324/dacd.483146>
- Özgür, C. (2021). Dezenfeksiyon ünitesi risk analizi: İçme suyu arıtma tesisi . *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 10 (1) , 16-22 . <https://doi.org/10.28948/ngumuh.741014>
- Özkiliç, Ö, (2005), İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK Yayınları, Ankara. 244s.
- Öztürk, K. (2002) Küresel iklim değişikliği ve Türkiye’ye olası etkileri. *GÜ Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 47-65.
- Özyürek, F. 2016. Nevşehir’de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi. Yüksek Lisans Tezi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Nevşehir.
- Palanisamy, Aravinthasamy & Duraisamy, Karunanidhi & Rao, N. & T, SUBRAMANI & Srinivasmoorthy, Krishnaraj. (2020). Irrigation risk assessment of groundwater in a non-perennial river basin of South India: implication from irrigation water quality index (IWQI) and geographical information system (GIS) approaches. *Arabian Journal of Geosciences*. 13. 10.1007/s12517-020-06103-1.
- Paliwal, K.V. (1972) Irrigation with Saline Water, Monogram No. 2 (New Series). IARI, New Delhi, 198.

- Polat, A. (2013). Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği İçin Arıtılan Atıksuların Yeniden Kullanımı . *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* , (1) , 58-62 .
- Qadir, M., Scott, C.A., 2010. Non-pathogenic trade-offs of wastewater irrigation. In:Drechsel, P., Scott, C.A., Raschid-sally, L., Redwood, M., Bahri, A. (Eds.),Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in LowIncome Countries. Earthscan, London.
- Raju NJ 2007. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhara Pradesh, South India. *Environmental Geology* 52:1067–1074.
- Rashid Abdur, Ayub Muhammad, Javed Asif, Khan Sardar, Gao Xubo, Li Chengcheng, Ullah Zahid, Sardar Tariq, Muhammad Juma, Nazneen Shahla (2021) Potentially harmful metals, and health risk evaluation in groundwater of Mardan, Pakistan: application of geostatistical approach and geographic information system. *Geosci Front* 12(3):101128.[https:// doi. org/ 10. 1016/j. gsf. 2020. 12. 009](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.12.009)
- Rausand, Marvin. 2005a. “Preliminary Hazard Analysis.” Norwegian University of Science and Technology.
- S.kukul, Y. , Çalışkan, A. D. Ü. & Anaç, S. (2007). Arıtılmış Atık Suların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler . *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* , 44 (3) , 101-116 .
- Saraoğlu, E.(2014). Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanımı-Ülkemizden ve Dünyadan Başarılı Örnekler ve Türkiye İçin Uygulama Önerileri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Uzmanlık Tezi. Ankara.
- Shuval, H., A. Adien, B. Fattal, E. Rawitz and P. Yekutial. 1986. Wastewater Irrigation in Devolving Countries. World Bank Technical Paper Num. 51, Washington, D.C. 322 p.
- SKKY, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 20748 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Solak, Z.(2018). Kentsel Nitelikli Arıtılmış Atık Suların Tekrar Kullanımı (Hendek Örneği), Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- SSKKSYPHY. Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015.
- Sulaman. S. M, Weyns. K, Höst. M. (2013). A review of research on risk analysis methods for IT systems. In Proceedings of the 17th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 86–96. <https://doi.org/10.1145/2460999.2461013>
- Şençoban Kaya, S. & Alaykiran, K. (2019). Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama . *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 1 (2) , 76-89 .
- Şimşek, A. , Türkten, H. & Bakan, G. (2022). Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi . *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 12 (2) , 645-662 . <https://doi.org/10.31466/kfbd.1100682>
- Şimşek, G. , Çanlı, M. , Karadavut, U. , Yazıcı, M. E. & Soğancı, K. (2017). Sulama Yapılan Alanların Bazı Su Parametreleri Açısından Ayırma (Discriminant) Analizi

Kullanılarak İncelenmesi . *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* , 4 (3) , 339-346 .
Retrieved from
<https://dergipark.org.tr/en/pub/turkjans/issue/30559/330694>

- Şimşek, S. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Değerlendirme Metotlarından Fine Kinney Metodunun Bir Örnekle Değerlendirilmesi . *İSG Akademik* , 2 (2) , 91-99 .
- T.C. Resmi Gazete, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 30 Haziran 2012, 28339 Sayılı.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). Kullanılmış SularınYeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi. Yeşilirmak Havzası Ön Fizibilite Raporu Ve Taslak Eylem Planı. https://kullanilmissu.tarimorman.gov.tr/files/dokumanlar/308/14-yesilirmak-havzasi-tep-cilt3_988.pdf. (erişim tarihi 05.03.2023)
- Touil, Sami & Mohammed Nacer, Chabaca & Hasbaia, Omira. (2020). Impact assessment of long treated wastewater irrigation on soil and crops in Algeria. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 5. 10.1007/s41207-020-00187-7.
- Topal, M. & Arslan Topal, E. (2016). Sularda Endokrin Bozucu Maddeler ve Çevresel Etkileri . *International Symposium of Water and Wastewater Management*. October 26-28. Malatya
- Toze, S. 2006. Reuse of Effluent Water-Benefits and Risks. *J. of Agricultural Management*, 80:147-159.
- Turan, E. & Bayrakdar, E. (2020). Türkiye'nin Su Yönetim Politikaları: Ulusal Güvenlik Açısından Bir Değerlendirme . *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi* , 6 (2) , 1-19 . <https://doi.org/10.25272/j.2149-8539.2020.6.2.01>
- Ulu, M. & Şahin, H. (2020). Hata Türü Ve Etkileri Analizi Tekniği ile Bir Mühendislik Fakültesinde Risk Değerlendirmesi . *Electronic Letters on Science and Engineering* , 16 (2) , 63-76 .
- Ulutaş, Ö. (2019). Konya İli Atıksu Arıtma Tesisi Risk Değerlendirmesi .Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- Urbano, V. R., Mendonc, T. G., & Bastos, R. G. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181,108-115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- Urbano, V. R., Mendonc, T. G., & Bastos, R. G. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181,108-115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- Ustaoglu, F. , Taş, B. , Tepe, Y. , & Topaldemir, H. (2021). Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environmental science and pollution research international*, 28(44), 62736–62754. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15135-3>.
- Ustun Odabasi, S. , Altın, S. H. & Büyükgüngör, H. (2020). Sucul Ortamdaki Bazı Mikrokirlleticilerin Oluşumu, Durumu Ve İleri Oksidasyon Prosesleri İle Giderilmesi . *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 9 (1) , 57-71 . <https://doi.org/10.28948/ngumuh.526064>

- Uymaz, M. (2016). Olasılık teorisi ve matematiksel istatistiğin elemanları üzerine. Yüksek Lisans Tezi. Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Ünverdi, Ş. , Çetinyokuş, S. (2021). "Bir Kamu Kurumunda Bulunan Asbest Uygulama Merkezi ve SEM Laboratuvarında L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi", *Karalmas Journal of Occupational Health and Safety*, c. 5, sayı. 2, ss. 99-107, <https://doi.org/10.33720/kisgd.977714>
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of Irrigation Waters. U.S. Dept. of Agric., Circular No. 696, 19 p.
- Xu, J., Wu, L., Chang, A.C., Zhang, Y., 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. *J.Hazard. Mater.* 183, 780–786.
- Yalçınkaya, N. M. , Demirel, E. & Peker Say, N. (2020). Tehlikeli Maddelerin Karayolu İle Taşınması Sürecinde Ortaya Çıkan Çevresel Risklerin Hata Ağacı Analizi (Haa) İle Değerlendirilmesi . *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* , 8 (4) , 973-984 . <https://doi.org/10.21923/jesd.720084>
- Yang G-L, Zheng M-M, Tan A-J, Liu Y-T, Feng D, Lv S-M (2021) Research on the mechanisms of plant enrichment and detoxification of cadmium. *Biology* 10:544. <https://doi.org/10.3390/biology10060544>
- Yerlikaya, M. A. , Efe, B. & Efe, Ö. F. (2016). İş Güvenliğinde Bulanık Promethee Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama . *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , 6 (2), 126-137. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.012>
- Yılmaz, D. (2005). Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

ÖZ GEÇMİŞ

Hatice Nur Gürel, Çankırı Şehit Hasan Gülhan Cumhuriyet Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi ve halen devam etmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-2809-0418

Yayınlar:

1. Gürel, H.N., Özkaraova E. B., (2022) *Tarımsal Sulamada Arıtılmış Kentsel Atıksuyun Kullanılmasının Risk Değerlendirilmesi* 4. International Scientific Research And Innovation Congress. İsaç Congress Book 2. Skin, sf; 917