

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMDA KULLANIMI VE
İNSAN SAĞLIĞI YÖNÜNDEN RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Sümevra CAN**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2021
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMDA KULLANIMI VE
İNSAN SAĞLIĞI YÖNÜNDEN RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Sümevra CAN**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2021
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın yűrűtűlmesi esnasında ve yűksek lisans űėrenimim boyunca desteėini esirgemeyen, her tűrlű bilgi paylaőımında yanımda olan danıőman hocam Dr. Őėr. Ŭyesi Hakan DULKADİROėLU'na, eėitim űėretim hayatım boyunca űzerimde maddi manevi bűyűk emeėi geçen, her anımda yanımda olan annem ve babama, yoėun çalıőmalarım sırasında sabır gűsterdiėi, desteklediėi ve bana bu yolda eőlik ettiėi için meslektaőım ve eőim Hasan CAN'a teőekkűrlerimi bir borç bilirim.



ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMDA KULLANIMI VE İNSAN SAĞLIĞI YÖNÜNDEN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sümeýra CAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2021

ÖZET

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun insan sağlığı üzerinde oluşturduğu riskler incelenmiştir. Arıtılmış atıksuyun tarımda kullanılması alternatif su kaynağı olarak temiz su kaynaklarının korunması yanında, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında kirliliğin önlenmesine katkıları sağlayabilmektedir. Bu avantajlarının yanı sıra tarımsal sulamasıyla birlikte atıksuyun içindeki yararlı mikroorganizmalar ve besinler sayesinde topraktaki gübre gereksinimi de karşılanmaktadır. Ancak arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada yeniden kullanılması ile içerisindeki hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalar ve kimyasallardan kaynaklı olarak doğan bazı riskler bulunmaktadır. Bu riskler insan sağlığı açısından da önemli sonuçlar doğurabilir. Bu çalışmada arıtılmış atıksuyun tarımsal kullanımına ve bununla birlikte insan sağlığı açısından riskler, What If? risk analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanımında özellikle insan sağlığı ve bununla birlikte toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılması için gerek atıksu özellikleri gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı; yeniden kullanım, tarımsal sulama; risk değerlendirme

Tez Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Sayfa Adedi: 88

TREATED WASTEWATER REUSE IN AGRICULTURE AND ITS RISK ASSESSMENT FOR HUMAN HEALTH

(Master Thesis)

Sümeýra CAN

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
SCIENCE INSTITUTE**

September 2021

ABSTRACT

In this study, reuse of treated wastewater in agriculture and its risks on human health have been investigated. While reuse of treated wastewater in agriculture is protecting clean water resources as an alternative water resource, it is also preventing the pollution of underground and surface water resources. In addition to these advantages, the fertilizer requirement of soil is provided by beneficial microorganisms and nutrients contained by wastewater. However, there are some risks arising from the reuse of treated wastewater in agricultural irrigation due to pathogenic microorganisms and chemicals in it. These risks have important consequences for human health. In this study, the risk assessment in terms of agricultural use of treated wastewater and human health was evaluated by What If? risk assessment method. As a conclusion, in the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation, if appropriate treatment methods in terms of wastewater characteristics, soil structure and crop weaknesses are applied, the negative impacts on human health, soil and crop can be decreased.

Keywords: Wastewater treatment; reuse; irrigation; risk assessment.

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan DULKADIROGLU

Number of Pages: 88

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY YAZISI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR VE ŞİMGELER.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER	
2.1 Dünyadaki Su ve Kullanım Amacına Göre Dağılımları.....	7
2.1.1 Dünyada Su Kıtlığı.....	9
2.2 Türkiyede Su ve Kullanım Amacına Göre Dağılımları.....	10
2.2.2 Türkiyede Su Kıtlığı.....	12
2.2.3 Sanayide Su Kullanımı.....	14
2.2.4 Evsel Su Kullanımı.....	14
2.2.5 Enerji Üretiminde Su Kullanımı.....	15
2.2.6 Diğer Yatırımlar ve Kaynak Kullanım Faaliyetleri.....	16
2.2.7 İklim Değişimi ve Su.....	18
2.2.8 Su Ayakizi.....	18
BÖLÜM 3	
TARIMSAL SULAMA	
3.1 Dünyada Sulama.....	20
3.2 Türkiyede Sulama.....	21
BÖLÜM 4	
ATIKSUYUN TARIMSAL KULLANIMINI TEŞFİK EDEN FAKTÖRLER VE KALİTE DEĞERLENDİRMELERİ	

4.1 Teknik Faktörler.....	23
4.2 Ekonomik Faktörler.....	23
4.3 Çevresel ve Sosyal Faktörler.....	24
4.4 Kullanım ve Kalite Faktörü.....	24
4.5 Atıksuyun Tarımsal Kullanımı İçin Kalite Değerlendirmeleri.....	25
4.5.1 Patojenler.....	25
4.5.2 Tuzluluk.....	27
4.5.3 Ağır Metaller ve Toksik Elementler.....	29
4.5.4 Askıda Katı Maddeler.....	32
4.5.5 Sodyum İçeriği.....	33
4.5.6 pH.....	34
4.6 Atıksuyun Tarımsal Amaçlı Kullanımının Yönetimi.....	34
BÖLÜM 5	
ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMDA KULLANIMINDAKİ RİSKLER	
5.1 Riskin Belirlenmesi.....	39
5.2 Atıksuyun Tarımsal Kullanımda Risk Yönetim Stratejileri.....	39
5.3 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri.....	43
5.4 Arıtılmış Atıksu Kullanımı İle İlgili Çeşitli Ülkelerde Karşılaşılan Sağlık Riskleri.....	47
5.5 Arıtılmış Atıksuyun Tarımsal Kullanımı İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	48
BÖLÜM 6	
MATERYAL METOT.....	54
BÖLÜM 7	
BULGULAR.....	56
BÖLÜM 8	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKÇA.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	72

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1 Türkiye'de Su Kullanımının Yıllara Göre Değişimi.....	2
Tablo 1.2 Kaynaklardan Çekilen Su ve Doğrudan Alıcı Ortama Deşarj Edilen Atıksu Miktarı.....	4
Tablo 2.1 Dünyada Yıllara Göre Su Tüketim Miktarı.....	8
Tablo 2.2 Dünyada Su Kıtılığı Durumu.....	10
Tablo 2.3 Türkiye'de Su Kullanımı.....	12
Tablo 3.1 Dünyada Sektörlere Göre Su Kullanım Oranları.....	20
Tablo 4.1 Atıksuyla Sulamadan Kaynaklı Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri.....	26
Tablo 4.2 Atıksudaki Patojenler ve Kimyasallar İle Bağlantılı Risk Kaynakları.....	27
Tablo 4.3 Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi.....	29
Tablo 4.4 Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması.....	30
Tablo 4.5 Sulama Sularında İzin Verilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Elementlerin Konsantrasyonları.....	31
Tablo 4.6 Bitkilerin Yapraklarına Zarar Veren Klorür Konsantrasyonları.....	31
Tablo 4.7 Bitkilerin Bora Karşı Dayanıklılık Dereceleri.....	32
Tablo 4.8 Değişik Bitkilerin Sulama Suyunda Bulunan Sodyuma Toleransı.....	33
Tablo 4.9 pH'a göre Hidrojen ve Hidroksil İyonları Miktarı ve Asitlik Sınıfları.....	34
Tablo 5.1 Atıksuyun Geri Kazanımı İçin Uygulanan Arıtma Teknolojileri ve Giderdikleri Kirlenmeler.....	43
Tablo 5.2 Farklı Arıtma Sistemlerinin Mikroorganizma Logaritmik Giderme Verimleri.....	43
Tablo 5.3 Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksuların Sınıflandırılması.....	44
Tablo 5.4 Atıksu Geri Kazanım Maksadı ve Uygulanabilecek Arıtma Sistemleri.....	45
Tablo 5.5 Arıtılmış Atıksu İle Sulanabilecek Bitkiler.....	45
Tablo 5.6 Sulama Metotları ve Temel Özellikleri.....	45
Tablo 5.7 Geri Kazanılmış Suyun Kullanıldığı Alanlar ve Olası Etkileri.....	46
Tablo 5.8 Sulamada Atıksuyun Kullanılmasından Kaynaklanan Salgın Hastalıkların İncelenmesi Sonucu Özetlenen Sağlık Riskleri.....	46
Tablo 7.1 Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması İçin İnsan Sağlığı Açısından Risk Değerlendirmesi.....	59



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiyede Sektörlere Göre Su Kullanım Miktarları.....	3
Şekil 1.2 2000- 2019 Yıllarında Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Toplam Yüzey Suyu Miktarı.....	5
Şekil 2.1 Su Kullanımlarının Sektörlere Göre Dağılımları.....	7
Şekil 2.2 Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli.....	13
Şekil 2.3 Türkiye'deki Su Yönetimiyle İlgili Kurum ve Kuruluşlar.....	17
Şekil 2.4 Su Ayakızının Bileşenleri.....	19
Şekil 3.1 Arıtılmış Atıksuların Dünyanın Farklı Bölgelerinde Kullanım Durumu.....	21
Şekil 4.1 Uygulanan Bazı Sulama Tipleri.....	37

KISALTMALAR VE SİMGELER

A.Ş.	: Anonim Şirket
AATTUT	: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BBC	: Britanya Yayın Kuruluşu
C	: Cilt
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
Cr	:Krom
Cu	: Bakır
Çev.	: Çeviren
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ÇÜ	: Çanakkale Üniversitesi
Doç	: Doçent
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
Dr.	: Doktor
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA	: Eikozapentaenoik Asit
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
Hg	: Cıva
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KB	: Kalkınma Bakanlığı
KM	: Kilometre
KP	: Kalkınma Planı
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
Pb	: Kurşun

Ph	: Power of Hydrogen
S	: Sayı
SAR	: Özgül Soğuma Oranı
SO4	: Sülfat
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TBB	: Türkiye Barolar Birliği
TÇDP	: Türkiye Çağdaş Demokrat Platformu
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
USDA	: Amerika Ziraat Dairesi
V.D.	: Ve Diğerleri
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WWF	: Dünya Doğayı Koruma Vakfı
Yrd.	: Yardımcı
Zn	: Atom

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İlk defa 1980'lerde ortaya atılan “sürdürülebilirlik” kavramı ve buna yönelik politikaların, tarım ve sanayide üretimi daima arttırma hedeflerinin karşısında aradan geçen on yıllara rağmen beklenen faydayı sağlamaktan çok uzakta olduğu görülmektedir. Nüfus artışının da tetiklemesiyle, doğal kaynakların bir taraftan artan tüketimi ve diğer taraftan da artan tahribatı gelecek nesiller için önemli tehditler ortaya çıkarmaktadır. Yaşamın ana kaynağı olan su, aynı zamanda üzerinde en fazla baskı bulunan doğal kaynaktır. Diğer taraftan, her geçen gün etkisi daha fazla hissedilen küresel iklim krizi birçok bölgede su kıtlığına doğru gidişi hızlandırmaktadır. Su tüketimini azaltıcı ve kaynakların verimli kullanımını arttırıcı tedbirler yanında, bütünsel bir yaklaşımla çevre kirliliği, yani iklim değişikliği de dahil olmak üzere kirleticilerin su kaynaklarına doğrudan ve dolaylı olarak karışmasının önüne geçilmesi tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır.

Ülkemizde hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği sebebiyle doğal kaynak tüketimi ve su tüketimi hızla artmaktadır. Ülkemiz başlıca kentsel, endüstriyel ve tarımsal kullanımlar için suya ihtiyaç duymakta ve bu nedenle suyun ülkemizdeki kullanım alanının geniş olması itibariyle, yeraltı ve yerüstü su kaynakları bununla doğru orantılı olarak hızla tükenmekte ve beraberinde yetersiz kalmaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfusun sürekli artmasına karşılık diğer doğal kaynaklar gibi su potansiyelinin sabit kalması, bu konuda ekonomik bir değer olan suyun temini ve kullanılması ile ilgili çalışmalarda deneyimli ve nitelikli personel, yeterli finansman kaynağı ile yeni teknoloji ve yöntemlerin geliştirilmesi ve kullanılmasına özen gösterilmesini zorunlu kılmaktadır [1].

Dünyanın diğer ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de de hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve endüstrileşme nedeniyle değişen ve gelişen koşullara bağlı olarak tatlı su kaynaklarının giderek artan bir ivme ile çeşitli amaçlar için kullanımında gözlenen artış ve ihtiyaçların karşılanmasına yönelik talepler kamuoyunun, yaşamın sürdürülebilir ana unsuru olan suya olan duyarlılığını arttırmış ve bu temel ihtiyacın karşılanması konusunda girişimlerde bulunmaya başlamasını teşvik etmiştir [1]. Bu nedenle doğal su kaynaklarının korunması adına bu alanların sulanmasında arıtılmış atıksu kullanılması ihtiyacını birlikte

getirmektedir. Uygun metot ve standartlar altında kullanılması sonucunda temiz su kaynaklarının korunması açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

Su kıtlığını değerlendirmede faydalanılan önemli göstergelerden birisi 'Su Kullanım İndeksi' (WEI – Water Exploitation Index)'dir. Ve tatlı sulardan çekilen ortalama yıllık toplam su miktarının ülke seviyesinde ortalama toplam yıllık yenilenebilir tatlı su kaynaklarına bölünmesi ile elde edilir [2]. Türkiye'deki durumu değerlendirmek için genel hidrolojik çevrimi özetlemek faydalı olacaktır. Yıllık ortalama değerler olarak yağış miktarı yaklaşık 643 mm ve buna karşılık gelen hacim 501 milyar m³'tür. Bunun yaklaşık 274 milyar m³'ü buharlaşma yoluyla atmosfere dönerken, 69 milyar m³ yeraltı sularını beslemekte, 158 milyar m³ ise yüzeysel akış ile akarsulara, denizlere ve göllere ulaşmaktadır. Yeraltı sularına karışan 69 milyar m³ suyun 28 milyar m³'ü pınarlar vasıtasıyla yüzeysel sulara katılmaktadır. Komşu ülkelerden gelen yaklaşık 7 milyar m³ su da ilave edildiğinde, ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³, yeraltı sularıyla birlikte toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır [3].

Tablo 1.1 Türkiye'de su kullanımının yıllara göre değişimi [3].

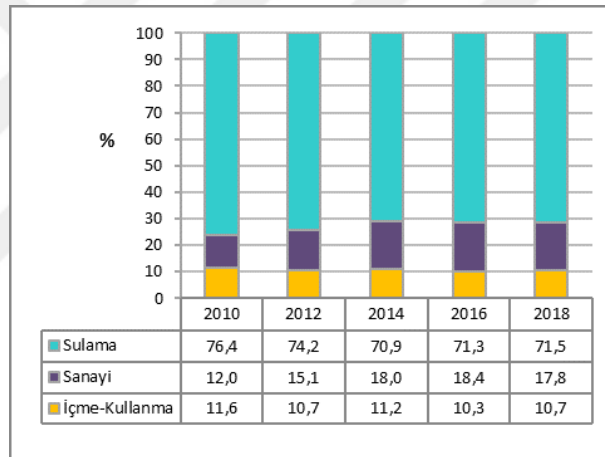
Yıllar	Su Kaynaklarından Çekilen Su Miktarı (10 ⁹ m ³ /yıl)					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Belediyeler	4,55	4,78	4,94	5,23	5,83	6,19
Köyler	1,22	1,01	1,04	0,43	0,38	0,39
İmalat sanayi işyerleri	1,31	1,56	1,79	2,20	2,12	2,68
Termik santraller	4,54	4,27	6,40	6,53	8,61	7,87
Organize sanayi bölgeleri	0,11	0,11	0,14	0,14	0,15	0,16
Maden işletmeleri	... (*)	0,05	0,11	0,21	0,23	0,24
Sulama	33,77	38,15	41,55	35,85	43,06	43,95
Toplam		49,95	55,96	50,59	60,38	61,48
WEI (%)	-	21,3	23,9	21,6	25,8	26,3

Su kullanım indeksi için %20 değeri uyarı limitidir ve bunun üzerinde ise kıtlık olduğunu, %40'ın üzerinde ise şiddetli kıtlık ve su yönetiminin sürdürülebilir olmadığını ifade eder [2].

Tablo 1.1'deki değerlere göre Türkiye'de su kıtlığının söz konusu olduğu ve su kaynakları yönetiminde önlemler alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Gerekli önlemleri almak için çalışmalara tüketimin en fazla olduğu kullanımlardan başlanması gerektiği açıktır. Bu durumda öncelikle Dünyada ve Türkiye’deki su kaynakları ve bunların kullanım oranları incelenmelidir. Şekil 1.1’de Türkiye’de 2010 – 2018 yılları arasında sektörlere göre su kullanım miktarları görülmektedir. 2010’dan 2018’e gelindiğinde sanayinin payı %12’den yaklaşık %18’lere yükselse de sulamanın %70’in altına düşmeyen payı diğer kullanımlardan çok daha yüksektir.

Dolayısıyla sulama amaçlı su tüketiminde gerek sulama yöntemlerinin iyileştirilmesi gerekse alternatif kaynaklara yönelme ile su kullanım indeksinde önemli aşamalar kaydedilebileceği görülmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye’de sektörlere göre su kullanım miktarları [3]

Türkiye’de üretilen tarımsal ürünlere bakıldığında, ağırlıklı olarak buğday, şeker pancarı, arpa, patates, pamuk, ayçiçeği ve mısır yetiştirildiği görülmektedir. Bu ürünlerin yetiştirilmesinde büyük miktarda suya ihtiyaç vardır [4]. Su sıkıntısı yaşanan havzalarda, iklimi elverişli olmayan bölgelerde yüksek miktarda sulama gerektiren ürünlerin yetiştirilmesi su varlıklarının yok olmasına neden olup, uzun vadede üretime zarar vermektedir ve su kıtlığı ile ürün verimi düşerken bu havzalarda kırsal göç başlamaktadır.

2020 yılı verilerine göre Türkiye’deki toplam 37,75 milyon hektarlık tarım arazisinin 15,62 milyon hektarı ekili, 3,17 hektarı nadastadır. Geri kalan alanlar ise sebze, sis bitkileri, meyve-baharat bahçeleri ve çayır-mera arazilerinden oluşmaktadır alanı kullanmaktadır [5].

Devlet Su İşleri (DSİ)'nin 2019 yılı verilerine göre, sulamalı tarım yapılan alanların %61,6'sında salma sulama, %21,5'inde yağmurlama ve %16,9'unda ise tasarruflu bir yöntem olan damla sulama olmak üzere, DSİ'ce geliştirilen sulamalarla sulanan toplam tarım arazisi 1,66 milyon hektardır [6]. Tarımda tasarruflu sulama sistemlerinin kullanılması su kaybının önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Tablo 1.2'de sulama dışındaki kullanımların toplamına bakıldığında 2018 yılında 17,5 milyar m³ olduğu görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, bu suyun %56,2'si denizlerden, %15,1'i barajlardan, %14'ü kuyulardan, %8,7'si kaynaklardan, %3,9'u akarsulardan, %1,8'i göl/göletlerden, %0,2'si ise diğer su kaynaklarından çekilmiştir [7]. Sulama dışındaki su kullanım ve buna karşılık deşarj edilen atıksu miktarları Tablo 1.2'de verilmiştir.

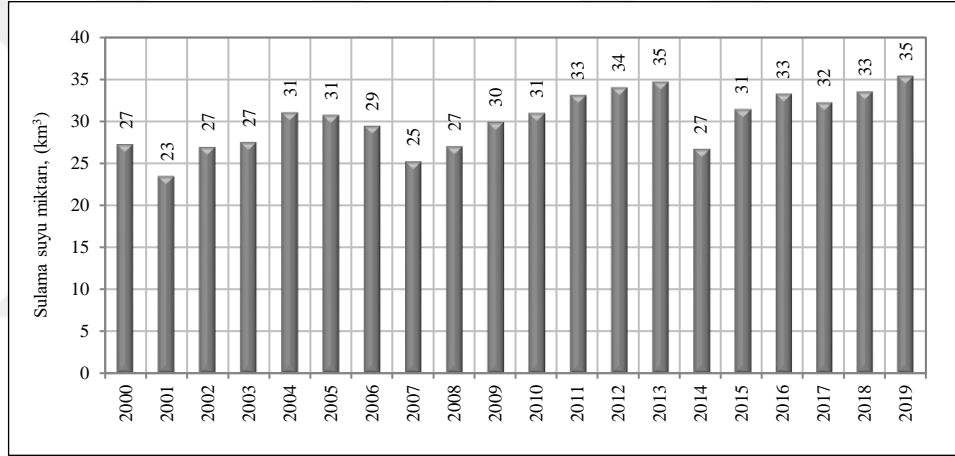
Tablo 1.2 Kaynaklardan çekilen su ve doğrudan alıcı ortama deşarj edilen atıksu miktarları, 2018 [4].

Su kullanım alanı	Çekilen su miktarı, (10 ³ m ³)	Deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı, (10 ³ m ³)	Soğutma suyu hariç arıtılarak deşarj edilen atıksu oranı, (%)
Belediyeler	6 190 224	4 548 657	4 548 657	88,4
Köyler	394 824	123 117	123 117	19,9
İmalat sanayi işyerleri	2 675 606	2 165 373	209 771	85,8
Termik santraller	7 867 738	7 527 047	257 477	3,8
Organize sanayi bölgeleri *	159 469	235 651	235 651	98,7
Maden işletmeleri	240 928	159 613	159 613	4,6
Toplam	17 528 789	14 759 458	5 534 286	80,9

* Organize sanayi bölgeleri (OSB) tarafından deşarj edilen atıksuyun çekilen sudan fazla olması, suyunu kendi imkanları ile temin eden işyerlerinin atıksularını OSB kanalizasyon şebekesine deşarj etmelerinden kaynaklanmaktadır.

Doğrudan alıcı ortamlara deşarjların %77,4'ü denizlere, %18,7'si akarsulara, %1,1'i barajlara, %0,9'u fosseptiklere, %0,5'i göl/göletlere, %0,2'si araziye, %1,2'si ise diğer alıcı ortamlara yapılmıştır [7]. Dolayısıyla, arıtılmış atıksuların dörtte üçünden yani 4 milyar m³'ten fazlasının doğrudan veya dolaylı yararlanma imkânı değerlendirilmeden denizlere deşarj edildiği görülmektedir. Buna karşılık Şekil 1.2'de yüzeysel sulardan karşılanan sulama suyu miktarının yıllık 30 – 35 milyar m³ aralığında değiştiği görülmektedir [8]. Bu durumda, arıtılmış atıksuların sulama için miktar açısından önemli bir alternatif kaynak olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, arıtılmış atıksuların sulama açısından kalitesi ve uygunluğu da çok önemlidir ve değerlendirilmesi gerekir. Özellikle evsel/kentsel nitelikteki atıksular içerisinde çok sayıda patojen mikroorganizma bulundurmasından dolayı her ne kadar fiziksel ve kimyasal kirleticiler açısından verimli bir şekilde arıtılsa da tarımsal alanda dikkatli kullanılmalıdır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun belli standartlara getirilmesi ve belli parametrelerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde, her ne kadar atıksu içeriğindeki yararlı mikroorganizmalar ve nütrientler toprak kalitesi ve gübre gereksinimi açısından faydalı olsada, patojen mikroorganizmalar çoğalıp, hastalıkların yayılması açısından tehlike oluşturabilir [9].



Şekil 1.2 2000-2019 yıllarında Türkiye genelinde sulamada kullanılan toplam yüzey suyu miktarları (km³) [5]

Nüfus oranlarının gün geçtikçe artmasıyla birlikte atıksu oluşumu da artmaktadır. Sürdürülebilir çevre politikasının uygulanabilmesi ve çevre kirliliklerinin önüne geçilmesi için geliştirilen çözümler çevre ve insan sağlığı açısından oldukça önem arz etmektedir. Oluşan atıksuların kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması veya yeniden kullanımı için işlemlere tabi tutulması temiz su kaynaklarının korunması açısından oldukça önemlidir. Atıksuların sulamada kullanılması uzun zamandır uygulanan bir metottur. Atıksu ıslahı, su sıkıntısı problemi için önerilen çözümlerden biridir, çünkü bu yöntemle doğal döngüden yeni tatlı su kullanmaktan kaçınarak antropik döngü içinde su geri kazanılır ve günümüzdeki temiz su kaynaklarının hızla tükenmesine bağlı olarak bu metot oldukça önemlidir [9].

Atıksu içerisinde çok sayıda patojen mikroorganizma bulundurmasından dolayı her ne kadar verimli bir şekilde arıtılıp ön işlemlere tabi tutulsa da tarımsal alanda dikkatli kullanılmalıdır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun belli standartlara getirilmesi ve belli parametrelerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde atıksu içeriğindeki yararlı mikroorganizmalar toprak kalitesi ve gübre (azot gibi maddeler) gereksinimi açısından faydalı olsa da hastalık yapıcı patojen mikrop hücreleri çoğalıp, insanların aleyhine bir duruma dönüşecektir [9].

Bu çalışmanın amacı ülkemizde arıtılmış atıksuların tarımda kullanım amaçlarının incelenmesi bunun önemi ve oluşturabileceği risklerin insan sağlığına ne gibi etkileri olduğunun değerlendirmesini yapmak ve incelemektir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 Dünyada Su ve Kullanım Amacına Göre Dağılımı

Dünyada kişi başına düşen yıllık su tüketimi ortalama 800 m³ civarında olup, genel su dağılımında okyanus ve denizler %97,5 tatlı sular ise %2,5'lik bir kısmı oluşturmaktadır [3].

Dünyadaki su kullanımına sektörel olarak baktığımız zaman; tarımsal kullanım %71, endüstriyel kullanım %18 ve kentsel kullanım %11'dir [10]. Dünya genelinde tarımsal amaçlı su kullanımı en çok Asya ve Afrika kıtalarında görülmektedir.



Şekil 2.1 Su kullanımının sektörlere göre dağılımı [11]

Günümüzde yeryüzünde yeterli miktarda tatlı su kaynağı bulunmamaktadır. Bu durumun en önemli ve en bariz nedeni ise şüphesiz insanların su kaynaklarını bilinçsiz bir şekilde tüketmesi ve bu durumun insan hayatını etkileyebilecek derecede kıtlığa yol açmasıdır.

Ülkemizde yapılan araştırmalar yüzey sulama metotlarının yaygın kullanımı nedeniyle aşırı su uygulandığını göstermektedir. Bu durum bir yandan topraklarımızın

çoraklaşmasına neden olurken diğer yandan da suyun israfına yol açmaktadır [12]. Geçtiğimiz yıllardan bugüne su tüketimi dünya üzerinde artmakta ve artmaya da devam edecektir. Bunun önüne geçilmesi adına ihtiyaç ve ekonomi kaynağı olan endüstri ve tarım sektörlerinde gelişmiş teknolojilerin kullanılması, su kaynaklarının korunması için ileri önlemlerin alınması, dengesiz tüketimin önüne geçilmesi ve halkı çevre sağlığı, yeni teknolojilerin kullanılması, sürdürülebilirliği konusunda bilinçlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Tablo 2.1 Dünyada yıllara göre su tüketim miktarları [3].

Yıl	Dünyada Toplam Su Tüketimi (km ³)
1940	1000
1960	2000
1990	4130
2000	5162

İnsanlığın en önemli ihtiyaçlarından biri olan su, nitekim hayatın idame ettirilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir. Yaşam devamlılığı için havadan sonra gelmektedir. Sanayi devrimiyle birlikte değişen ve gelişen hayat standartlarıyla birlikte su kullanımı da daha fazla olmuştur. Dünya 510 milyon km² yüzölçümüne sahip olup, bu alanın 361 milyon km² si sularla kaplıdır ve bu da toplam yüz ölçümün 1/3'ini ifade etmektedir [13]. Dünyadaki su kaynaklarının geneline baktığımızda tatlı su kaynaklarının bu oranda ne kadar küçük bir rol oynadığını görebiliriz. İnsanların su ihtiyaçlarının büyük bir kısmını tatlı su karşılamakta olup, zira su kaynaklarının yeryüzüne dağılımı yapıldığında nüfus dağılımlarıyla doğru orantılı olmadığı görülmektedir.

1. **Su fakirliği:** Yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1000 m³'ten az olan ülkeler.
2. **Su azlığı:** Yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1000-2000 m³ aralığında olan ülkeler.
3. **Su zenginliği:** Yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 8000-10000 m³'ten fazla olan ülkeler [14].

Su tüketimi hızlı bir şekilde artarken dünyada sanayileşmeden ve çevre kirliliğinden dolayı temiz su kaynakları hızla azalmaktadır. Bu durumdan mütevellit ülkemizde toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesi ve sulamalardan beklenen faydalarının daha etkin olarak sağlanabilmesi için sulama projelerinin toplulaştırma projeleriyle birlikte planlanması ve uygulanması büyük önem taşımaktadır [12].

2.1.1 Dünyada su kıtlığı

Su kaynakları üzerindeki baskının her geçen gün arttığı dünyada yaklaşık 700 milyon insan 43 farklı ülkede su kıtlığı çekmekte ve 2,7 milyar insan ise yıl içerisinde en az 1 ay su kıtlığı yaşayan havzalarda yaşamını sürdürmektedir. Gelecekte dünya nüfusunun daha fazla artacağı beklenmekte ve bu duruma paralel olarak su kaynaklarına yönelik ihtiyaçlarda da artış yaşanması tahmin edilmektedir. Ancak su ihtiyacına olan talep, nüfus artışından daha fazladır.

Dünyada su tüketimi yıllara göre artış göstermektedir. 2050'ye kadar dünyada su talebinin yüzde 55 artış göstermesi beklenmektedir. Dünyadaki tatlı su krizinin deniz suyunu arıtma ile giderilmesi konusu uzmanlar tarafından üzerinde hala çalışılan ve tartışılan bir konudur. Fakat bu yöntemin çok pahalı olduğu ve bunu yaparken harcanacak enerjinin bırakacağı karbon izinin çok büyük olacağı söylenmektedir.

Ekonomik boyutu olduğu kadar deniz ekosistemine zarar vermesi de diğer bir boyutudur. Daha basit ve oldukça eski bir yöntem olan aynı zamanda ekonomik bir yöntem olan yağmur sularının depolanması oldukça faydalı bir yöntem olacaktır [15].

Tablo 2.2. Dünyada su kıtlığı durumu [10].

Durum	Su Kaynağı (m ³ /kişi)	1995		2025	
		Nüfus (milyon)	Dünya Nüfusuna Oranı (%)	Nüfus (milyon)	Dünya Nüfusuna Oranı (%)
Su Kıtlığı Var	<500	1077	19	1783	25
	500-1000	587	10	624	9
Su Stresi Var	1000-1700	669	12	1077	15
Su Yeterli	>1700	3091	55	3494	48
Sınıflandırma Dışı		241	4	296	4
Toplam		5665	100	7274	100

2.2. Türkiye’de Su ve Kullanım Amacına Göre Dağılımı

Türkiye dünya üzerinde iklimsel olarak yarı kurak iklime sahip bölgelerde yer almaktadır. Türkiye, Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir iklim bölgesinde yer almaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan Türkiye’de, birçok alt iklim tipi belirmiştir.

Son yıllarda ısınma eğilimi gösteren Türkiye’de, yağış oranları son yıllarda oldukça düşmüştür. Nitekim bu durum kış aylarında daha baskın olarak görülmektedir. Suların azalması ve bitme noktasına gelmesinin somut göstergeleri şöyledir:

- Türkiye’nin her yerinde sıcaklıkların artmış olması.
- Yağışlarda aynı dönem için belirgin bir değişim gözlenmemiş olması.
- Son 60 yıllık süreçte dağ buzullarında 10 m’lik geri çekilme yaşanması.
- Deniz seviyelerinin yükseliş eğiliminde olması.
- Doğal afet sayılarında artış eğilimi gözlenmesi

Türkiye’de ise toplam kullanılabilir su miktarı 112 milyar m³tür [3]. Ülkemiz de yılda kişi başına düşen yaklaşık 1566 m³ 'lük kullanılabilir tatlı su miktarı dikkate alındığında su zenginliğimizin olmadığı anlaşılmaktadır [3].

İlerleyen yıllarda ülke nüfusuna karşın kişi başına düşen su miktarında azalma yaşanacağı tahmin edilmektedir. Başka bir ifadeyle artan nüfus ve azalan su kaynakları ile Türkiye, su fakiri bir ülke olma yolunda ilerlemektedir.

Türkiye’de 25 su havzası vardır ve her havza kendi içerisinde farklı dinamiklere ve sorunlara sahip olup örneğin, Büyük Menderes ve Ergene havzalarında kirlilik sorunu daha ön plandayken, yarı kurak iklime sahip Konya Kapalı Havzası’nda tarımda aşırı su kullanımı veya havzalar arası su transferi konuları öne çıkmaktadır.

Ülkemizde artan nüfus ile gıda ürünlerine yönelik talepler artmış ve bu durum su üzerindeki baskıyı arttırmıştır. Türkiye tatlı suyunun %70’ini tarım sektöründe kullanmaktadır. Bu suyun %53’ünü yüzey su kaynaklarından, %38’ini yeraltı suyundan sağlamaktadır [7].

Ülkemiz 28 milyon hektarlık tarım alanlarımızın sadece 5,6 milyon hektarlık alanını kullanmaktadır [6]. Sulamalı tarım yapılan alanların %82’si salma sulama ile, %17’sinde yağmurlama sulama ve %1’inde tasarruflu bir yöntem olan damla sulama ile sulanmaktadır [7]. Tarımda tasarruflu sulama sistemlerinin kullanılması su kaybının önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Nitekim Türkiye’deki topraklarda yetişen ürünlere bakıldığında; buğday, şeker pancarı, arpa, patates, pamuk, ayçiçeği ve mısır ürünlerin yetiştirilmesinde büyük miktarda suya ihtiyaç vardır [4]. Zira ülkemizde su sıkıntısı yaşayan havzalarda, iklimi elverişli olmayan bölgelerde yüksek miktarda sulama gerektiren ürünlerin yetiştirilmesiyle su varlıklarının yok olmasıyla, uzun vadede üretime zarar vermektedir ve su kıtlığı ile ürün verimi düşerken bu havzalarda kırsal göç başlamaktadır.

Tüm bunlar dikkate alındığında temiz su kaynaklarının korunması, sürdürülebilir geleceğin ancak sağlıklı bir çevre ve doğal su kaynaklarının doğru, ekonomik ve çevre dostu olarak kullanılması ülkede yaşanan su kıtlığının büyük miktarda önüne geçecektir [16]. Dünyanın gelişmesi ve büyümesiyle birlikte bu ihtiyaçlar çoğalacak ve ciddi boyutta sorunlar doğuracaktır. Bu yüzden atıksuların doğaya yeniden kazandırılması ve tekrar

kullanımı doğa dostu çevre politikası ve sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

2.2.2 Türkiye’de su kıtlığı

Türkiye’de 2017 yılında, kişi başına düşen 1519 m³ lük su miktarı ile su sıkıntısı çeken ülke olarak kabul edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşacağını öngörmektedir [17]. Bu durumda, kişi başına düşen su miktarının 1120 m³/yıl olması beklenmektedir [18]. Türkiye'deki su kıtlığını kişi başına düşen su miktarına göre değil, daha geniş bir çerçeve ile değerlendirmek gerekmektedir.

Ekonomik faaliyetler, sanayileşme, kentleşme, hızlı nüfus artışı, sektör bazlı kullanımlar, risk oluşturan etmenler vb. gibi birçok çerçeveden değerlendirip koruma ve kullanma stratejilerini de ona göre belirlemek daha doğru olmaktadır [19]. Her ne kadar Türkiye yer altı ve yerüstü su kaynakları bakımından zengin bir ülke gibi görünse de hızlı nüfus artışı ve diğer etmenler sebebi ile su sıkıntısı çeken ülkeler arasına girmektedir.

Tablo 2.3 Türkiye'de su kullanımı [20].

Yıl	Sulama (milyar m ³)	Evsel (milyar m ³)	Sanayi (milyar m ³)	Toplam (milyar m ³)
1990	22,0	5,1	3,4	30,5
2004	29,6	6,2	4,3	40,1
2008	33,8	5,8	6,0	45,6
2010	38,2	5,8	6,0	49,9
2012	41,6	6,0	8,4	56,0
2014	35,9	5,7	9,1	50,7
2016	43,1	6,2	11,1	60,4
2023	72,0	18,0	-	-

Türkiye sanılanın aksine su zengini bir ülke değildir. Nüfusun artması, gelişen ekonomi, büyüyen kentlerle birlikte su fakiri olma yolunda ilerlemektedir. Türkiye'de 25 su havzası vardır [21]. Her havza kendi içerisinde farklı özelliklere ve sorunlara sahiptir. Örneğin, Büyük Menderes ve Ergene havzalarında kirlilik sorunu daha ön plandayken, yarı kurak iklime sahip Konya Kapalı Havzasında tarımda aşırı su kullanımı veya havzalar arası su transferi konuları öne çıkmaktadır.

Dünya dağılımında da görülen su miktarı ile nüfus dağılımı üzerindeki eşitsiz dağılım Türkiye'de de görülmektedir. Ülkedeki toplam nüfusun yüzde 28'i Marmara Bölgesinde yaşarken, burada bulunan havzalar toplam su akışının sadece yüzde 4'lük kısmını toplamaktadır [21]. Meriç, Ergene, Gediz, Büyük Menderes, Burdur Gölü, Akar Çay, Konya ve Asi Nehri havzaların yüzey ve yeraltı suyu kullanımı, su kaynaklarının kendini yenileyebilme kapasitesini aşmış durumda olup bu etken havzalar üzerindeki baskıyı artırarak doğal ekosistem için büyük bir tehdit oluşturmaktadır [21].

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577 km ²
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m ³
Buharlaşma	274 milyar m ³
Yeraltına sızma	41 milyar m ³
Yüzeysel Su	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m ³
Yeraltı suyu	
Yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m ³
Toplam kullanılabilir su	112 milyar m ³
Kullanım yerleri	
Tarımda kullanılan	32 milyar m ³
İçme suyu için kullanılan	7 milyar m ³
Sanayide kullanılan	5 milyar m ³
Toplam Kullanılan Su	44 milyar m ³

Şekil 2.2 Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli [8].

2.2.3 Sanayide su kullanımı

Ülkemizde sanayide kullanılan suyun %34,7'si tatlı su kaynaklarından temin edilmektedir. Bu suyun %17,1'i kuyu suyundan, %5,7'si şebeke suyundan, %4,8'i baraj sularından, %3,6'sı kaynak suyu ve %3,5'i akarsulardan sağlanmaktadır [7]. Sanayi sektöründe kullanılan suların tarım sektöründe kullanılan sulara göre kıyaslaması yapılacak olursa tarım sektörüne göre kullanımı daha azdır.

Türkiye'de faaliyette olan 181 tane OSB'nin (organize sanayi bölgesi) sadece 57'si atıksu arıtma hizmeti vermekte ve bu nedenle OSB'lerden deşarj edilen 235 milyon m³ atıksuyun 143 milyon m³'ü arıtılmadan başta akarsular (%72,3'ü) olmak üzere, şehir kanalizasyonuna (%10,9), kuru dere yatağına (%6,8) diğer alıcı ortamlara (%10) deşarj edilmektedir.

Arıtılan atıksuyun %53,7'sine gelişmiş, %46,3'üne ise kimyasal ya da biyolojik arıtma uygulanmaktadır [7]. Endüstriyel alanlarda kullanılan bu suların arıtılmadan deşarj edilmesi su kirliliğine sebep olmaktadır. Zira bu şekilde temiz su kaynaklarımız hızla tükenmekte ve kaynakların tükenmesiyle birlikte bu sularda yaşayan canlıların türlerinin azalmakta ve dahi yok olmaktadır. Sanayi üretimi sadece organize sanayi bölgelerinde olmamakla beraber tarımsal bazlı da yapılmaktadır. Bu durumda tarım sektörünü olumsuz yönden etkileyerek ek arıtma ihtiyacını da doğurmaktadır.

2.2.4 Evsel su kullanımı

Ülkemizde evsel kullanım için tatlı su kaynaklarından yıllık 4,9 milyar m³ su çekilmektedir [7]. Bu suların 900 m³'lük kısmı kaynaklardan, 2,5 milyar m³'ü barajlardan ve 1,5 milyar m³'ü kuyulardan sağlanmaktadır.

Evsel kullanım suyunun kapsadığı alanlar; oteller, evler, sağlık kuruluşları, bahçe sulama gibi alanları kapsamaktadır. Evsel su tüketimi kişi başı 75 L ile 380 L arasında değişkenlik göstermektedir. Değişkenliğin en büyük sebeplerinden biri yaşam standartların ve ekonomik düzeyin artmasıdır. Buna en net örneği şu şekilde verebiliriz: Örneğin ABD'de

(belirli kesimlerde) kişi başına düşen günlük su miktarı 600 L iken Senegal'de bu miktar 29 L olup, bu miktar ABD'nin 24'te biridir [22].

Örneklerden yola çıkılarak söyleyebileceğimiz tatlı su tüketimini bölgesel bazlı değerlendirdiğimizde sanayi ve tarım bölgelerinin olması bu tüketimin artmasında etken olduğunu doğrulamaktadır. Bunların yanı sıra göçlerle birlikte nüfus artışı görülen bölgelerde özellikle su kaynaklarının yakınlarında kurulan yerleşim bölgelerinin sayısının artmasıyla birlikte, temiz suya ulaşma olasılığının azalmasına, maliyetin artmasına ve ekosistemin dengesinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. İlk çağlardan günümüze dek insanlar yerleşik düzene geçtikten sonra sulak çevrelere yerleşmeyi tercih etmişlerdir. Zira bu durum insanlara yaşama imkânı sağlarken, bir yandan da yaşam kaynaklarının zarar görmesine ve hatta tükenmesine neden olmuştur. Bu durumu tetikleyen ise hem sulak alanlar hem de tarım alanlarının insanların işgaline maruz kalmasından kaynaklanmaktadır [23].

2.2.5 Enerji üretiminde su kullanımı

Dünyada her yıl tatlı suyun %15'i enerji üretimi için kullanılıyor [24]. Bu miktarın önümüzdeki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir.

Enerji üretiminde su üretim sistemlerinin ham maddelerinin çıkarılmasında, termal süreçlerde soğutmada, malzemelerin temizlenmesinde, biyoyakıtlar için ürün üretilmesi ve türbinlerin çalıştırılması gibi birçok dalda kullanım alanı oluşturmaktadır [25]. Hatta hidroelektrik sektörü suyu doğrudan girdi olarak kullanır.

Türkiye'de kişi başına düşen yıllık elektrik tüketimi 3.200 kWh olup, gelişmiş ülkeler ortalamasının altında kalmaktadır [6].

Örneğin; ABD ve Avrupa ülkelerinde tatlı suyun %40 – 50'si sadece güç santrallerinin soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır [24]. Türkiye'de ise bu durum çok farklı değil. Kömür ve doğalgazla çalışan termik santraller elektrik üretiminin %70,4'lük gibi büyük

kısmını gerçekleştirerek en büyük paylara sahip oldular. Ve bu oranın daha da artması beklenmektedir [26].

2.2.6 Diğer yatırımlar ve kaynak kullanım faaliyetleri

Büyük ölçekli altyapı projeleri (otoyollar, kentleşme, vb.) ve madencilik faaliyetleri su kaynaklarını ve özellikle sulak alan ekosistemlerini doğrudan etkilemektedir. Bu tür yatırımlar hem yapım hem de işletme aşamasında yoğun su tüketimine sebebiyet verdiğinden dolayı ve kirlilik oluşumuna etki etmektedir [21].

Türkiye'de su yönetimi konusunda çok sayıda kurum ve kuruluş yetki ve sorumluluk sahibidir. Bu kurumlar su kaynaklarının korunması ve kullanılması ile alakalı olarak çok sayıda yasal düzenleme ile durumu tanımlamıştır. Bu bağlamda mevcut su kaynaklarının korunması, alternatif su kaynaklarının geliştirilmesi, ekolojik çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir [12].

Kurum/Kuruluşlar	Sorumluluklar
Dışişleri Bakanlığı	Sınır aşan ve sınır oluşturan sular, uluslararası sözleşmeler
Kalkınma Bakanlığı	Yatırım ve kalkınma planları, su ile ilgili istatistiklerin üretilmesi
Orman ve Su İşleri Bakanlığı	Su kaynakları yönetimi, politika belirleme, su yönetiminin ulusal ve uluslararası düzeyde koordinasyonu, havza yönetim planlarının hazırlanması, yeraltı ve yüzeysel suların kalitesinin izlenmesi, sektörel su tahsisi, içme, sulama ve kullanma suyu getirme ve atıksu arıtma tesisleri proje, ihale ve yapım işleri, finansman, Ulusal Su Bilgi Sistemi'nin oluşturulması

Şekil 2.3 Türkiye'deki Su Yönetimi ile İlgili Kurum ve Kuruluşlar [21]

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Çevre mevzuatının uygulanması ve uygulamaların denetimi , deşarj izni, denetleme, yaptırım, izleme (kısmen), ÇED, finansman, arıtma tesisi onayı. İçme ve kullanma suyu, atıksu arıtma tesisi proje, ihale ve yapım işleri, finansman, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri politikasının tespiti
Sağlık Bakanlığı	İçme suyu ve yüzme suyu kalitesinin izlenmesi, çevre ve halk sağlığı ile ilgili tedbirlerin alınması ve aldırılması, içilecek ve kullanılacak nitelikte su temini, lağım ve mecrası tesisatı ile ilgili sağlık düzenlemelerinin yapılması ve denetlenmesi
Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı	Tarımda suyun etkin ve verimli kullanımının sağlanması, içsuların çeşitli maksatlarla (içmesuyu, sulama, enerji) kullanımı durumunda su ürünlerinin korunması için tedbirlerin alınması, sularda tarımsal kaynaklı kirliliğin izlenmesi, yaptırımlar, desteklemeler
İçişleri Bakanlığı (İl Özel İdaresi ve Köylere Hizmet Götürme Birlikleri)	Belediye sınırları dışındaki yerleşimlerin içme suyu, sulama, kanalizasyon ve atıksu arıtma hizmetlerinin verilmesi
Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Standartlar, teknolojiler, OSB 'ler
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	Enerji yatırımları ve maden işleri
Kültür ve Turizm Bakanlığı	Turistik bölgelerde içme suyu temini, kentsel atıksu ve atık bertarafı hizmetleri
Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı	Limanlar, barınaklar ve bunlarla ilgili teçhizat ve tesislerin, kıyı koruma yapıları, kıyı yapı ve tesislerinden, her türlü kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, özel idareler, tüzel ve gerçek kişilerce yaptırılacak olanların, proje ve şartnamelerinin incelenip tasdik edilmesi
Büyükşehir Belediyeleri ve diğer belediyeler	Kentsel alanlarda içme suyu, yağmur suyu ve atıksu sistemlerinin planlanması, inşa edilmesi ve işletilmesi
Sulama Birlikleri ve Kooperatifleri	Sorumlulukları altındaki tesislerin işletme, bakım ve yönetimi
Araştırma Kuruluşları (Üniversiteler, TÜBİTAK, Su Enstitüleri, STK'lar)	Su ile ilgili araştırma yapmak ve veri üretmek

Şekil 2.3 Türkiye'deki Su Yönetimi ile İlgili Kurum ve Kuruluşlar (devamı) [21]

2.2.7 İklim Değişimi ve Su

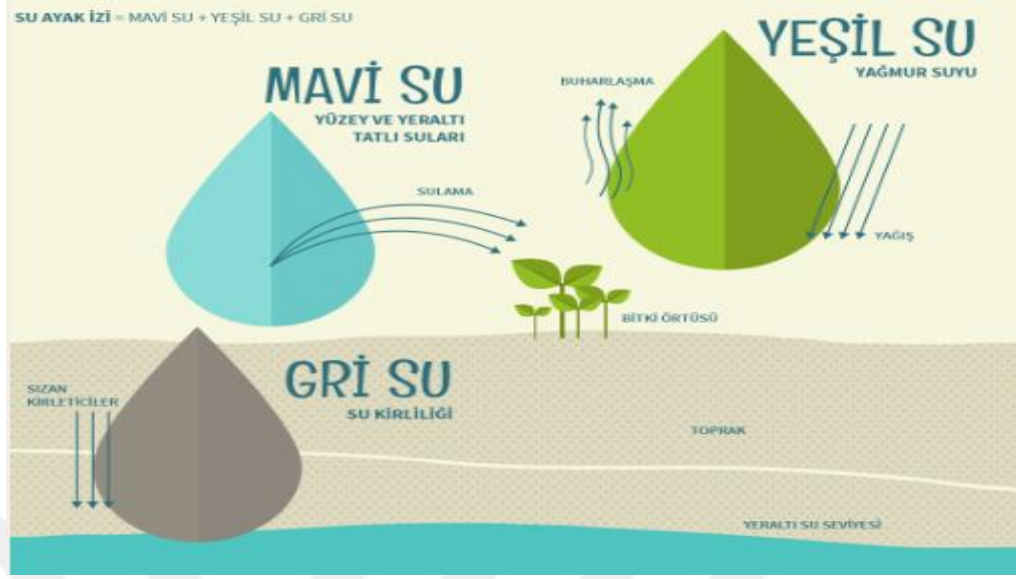
Ülkemizde son 30 yılda önemli su ve tarım rezervleri olan su havzalarına düşen yağış miktarı %25 oranında azalmıştır [21]. Havzalardaki doluluk oranlarını gözlemlemek için bazı çalışmalar yapılmış ve sonuçlarında su miktarındaki azalmalar görülmüştür.

Geçmiş yıllardan günümüze kadar olan sürede ormansızlaşmanın artması, sanayinin genişlemesiyle birlikte atmosfere salınan sera gazlarındaki artış, arazilerdeki kullanım alanlarının sürekli değişikliğe uğraması ve doğal yapısını zamanla kaybetmesi, küresel ısınma gün geçtikçe artmaktadır [27].

İklim değişikliklerinde yaşanan etkiler su dağılımındaki yaşanan etkileri paralel olarak etkilemektedir. Bugüne kadar ki yapılan küresel ısınma ile ilgili olan çalışmalarda zaten bu sonuçlar görülmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte su kaynakları azalacak ve bu durum tarım arazilerinin verimsizleşmesine yol açacaktır. Tarım alanların da oluşan su kaybı beraberinde çölleşmeye, tuzlanmaya ve erozyona sebebiyet verebilmektedir [28]. Aynı şekilde iklim değişikliğine bağlı olarak kar kürelerinin dağlardaki eriyen kar miktarlarının azalması zamanla tarım, enerji ve ulaştırma gibi sektörleri de olumsuz yönde etkileyecektir.

2.2.8 Su Ayak izi

Su ayak izi, tatlı su kullanımının bir göstergesidir. Yalnızca üretici ve tüketici olarak kullandığımız suyu değil dolaylı yollardan kullandığımız suyun da bir göstergesidir. Kendi içerisinde 3 bileşene ayrılıp bunlar; yeşil, mavi ve gri sudur. Yeşil ve mavi sular su tüketimini, gri su ise su üzerindeki kirliliği anlatmaktadır [24].



Şekil 2.4 Su ayak izinin bileşenleri [29].

Su ayak izi yalnızca su hacmini değil, aynı zamanda kullanılan suyun türünü (mavi, yeşil, gri), ne zaman ve nerede kullanıldığını da göstermektedir [30]. Bu bakımdan çok boyutlu bir göstergedir.

Mavi su ayak izi, bir malı üretmek için ihtiyaç duyulan yüzey ve yer altı sularının toplam hacmi için kullanılır. Ve geleneksel tatlı su denilince akla gelen su kaynağıdır.

Yeşil su ayak izi, bir malın üretiminde kullanılan toplam yağmur suyudur.

Gri su ayak izi, kirliliğe yönelik bir göstergedir. Ürün üretiminde yol açtığı tatlı su kirliliğinin derecesini gösteren bir kavramdır [31].

Su ayak izini bir örnekle açıklamak gerekirse; bir tarım mahsulü üretimi sürecini ele alırsak, yeşil su ayak izi ürünün büyüme dönemi boyunca tükettiği yağmur suyu miktarını ele alır, mavi su ayak izi ürünün aynı dönem içerisinde kullandığı yüzey ve yer altı su miktarını ölçer.

Gri su ise bu üretim sürecinde yüzey akıntılarına veya süzülerek yeraltı sularına karışan besin ve tarım ilacının, karıştığı ortamdaki doğal derişim ve su kalitesi standartlarına bağlı olarak arıtılması için kullanılan suyun miktarını ifade etmektedir [32].

BÖLÜM 3

TARIMSAL SULAMA

3.1 Dünyada Sulama

Dünyada en büyük su tüketiminin başında tarımsal sulama gelmektedir [33]. Bununla birlikte suyun yönetilmesi, işletilmesi, sulama sistemleri, verimi, ekonomik açıdan değerlendirilmesi, korunması, geliştirilmesi tüm dünyada önemli bir konu haline gelmiştir. Tarımda kullanılan suyun miktarının artmasıyla suyun verimli halde kullanılması giderek önemli hale gelmektedir. Nitekim bu durum su kullanım alanlarının tarım sektöründe geniş yer kapladığının da somut bir göstergesidir.

Dünyanın birçok yerinde su kaynaklarına olan talebin her geçen gün artmasıyla ve kaynakların kısıtlı olmasından dolayı tüketim grubunu oluşturan tarımsal sulama sistemleri üzerinde de geliştirici, kapasite arttırıcı, minimumda kullanma ve yönetimine ilişkin çalışmalar artmaktadır [33]. Bu yönetim sistemi ve kullanımı; ülkenin coğrafi konumu, ekonomik durumu, siyasi ve sosyal yapısına göre değişiklik göstermektedir.

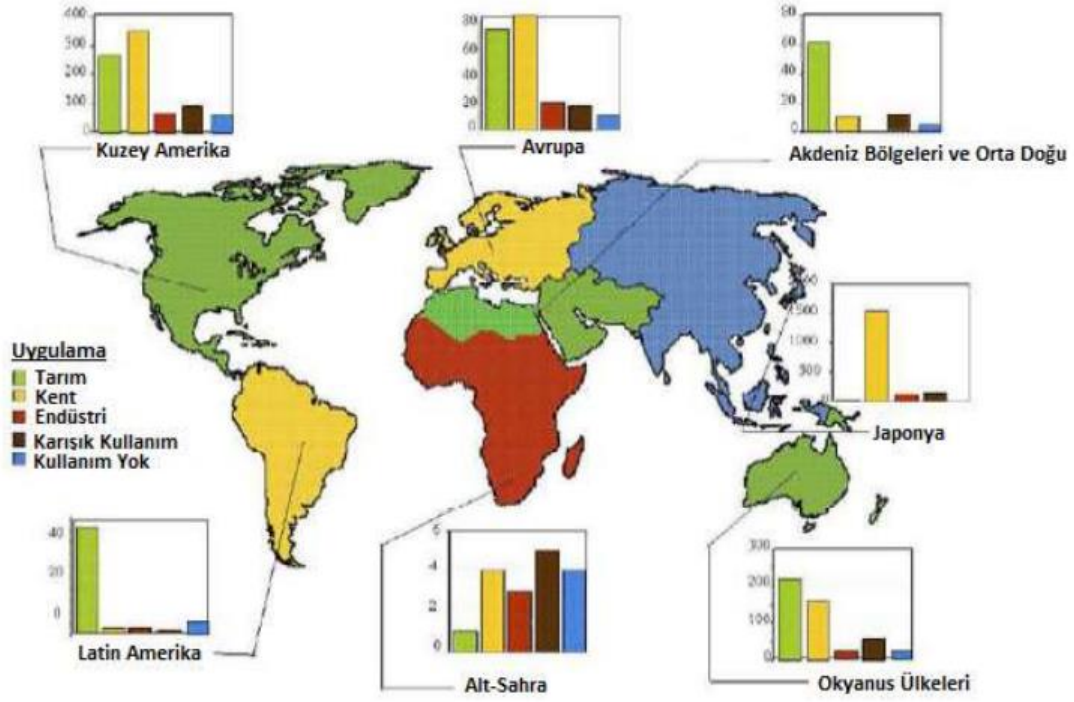
Tablo 3.1 Dünyada Sektörlere Göre Su Kullanım Oranları [14].

Sektör	Dünya	Gelişmiş Ülkeler	Az Gelişmiş Ülkeler	Avrupa	Türkiye
Tarım	70	30	82	33	74
Sanayi	22	59	10	51	11
İçme ve Kullanma	8	11	8	16	15

Mevcut durumda su kaynaklarımızın ve kalitesinin azalması ile su kaynaklarının sadece korunması yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte kullanılan kısımlarının geri dönüştürülerek ve yeniden kullanımının sağlanması gerekmektedir. İklim değişikliklerin yaşanması, hızlı kentleşme ve sanayileşmesiyle birlikte su kaynaklarında kirlilik ve kalitenin artmasıyla bu durum daha da çok önem kazanmaktadır.

Dünya genelinde geri kullanım örneklerinin pek çoğunu tarımsal sulamada görmekteyiz. Fakat buna rağmen suyun doğru bir şekilde arıtılmadan direk olarak sulamada kullanıldığı

durumlarla da karşı karşıya kalmaktayız. Su kaynaklarının gerek sulamada gerek ise geri kazanım yöntemlerinde etkin ve verimli bir şekilde kullanmak ve yönetmek oldukça önemlidir [33].



Şekil 3.1 Arıtılmış Atıksuların Dünyanın Farklı Bölgelerinde Kullanım Durumu [34].

3.2 Türkiye’de Sulama

Ülkemiz dünya üzerinde yarı kurak bölgede yer almaktadır [35]. Türkiye’de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm olup yılda ortalama 450 milyar m³ suya denk gelmektedir [36]. Ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 181 milyar m³ olup, bu suyun ekonomik olarak kullanılmasının uygun olmadığı ya da yetersiz olduğu alanlarda sulama suyu yeraltı sularından karşılanmaktadır [6].

Şuandaki büyüme hızı, gelişim, tüketim alışkanlıkların değişmesi gibi faktörler göz önüne alındığında gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su kaynakları bırakılması adına, mevcut su kaynaklarının çok iyi korunup bilinçli bir şekilde kullanılması amaçlanmalıdır [37]. Gelecek zamanlardaki su kalitesini ve miktarını etkileyen en önemli faktör yine nüfus olacaktır.

Sulama ülkemizde de büyük önem taşımaktadır. Beslenme ihtiyacının karşılanması, sanayide kullanılacak olan zirai ürünlerin dengeli ve sürekli olarak üretimi yapılması, hayat standartlarının yükselmesi, doğal kaynak tüketiminin az miktarlara indirilmesi, sürdürülebilir bir döngü için vazgeçilmezdir.

Ülkemizde sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde geliştirici ve akılcı seçenekler sunan birçok proje uygulanmaktadır. Sulak alanların korunması, rehabilitasyonu, göllerin yeniden oluşturulması gibi projeler günümüzde yetkili kurum ve kuruluşlar tarafından halen devam etmektedir [38].

BÖLÜM 4

ATIKSUYUN TARIMSAL KULLANIMINI TEŞVİK EDEN FAKTÖRLER VE KALİTE DEĞERLENDİRMELERİ

Suların yüksek kalitesinin sağlanamaması, yüksek maliyetler, arıtılmış çıkış atıksularının iyi kalitede olması, atıksuların arıtılarak kullanılmasının verimli bir yöntem olması, yeniden kullanım projelerinin tanımlanması araştırılması analiz edilmesi diğer yöntemler ile kıyaslanması, maddi boyutlarının değerlendirilmesi, teknik olarak uygunluğunun değerlendirilmesi, su kalitesinin sağlık üzerine etkilerinin incelenmesi, bitkiler üzerindeki etkilerinin analizlerinin yapılması, çevre üzerinde oluşturduğu veya oluşturabileceği olumlu ya da olumsuz etkileri, gelecekteki su potansiyellerinin değerlendirilmesi, kullanımları ve tanımlamalarının yapılması, kalite standart gereksinimlerinin belirlenmesi ve günümüzdeki su ihtiyaçlarının genel durumu ile buna alternatif seçenek olan arıtılmış atıksuların kullanımının etkileri ve sonuçları göz önünde bulundurularak tüm bu faktörlere dikkat edilmelidir [39].

Atıksuyun tarımda kullanımı alternatifini analizlerde teknik açıdan mümkün olup olmadığı ile ve bunun uygulamaya geçirildiğinde karşılaşılabilecek çevresel faktörleriyle, ekonomik boyutlarıyla, sosyal döngüye uyumu ile bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

4.1 Teknik faktörler

Tarımsal kullanım alternatifinde teknik olarak dikkate alınması gereken noktalar arıtma prosesleri gereksinimleridir [40]. Arıtma proses gereksinimleri depolama alan ve miktarlarında, dağıtım sistemlerinin özellikleri ve dağıtım yapılacak bölgelerin özelliklerini, yeniden kullanımı yapılacak atıksuyun miktarı gibi faktörleri içermektedir.

4.2 Ekonomik faktörler

Atıksuyun tarımsal sulamada kullanılması için bazı arıtma proseslerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada tüm arıtma prosesleri alternatifleri göz önünde bulundurularak proje maliyet planı yapılmalıdır. Alternatiflerde seçenekler içerisinde birkaçı aynı

hedefleri taşıyor ise, maksimum yarar sağlayan ve ekonomik boyutu olarak en maliyeti az olan seçilmelidir.

Sunulan alternatiflerin ve projelerin ekonomik boyutu prosesin sistemle uyumlu olması ve tüm analizler sonucunda uyumlu seçenek olması durumunda değerlendirilip, maksimum boyutta ekonomik olan proses veya yöntem seçilmelidir. Endüstrilerde en su ihtiyacını soğutma suları oluşturmakta olup, ayrıştırılmış suların soğutma suyu olarak kullanılabilmesi göz önünde bulundurulmalıdır [41].

4.3 Çevresel ve sosyal faktörler

Atıksuyun tarımsal kullanım uygulamalarında çevresel ve sosyal faktörlerin etkilenebileceği noktalar ve göz önünde bulundurulması gereken noktalar; uygulanacak olan prosesin veya arıtma seçeneklerinin inşaatları sırasında trafiğin, iş güvenliği kurallarının, gürültü toz standartları, drenaj sistemleri, hidrolik sistemleri, iş yerlerine ve konutlara olan etkileri, gerekli tüm servis ve yardımları göz önünde bulundurularak hareket edilmelidir.

Uzun dönem etkilerini değerlendirmek gerektiğinde ise enerji tüketimine ve yerleşim sahasının özelliklerine dikkat ederek ve göz önünde bulundurularak değerlendirmesi ve beraberinde faaliyeti yapılmalıdır. Ayrıca su akışının, sulak alanların desteklenmesinin yanında bataklıklar, parklar, göller gibi rekreasyonel alanlarda, balıkçılık, su kültürü oluşturma ve kar yapma gibi alanlarda da çevresel olarak kullanımı mümkündür [41].

4.4 Kullanım ve kalite faktörü

Arıtılmış atıksular tarımda kullanımı yapılmadan önce bazı kalite testleri ve kullanım uygunluğu açısından değerlendirmesi yapılmalıdır [39].

Bunlardan bazıları; tarımsal amaçlı kullanımlarında çiftçiler ve tüketim grubu açısından sağlıklı bir yöntem olup olmadığı, atıksu içeriğindeki virüslerin mikroorganizmaların toprakta ve bitki üzerinde hayatta kalıp kalmadığı, yenilebilir bitkiler üzerindeki

elementlerin hangi seviyede oldukları ve tüketim açısından uygunluğu, atıksu içerisindeki parametrelerin toprak geçirgenliği üzerinde olumsuz etki oluşturup oluşturmadığı, toprakta yetişen bitkilerin oluşumunu ve büyüme hızlarını etkileyip etkilemediği, tüketici grubundaki kişilerin arıtılmış atıksu ile sulanan bitkileri mi yoksa temiz su ile sulanmış bitkileri tercih edip etmeyecekleri konusundaki araştırma, arıtılmış atıksu ile sulamanın verimli olup olmadığı gibi faktörler hem tüketici kullanımı hem toprak kalitesi hem de topraktaki bitki ve canlı hayatındaki tüm kalite ve kullanım etkileri göz önünde bulundurularak çalışma yapılmalıdır [42].

4.5 Atıksuyun tarımsal kullanımı için kalite değerlendirmeleri

Arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımına uygun olması amaçlı belirli ve yeterli bir kalitede olması gerekmektedir. Bu kalite parametreleri; patojen miktarı, tuzluluk oranı, sodyum oranı, askıda katı madde miktarı ve toksik maddeler gibi bazı etmenler sayılabilir. Bu parametrelerin kalite değerlendirmesi insan sağlığı, bitki gelişimi, toprak geçirgenliği açısından değerlendirilerek kullanımı belirlenmektedir.

4.5.1 Patojenler

Patojen kaynaklı oluşabilecek riskler arıtılmış atıksuyun kullanımında oldukça önemlidir. Canlılar üzerinde etkisi ise çok kısa sürede ortaya çıkabilmektedir. Şiddet yoğunluğu ise temas potansiyellerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Patojenler, atıksu içeriğinde en çok görülen parametrelerden birisidir. Arıtılmamış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması durumunda en büyük risk ve çeşitli hastalıklara sebep olan patojenlerdir.

Vibrio cholerae bakterisinin neden olduğu kolera gibi bakteriyel hastalıklar, hepatit gibi viral hastalıklar, Amiplerin neden olduğu dizanteri gibi protozoal hastalıklar ve helmintlerin neden olduğu hastalıklar sularda patojenlerin neden olduğu önemli hastalıklardandır [43].

Günümüz arıtma yöntemlerinde özellikle modern arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Bu yüzden

patojen mikroorganizmalar atıksu içeriğinden ancak dezenfeksiyon yöntemi ile giderilmektedir. Bu yöntemde gelişmekte olan ülkeler bazında değerlendirildiğinde maliyetli bir yöntem olmaktadır.

Dezenfeksiyon işlemi uygulanmayan atıksularda içeriğinde birçok hastalık yapıcı mikroorganizmalar barındırabilmektedir. Bu patojen mikroorganizmalarda giderimi yapılmadan direk olarak tarımsal sulamada kullanılması durumunda bitkilere ve dolayısıyla bitkiler yoluyla insanlara bulaşarak hastalık yapıcı etkiler doğurabilmektedir. Özellikle direk olarak çiğ tüketilen sebze ve meyve gruplarında doğrudan etki gösterebilmektedir. Aynı zamanda tarım alanlarında çalışan işçi grupları da bu risklere maruz kalmaktadır.

Tablo 4.1 Atıksuyla Sulamadan Kaynaklı Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri [41].

Patojen	Çevredeki Dayanıklılığı	Minimum Bulaşıcı Doz	Bağışıklık	Rastlantısal Bulaşma Rotası	Gizlenme/Toprakta Gelişme Safhası
Virüsler	Orta Süre	Düşük seviyede	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 seviyede	Hiç-az	Genelde evin ve yiyeceğin dışında toprak ile temas	Var

Patojen mikroorganizmaların toprakta kalma süreleri koşullara göre değişkenlik gösterebilmektedir. Helmintler olarak adlandırdığımız patojen mikroorganizmalar yani halk dilinde bağırsak solucanı, kurtların larvaları olarak da bilinen patojen grubundaki mikroorganizma doğal şartlar altında en çok dayanıklılığa sahip olan mikroorganizmadır. Kurak iklim şartları ve yarı kurak iklime sahip topraklarda patojenlerin ölmesi ve etkisiz hale gelmesi için en etkili iklim koşullarıdır [44]. Helmint grubundaki patojen mikroorganizmalar toprak ile temas olduğu durumlarda bile etkisini gösterirken diğer

patojen mikroorganizmalar bulaşıcılık etkilerini tüketimi yapılan yiyecekler ile göstermektedir.

Tablo 4.2 Atıksulardaki Patojenler ve Kimyasallar ile Bağlantılı Risk Kaynakları [45].

	Patojenler	Kimyasallar
Risk kaynakları-risk oluşturanlar	Bakteriler, virüsler, helmintler (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 (Risk kaynaklarına maruz kalma yolları)	Sebzelerin, midye gibi kabuklu deniz hayvanlarının yenmesiyle vb. 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 kalmıŖsa etkilerin ortaya çıkışı	Genellikle çabuk görülür.	Genellikle uzun süre sonra görülür.

4.5.2 Tuzluluk

Tarımsal sulamada dikkat edilmesi gereken gerek toprak geçirgenliği gerekse ürün gelişimi ve kalitesi için göz önüne alınması gereken parametrelerden birisidir. Toprağın içerdiği tuzluluk oranı; su kalitesini, toprağın geçirgenliğini, topraktaki organik madde içeriğini, drenaj, derinlik gibi faktörlerle bütün olarak değerlendirilmelidir. Tuzluluğun değerlendirilmesindeki en önemli iyonlar sodyum, klorür ve bor iyonları olarak söylenebilir [46].

Tuzluluğun artmasıyla birlikte toprağın ozmotik basıncı [47]. Bununla birlikte bitkilerin su alma özellikleri azalmakta ve bitkilerin yeterli su alamamalarıyla birlikte büyük enerji harcamalarına neden olmaktadır. Böylelikle büyümek için harcayacakları enerjiyi su alma da kullanacakları için büyüme yetileri zayıflamaktadır.

Böylece tuzluluğun toprak üretkenliđinde ve gelişimindeki etkilerini;

- Yüksek miktarda olmasıyla ozmotik basıncında değişkenlik olması
- Topraktaki sodyum, klorür ve bor iyonlarının üzerindeki etkisi

- Toprak için gerekli iyonların azalması veya görevlerini yerine yeterince getirememesiyle birlikte bitkiye alınımlarının azalması ve bitki kalitesini düşürmesine sebebiyet vermesi
- Toprak yapısına zarar vererek geçirgenliğin azalması, topraktaki yararlı iyonların (kalsiyum, magnezyum gibi) düşük konsantrasyonlarda olması üzerine etkileri [47].

Geçirgenliği azalan toprakla birlikte toprakta tuz konsantrasyonları birikmektedir. Bu da toprağın hem fiziksel hem de kimyasal yapısını bozmaktadır. Beraberinde bitki gelişimini bozmakta ve bitkinin tuza olan dayanıklılığını bozmaktadır. Böylelikle toprağın geçirgenliğinin azalması yeterli miktarda su alınımlarını etkileyeceği için bitkiler zarar görmeye başlayacak ve kuraklık oluşumuna sebep olacaktır. Topraktaki tuzluluk ozmotik basıncı değiştireceği için bitki kökleri su alımı özelliğini [48]. Bitkilerin tuza olan dayanımlarını etkileyen faktörler iklim, toprak özellikleri, ekim şekilleri, gelişim özellikleri ve dönemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Özetle tuzluluğun bitki ve toprak kalitesi üzerine etkilerini;

- Sıcaklık ve nemin tuzluluk oranının üzerinde etkisi olduğunu
- Sulama suyu kalitesinin tuzluluk oranını yüksek ölçüde etkileyeceği, tuzların büyük miktarı sulama suları ile toprak yüzeyine taşınmaktadır.
- Toprağın fiziksel özellikleri tuzlanmayı etkilemektedir.
- Yetiştirilecek bitki çeşitliliği tuzluluk oranından büyük oranda etkilenmektedir. Belli seviyenin altına düşürülemeyen tuz miktarının olduğu toprak alanlarında ekonomik anlamda da etkileri sürmektedir.
- Bitki dayanıklılık özelliklerine göre tuz konsantrasyonları yüksek olan topraklarda bitki seçimleri yapılmalıdır.
- Fiziksel etkisi; ozmotik basıncı etkilemesi su alımı ve bitki beslenmesini etkilemesi yavaşlatması.
- Kimyasal etkisi; tuzların bir kısımları bitkinin topraktaki besini alımını zorlaştırarak, bitkinin doğal gelişimini etkilemektedir.
- Dolaylı etkiler; tuzluluk etkisi ile birlikte toprak özelliklerinde ve geçirgenliğinde oluşan etkiler ile birlikte bitki normal gelişim sürecinde harcadığı enerjinin daha

fazlasını harcamaktadır. Bununla birlikte verimde önemli miktarda düşüş yaşanmaktadır.

Tablo 4.3 Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi [49].

Tuzluluk	Bitki Tepkisi
0-0.98 Çok az tuzlu	Tuzluluk etkisi çoğunlukla ihmal edilir
0.98-1.71 az tuzlu	Çok duyarlı bitkilerin ürün verimleri düşebilir
1.71-3.16 tuzlu	Birçok bitkinin ürün verimi düşer
3.16-6.07 çok tuzlu	Tuza dayanıklı bitkiler normal ürün verebilir
>6.07 aşırı tuzlu	Tuza çok dayanıklı birkaç bitki ürün verebilir.

4.5.3 Ağır metaller ve toksik elementler

Atıksu içeriğindeki ağır metaller yaygın olarak kullanılan arıtma proses sistemleri ile basit bir şekilde giderilebilmektedir. Uygun arıtma proses sistemleri uygulandığında çok büyük sorunlar teşkil etmemektedir. Ancak uygun bir arıtma sistemi uygulanmamış direk olarak endüstriyel kaynaklı olarak gelip sulamada kullanıldığı durumlarda dikkat edilmesi gereken bir faktör haline dönüşmektedir. Zaman içerisinde toprakta biriken ağır metaller sulamayla birlikte bitki bünyesine alınmakta ve besin zincirine böylelikle katılmaktadır.

Bitkiler topraktan ve sudan gelişimlerini tamamlayacak miktardaki ağır metalleri bünyelerine almaktadır. Bitkilerin özelliklerine göre bünyesine alınma miktarları da farklılık gösterebilmektedir. Yüksek konsantrasyonlardaki bazı ağır metal grupları bitkileri ve bunlarla beslenen canlıları insanları hayvanları olumsuz yönde etkilemektedir.

Örneğin bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi metaller bitki yaşamları için gerekli olan elementlerdendir. Çinko bitkiler üzerinde metabolizma düzenleyen enzim sistemleri için gerekli bir elementtir. Fakat kurşun (Pb) veya civa (Hg) gibi elementler bitkilerin biyokimyası için faydalı bir etki yarattığı henüz görülmemiştir [50].

Ağır metallerin bitki bünyesine alınması pH<5.5 olan asidik topraklarda artış göstermektedir [51]. Tarımsal sulama için gerekli kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak pH değeri 6.5-8 aralığında olup hafif alkali özelliği göstermektedir [41]. Böylece toksik özellikteki kimyasalların bitki bünyelerine alımı zorlaşmaktadır [44]. Bu nedenle

endüstriyel kaynaklı atıksuların sulamada kullanılacağı durumlarda konsantrasyon uygunluğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 4.4 Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması [52].

Element	g/cm ³ özgül ağırlık	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı
Ag (gümüş)	10.5	-	K
Cd (Kadmiyum)	8.5	-	K
Cr (Krom)	7.2	G	K
Co (Kobalt)	8.9	G	K
Cu (Bakır)	8.9	G	K
Fe (Demir)	7.9	G	K
Hg (Civa)	13.6	-	K
Mn (Mangan)	7.4	G	-
Pb (Kurşun)	11.3	-	K
Mo (Molibden)	10.2	G	K
Ni (Nikel)	8.9	G	K
Pt (Platin)	21.5	-	-
Tl (Talyum)	11.9	-	K
Sn (Kalay)	7.3	-	K
U (Uranyum)	19.1	G	K
V (Vanadyum)	6.1	G	K
W (Tungstem)	19.3	G	K
Zn (Çinko)	7.1	G	K
Zr (Zirkon)	6.5	-	-

Tablo 4.5 Sulama sularında izin verilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları [53].

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktar kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyon	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/l	pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 20 yıldan daha az 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)	180	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)	-	2,5	2,5
Manganez (Mn)	920	0,2	10,0
Molibden (Mo)	9	0,01	0,05
Nikel (Ni)	920	0,2	2,0
Selenyum (Se)	18	0,02	0,02
Vanadyum (V)	-	0,1	1,0
Çinko (Zn)	1840	2,0	10,0

Tablo 4.6 Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları [53].

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

Tablo 4.7 Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri [53].

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	√			
Kırmızı 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				√

*Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.

4.5.4 Askıda katı maddeler

Sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açabileceği için askıda katı madde miktarları sınırlayıcı olmalıdır. Askıda katı maddelerin yanı sıra tıkanmalarda sıcaklık, debi, güneş ışığı gibi faktörler de etkili olabilmektedir. Sulama sistemlerinde AKM konsantrasyonu teknik usuller tebliğinde sulama suyu kriterlerine göre iyi sınıfta olan sular için 30 mg/l olarak belirlenmiştir [54].

4.5.5 Sodyum içeriği

Sulama suyu kalitesinde sodyum içeriği de büyük önem taşımaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda olması ve düşük tuzluluk miktarına sebebiyet vermesinden dolayı fiziki şartların zayıflamasında rol oynamaktadır. Sodyumun topraktaki etkileri SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) ile ifade edilmektedir [55].

Yine bitki çeşitliliğine göre farklılık gösteren bu parametre bazı bitkilerin büyümesinde yararlı olabilirken bazı bitkilerin su emilimlerini etkilediği için olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. SAR değeri ise topraktaki sodyum miktarının kalsiyum miktarına oranı olarak kabul edilmekte ve yüksek SAR değeri yüksek tuzluluk değeri anlamına gelmektedir [56].

SAR oranının yüksek olduğu topraklarda, toprak tanecikleri kurur, çatlayıp birbirinden ayrılma eğilimleri göstermektedir. Böylelikle toprağın sulanması durumunda bile su alt tabakaya geçememekte ve ürün oluşumunu etkilemektedir.

Tablo 4.8 Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı [53].

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, 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

4.5.6 pH

Tarımsal sulama sularında genellikle pH değerinin 6,5-8,0 aralığında olması istenir [54]. Bununla birlikte bitki çeşitliliği, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı pH elverişlilik sınırı açısından etkileyici faktörler olmaktadır. Asit özellikli topraklarda pH değeri, orta dereceden yüksek sular için birçok bitkilere zarar vermeden uygulaması yapılabilmektedir. Doğu Karadeniz bölgesinin toprak yapısı bu sınıf toprak yapısı olan bölgeye örnek olarak verilebilir.

Tablo 4.9 pH'a göre Hidrojen ve Hidroksil İyonları Miktarı ve Asitlik Sınıfları [57].

H+ iyonu konsantrasyonu	OH- iyonu konsantrasyonu	PH	Asitlik sınıfı
$0,0001=10^{-4}$	$0,0000000001=10^{-10}$	4	Çok şiddetli asit
$0,00001=10^{-5}$	$0,000000001=10^{-9}$	5	Şiddetli asit
$0,000001=10^{-6}$	$0,00000001=10^{-8}$	6	Orta asit
$0,0000001=10^{-7}$	$0,0000001=10^{-7}$	7	Nötr
$0,00000001=10^{-8}$	$0,000001=10^{-6}$	8	Orta alkali
$0,000000001=10^{-9}$	$0,00001=10^{-5}$	9	Şiddetli alkali
$0,0000000001=10^{-10}$	$0,0001=10^{-4}$	10	Çok şiddetli alkali

4.6 Atıksuyun tarımsal amaçlı kullanımının yönetimi

Arıtılmış atıksuyun tarımsal amaçlı kullanımında önemli faktörlerden birisi de kullanımın yönetimidir. Uygun arıtma yöntemlerinin kullanılması, standartların sağlanması, risk faktörlerinin belirlenmesi ve izlenmesi amaçlı olarak uygun materyal ve metotların sürdürülebilirliği ve yönetimi oldukça önemli konulardandır.

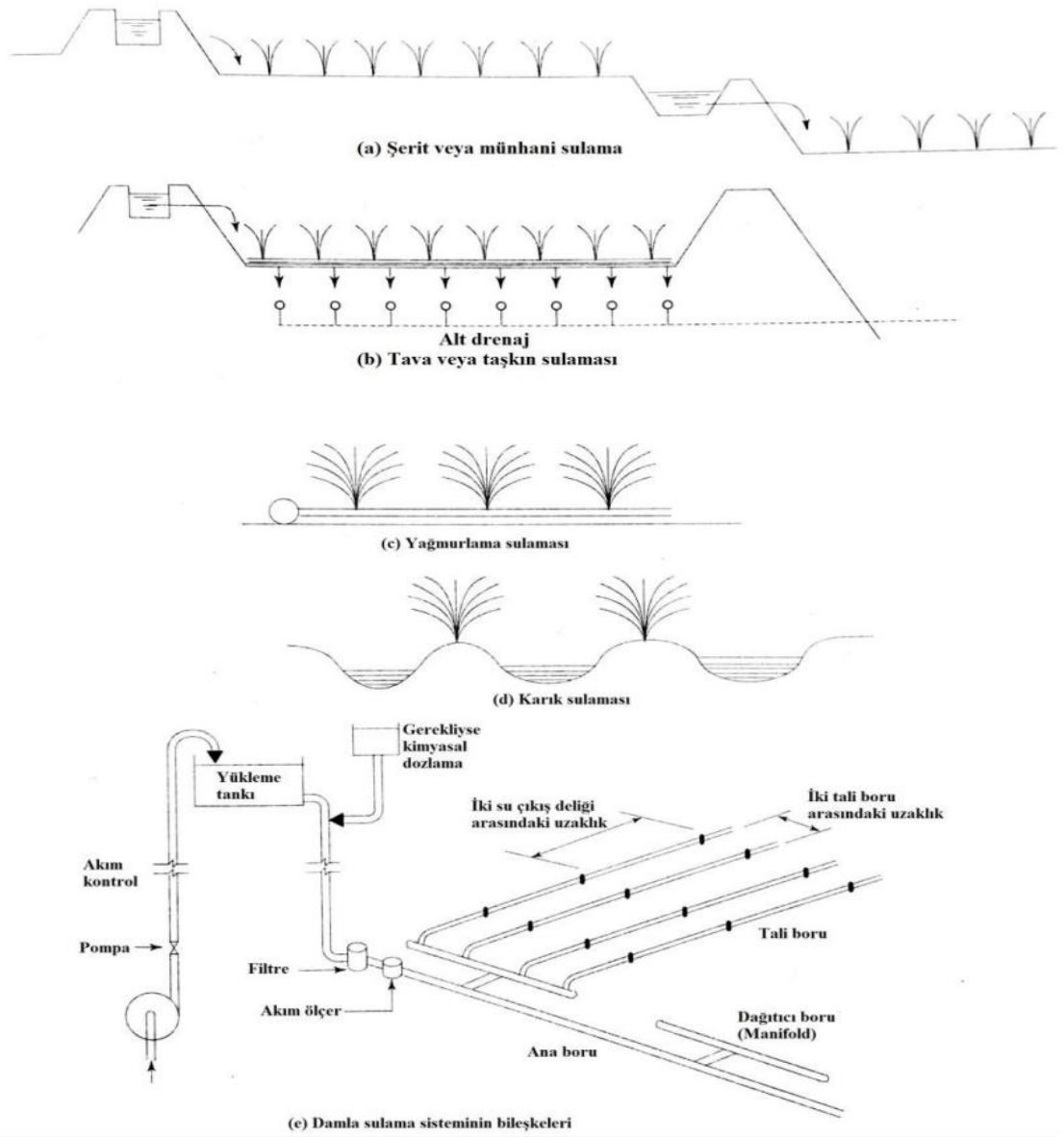
Öncelikle tarımsal sulamanın yapılması için belirli planlama kontrollerinin yapılması gereklidir. Genel planlama esaslarında ise;

- Arazi ihtiyacı (günlük, haftalık, aylık vs. kullanılacak atıksu miktarı, arıtma tesislerine yakınlığı gibi faktörler göz önüne alınarak belirlenir.)
- Atıksu miktarı (tarımsal sulamada kullanılacak atıksu miktarının belirlenmesi)
- Ürün seçimi (kullanılacak arazinin özelliklerine göre iklim, zemin, toprak geçirgenliği gibi faktörlerin göz önünde bulundurularak uyumlu ürünlerin seçimi.)
- Nihai deşarj kalitesi (sulamadan arda kalan geri dönüş sularının arıtmadan sonra ne şekilde deşarjının yapıp hangi alıcı ortamlarda deşarjlarının yapılacağı ve bu ortamlardaki deşarj standartlarını kapsamaktadır.
- Suyun iletimi (atıksu kaynağından sulama yapılacak alana iletimini kapsamaktadır. Dağıtım kanallarını, arazi geçirgenlikleri vs.)
- Dengeleme ve depolama lagünü (bazı durumlarda gerekebilir. Sulanacak alanların sabit olması durumlarında dikkate alınması gerekmektedir.)
- Sulama sistemlerinin tipi (çeşitli tiplerde sulama uygulanabilir. Yüzey sulaması, taşkın sulaması, yağmur sulaması, damla sulaması gibi.)

- Sulama fazlası suyun toplanması ve her tarafı (sulama sularından arda kalan suyun uygun yöntemlerle toplanıp her tarafının yapılması gerekmektedir. Balık yetiştirme havuzlarına verilmesi gibi.)
- Sulama sıklığı (bitkinin terleme sıklığına göre günlük veya gūnaşırı olarak uygun bir sıklık planlanması yapılması.)
- Toprakta tuzlanma (devamlı sulanan topraklarda tuzlanma olması durumundan dolayı sulanacak suyun ürün çeşitliliği ve özellikleri dikkate alınarak yapılması)
- Atıksu kalitesi (atıksuyun sulamaya uygun olup olmadığı sulama suyu kriterlerine göre belirlenmelidir.)
- Ön arıtma (toprak-bitki-su sisteminin sürdürülebilirliği esasına göre yapılmaktadır. Genellikle pH ayarlanması yapıp karbonlu organik madde giderimi yapılmaktadır. Ön arıtma sayesinde deşarj standartları sağlanmış olup, kaynaklar korunmaktadır. Ön arıtma; oksidasyon havuzlarında, havalandırma lagünlerinde, anaerobik reaktörlerde yapılmaktadır.)
- İşletme esasları (ürün, nütrientler, ağır metaller, patojenler, iş yeri ve işçi sağlığı, verim kontrolü gibi faktörlerin tümüyle ele alınmasını kapsamaktadır [12].

Genel planlama esaslarının dışında atıksuyun tarımsal sulamada kullanımında sulama sistemleri ile ilgili olarak projelendirme esasları da bulunmaktadır. Bunlar genel olarak:

- Standart değerlerin karşılanması amaçlı olarak atıksuyun ön arıtımı
- Atıksuyun iletimi (AAT Kanal kapasiteleri, zemin özellikleri, buharlaşmalar ve sızma durumları dikkate alınarak atıksuyun sulama alanlarına iletiminin yapılması.)
- Dengeleme ve biriktirme lagünleri (Sulanacak arazi sistemin merkezidir. Arazi sulama miktarları belirlenirken iklim şartları dikkate alınmalıdır. Sulama arazileri ve dengeleme-depolama lagünleri sistemin birer parçası olduğu için birlikte ele alınmalıdır.)
- Sulama tipleri (Seçilen sulama yöntemi kullanılacak atıksu kalitesine, arazide yetişen ve yetiştirilmesi planlanan ürünlere, arazi konum ve eğimine, toprak yapısına, su tutma kapasitesine ve toprak geçirgenliğine uygun olmalıdır. Genellikle cazibeli ve basınçlı sistem kullanılmaktadır. Uygulanan bazı sulama tipleri ise; şerit veya münhani sulaması, tava veya taşkın sulaması, karık sulaması, yağmurlama sulaması, damla sulamasıdır.



Şekil 4.1 Uygulanan Bazı Sulama Tipleri [58].

BÖLÜM 5

ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMDA KULLANIMINDAKİ RİSKLER

Temiz su kaynakları kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde nüfusunda artmasıyla birlikte azalmaktadır. Kentsel nüfusun artmasıyla atıksu oluşumu da artmaktadır. Su kirliliğinin önlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik günümüzün en önemli konularındandır. Atıksuların faydalı bir yöntem ile uzaklaştırılması veya yeniden kullanıma uygun hale getirilmesi iyi kalitedeki suların korunması için önem arz etmektedir. Uygun arıtma yöntemleri kullanılıp arıtılır ise güvenli tarım uygulaması yapılabilmektedir. Bununla birlikte su tasarrufu sağlanır, su kaynaklarındaki kirlilik azalır, bitkiler üzerindeki gübre gereksinimi azalır ve atıksular doğaya zarar vermeden uzaklaştırılmış olur. Tüm bu avantajlarının yanında atıksuyun uygun arıtma yöntemleri kullanılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde tarımsal üretimde kullanılması hem insan sağlığı açısından hem de tarım sağlığı açısından uygun olmamaktadır.

Su kalitesine ilişkin olarak bazı sağlaması gereken konsantrasyon değerler bulunmaktadır. Bunlar çözülmüş organik karbon, sodyum konsantrasyonları, ağır metaller, patojenler gibi endokrin sistemini bozan maddeler bulundurabilmektedir. Kimyasal konsantrasyon içerikleri bakımından yüksek miktardaki tuz, Na, Cl, SO₄ gibi iyonlar atıksu içeriğinde en çok karşılaşılan risk etmeni oluşturan iyonlardır [44]. Mevcut sistemde kullanılan atıksu arıtma yöntemleriyle bu iyonlar giderilmemektedir. Bu iyonların giderimi için ters ozmos, membran filtrasyonu, kimyasal oksidasyon, iyon değiştirme gibi arıtma yöntemler gerekmektedir. Fakat bu yöntemler mevcut durum için oldukça pahalı yöntemler olmaktadır. Diğer patajen kaynaklı riskler, ilaç kullanımı gibi vs. durumları uygun arıtma yöntemleri ve risk yönetim stratejileri ile giderimi yapılabilmektedir.

5.1 Riskin Belirlenmesi

Risk faktörünü;

(Risk = Tehdidin olma ihtimali x Tehdidin etkisi) olarak tanımlanmaktadır [59].

Bu çalışmada;

Risk = Atıksuyun içinde çok sayıda hastalık yapıcı etkisi bulunan patojen mikroorganizmalar, genel planlama ve projelendirme esasları faktörleri vb.

Tehdidin Etkisi = Arıtılmış atıksuyun tarımda kullanılmasına bağlı olarak insan sağlığına olan etkileri.

Tehdidin olma ihtimali = Kaynak varlığı, sosyal ve tarımsal etkiler, kullanım sıklığı vs.

5.2 Atıksuyun Tarımsal Kullanımında Risk Yönetim Stratejileri

Risk yönetimi; belirli bir sistem için riski anlamayı, değerlendirmeyi, öncelik belirlemeyi ve sonrasında risk azaltma stratejilerini uygulamayı kapsamaktadır.

Bu çalışmada üzerinde durulan risk etmeni; arıtılmış atıksuların içerebileceği ve tarımda kullanılması durumunda gerek insan ve çevre sağlığı gerekse tarımsal açıdan neden olabileceği olumsuzluklardır. Atıksuyun tarımsal amaçlı kullanımının getireceği avantajlardan faydalanabilmek için bu riskleri doğru bir arıtma yöntemi ve doğru risk yönetim stratejileri ile gidermek mümkün olabilir. Bu risk yönetim stratejilerinin bazıları;

Arıtma: Tarımsal sulamada kullanılacak atıksuyun arıtımındaki asıl amaç içeriğindeki hastalık yapıcı mikroorganizmaların, patojenlerin giderini sağlamaktır. [44].

Ürün Sınırlaması: Kalite standartlarına uygun olarak arıtılmamış atıksular veya standartları sağlamayan parametrelere konsantrasyonlarına sahip atıksular, tüm ürün

skalasında kullanılmamalıdır. Yani ya insanların yiyeceği türden olmayan ürünlerde ya da pişirilerek tüketilen ürünlerde kullanımı gerçekleştirilmelidir. Böylelikle tüketici bu risklere direk olarak maruz kalmamış olup önüne geçilmesinde bir yol olmuş olur. Örneğin, pamuk üretiminde veya patates havuç vs. gibi pişirilerek tüketimi yapılacak meyve veya sebzelerin üretiminde bu tür atıksuların kullanımı gerçekleştirilebilir. Fakat bu kullanımda çiftçi grupları hala risk altında olmaktadır. Kullanımları esnasında atıksuya temas durumu olmamalıdır. Olması durumunda çiftçi grupları da bu riskler ile karşı karşıya kalmaktadır. [44].

Sulama Yöntemleri: Arıtılmış atıksuyun tarımsal kullanımında tarlaya uygulamasının yapımında çiftçilerin, tüketicilerin veya yakın çevrede yaşayan canlı grupları gibi maruz kalanların üzerindeki olumsuz etkileri azaltılabilir veya artırılabilir. Örneğin yağmurlama ile sulama yapıldığında yetiştirilen bitki dışında çevresindeki canlılara veya yakın çevrede yaşayan yerleşim bölgelerine atıksu etkilerini gösterebilmektedir. Bu yüzden bu uygulama yapıldığında uygulama yapılan alan etrafında tampon bölgeler oluşturulmalı ve bu durumun önüne geçilmelidir. Bu tip atıksu uygulamalarına bağlı olarak riskleri azaltmak için damla yöntemleri veya düşük basınçlı fiskiyelerin (bubbler) kullanımı daha uygun olmaktadır. [44].

İnsanların Patojenlere Maruz Kalmalarının Kontrolü: Arıtılmış atıksuyun tarımsal kullanımında potansiyel risk altında olan gruplar; çiftçiler, ürün toplamada görev alan işçiler, tüketiciler ve tarım arazine yakın bölgelerde yaşayan insanlar olarak gruplandırabiliriz. Bu gruplar içerisinde en çok risk taşıyan kişilerin tüketim grubundaki kişilerin ve tarım alanlarında çalışan çiftçi gruplarının olduğunu söyleyebiliriz. Çiftçi gruplarının bu durumda alması gereken önlemler olarak, sulama yöntemlerinde daha güvenli olduğunu söylediğimiz fiskiye yöntemi ve damla sulama gibi yöntemlerle su ile temasın daha az olduğu yöntemleri tercih ederek veya uygulamanın yapıldığı esnada kişisel koruyucu kıyafetlerini sağlayarak; örneğin çizme, eldiven, koruyucu kıyafet, göz ile temasını engellemek amaçlı yüz siperliği gibi koruyucu ekipman sayesinde maruz kaldığı bu riskleri minimum seviyelere taşıyabilmektedir. Kişisel temizliklerini yaparken temiz su kullanımı yapılmalıdır. Tüm bu kişisel temizlik kurallarının nasıl uygulanması gerektiğini içeren ve koruyucu ekipmanların nasıl kullanılması gerektiği ya da maruz kalınan durumun

ciddiyetini ve önemini anlatan işçi, çiftçi ve yakın çevrede yaşayan insanlara eğitimlerin belirli aralıklarda verilmesi konu ile ilgili bilinçlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Tüketici gruplarının ise bu durumda dikkat etmesi gereken noktalar; sebze meyve tüketimi yapılırken pişirilerek tüketiminin yapılması, süt vs. gibi içecek gruplarında kaynatıldıktan sonra içilmesi gibi önlemlerin alınmasıyla birlikte patojen kaynaklı risklerin azaltılarak korunması amaçlanmaktadır. [44].

İlaç Tedavisi ve Aşılama: Arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımında ilaç tedavisi ve aşılama ile korunma stratejileri çiftlik çalışanlarını ve bu bölge yakınlarında yaşayanları kapsamaktadır. Atıksuların kullanıldığı devletlere veya ticari şirketlere ait çiftliklerde çalışanların, burada yaşayan kişilerin su kalitesinin iyileştirinceye kadar olan süresi için veya diğer koruyucu önlemlerin alınması sürecine kadar zaman kazandırmak amaçlı uygulaması yapılabilmektedir. Enfeksiyonlu hastalıklar için veya ishal gibi hastalıklar için bağışıklık geliştirmek çok mümkün değildir. Fakat atıksuyla yoğun teması olan kişiler için hepatit A ve tifo gibi hastalıklara karşı aşı uygulamaları yapılabilmektedir. İshal gibi hastalıklar için sağlık hizmetleri verilerek düzenli ilaç kullanımı sağlanabilmektedir. İlaç kullanımları ile hem yetişkinlerde hem de çocuklarda kansızlık kontrolleri yapılabilmektedir. [44].

Tüm bu önlemlerde kombinasyon önemlidir. Örneğin; ürün sınırlaması uygulamasıyla tüketici grupları bu risklerden korunabilir. Ancak tarım işçilerini ve çalışanlarını korumak için ek önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu kombinasyonların uygulanabilirliği bazı etmenlere bağlıdır. Bu etmenleri iş gücü, para kaynağı ve arazi gibi kaynakların varlığına, sosyal ve tarımsal uygulamalara, atıksu ile sulanan ürünlerin talep edilmesi sıklığına gibi etmenlere bağlı olarak seyirleri sıralanabilmektedir. Örneğin tarımsal alanlarda sulama uygulaması yapılacak bölgeler için uygun arıtma yöntemlerinin uygulanmadığı durumlarda, diğer sağlık koruma önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Tüm risk yöntemlerindeki ortak amaç; riskin tanımlanması, değerlendirilmesi, önceliklerin belirlenerek azaltma veya riskin yok edilmesi stratejilerinin uygulanmasıdır. Ve tüm risk yönetimlerinde birincil ana amaç atıksuyun uygun yöntemler ile arıtılması olmalıdır. İkinci izlenecek yol ise insan temasını azaltmak veya yok etmektir.

Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksuda aranacak özellikler ve sulamaya uygun olup olmadığını belirlemede gerekli olan önemli parametreler;

- Çözünmüş madde toplam konsantrasyonu, elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu
- Bor, ağır metal konsantrasyonları
- Ca ve Mg iyonlarının konsantrasyonları
- Toplam katı madde, organik madde, yağ gres madde miktarı
- Patojen organizma miktarı şeklinde belirlenmiştir.

Tüm bu iyonların arıtımı yapılarak uygun deşarj ve kullanım standartlarına getirilerek atıksuyun yeniden kullanımını amaçlanmıştır.

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanımlarında sağlık açısından risk altında kalan kişileri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Tarım alanlarında çalışan işçiler ve aileleri
- Tarım mahsulleri toplayıcıları
- Tüketici grubu
- Tarımsal sulama yapılan bölge yakınlarında yaşayan insanlar

Tablo 5.1 Atıksuyun Geri Kazanımı İçin Uygulanan Arıtma Teknolojileri ve Giderdikleri Kirleticiler [53].

Arıtma birimleri	Askıda katı madde	Kolloidal maddeler	Partiküller organik madde	Çözünmüş organik madde	Azot	Fosfor	Eser maddeler	Toplam çözünmüş madde	Bakteri	Protozoa	Virüs
İkincil arıtma	X			X							
Nütrient giderimi				X	X	X					
Filtrasyon	X								X	X	
Yüzey filtrasyonu	X		X						X	X	
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Elektrodiyaliz		X						X			
Karbon adsorpsiyonu				X			X				
İyon değiştirme					X		X	X			
İleri oksidasyon			X	X			X	X	X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Tablo 5.2 Farklı arıtma sistemlerinin mikroorganizma logaritmik giderme verimleri [53].

	Arıtma sistemleri					
	Birincil arıtma	İkincil arıtma		Üçüncül arıtma		İleri arıtma
	Ön çöktürme	Aktif çamur	Damlatmalı filtre	Filtrasyon	Mikrofiltrasyon	Ters osmoz
Fekal koliform	<0.1-0.1	0-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Salmonella	<0.1-2	0.5-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Cyryptosporidium	0.1-1	1		0-3	1-4	4-7
Giardia	<1	2		0-3	2-6	>7
Enterik virus	<0.1	0.6-2	0-0.8	0-1	0-2	4-7

5.3 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Kullanım Kriterleri

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında oluşan en büyük risk hastalık yapıcı patojen mikroorganizmalardır. Arıtılmış atıksuyun mikrobiyolojik kalitesi, suyun kullanılabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Aşağıda geri kazanılmış atıksudaki kalite parametreleri detaylı olarak verilmiştir. [53].

Tablo 5.3 Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksuların Sınıflandırılması [53].

Ger kazanım türü	Arıtma tipi	Ger kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri^l</i> <i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
Sınıf A				
a) Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü b) Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d -Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 <20 mg/L -Bulanıklık <2 NTU ^f -Fekal koliform: 0/100 mL ^{g,h} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor> 1 mg/L ⁱ	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
Açıklamalar: -Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir. -Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir. -Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.				
Sınıf B				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri^m</i> <i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i> <i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması b) Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler c) Otlak hayvanları için mera sulaması	-İkincil arıtma ^c -Dezenfeksiyon ^e	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL ^{s,i,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 yapılyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
Açıklamalar: -Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır. -Püskürtmeli sulama yapılyor ise AKM <30 mg/L olmalıdır. -Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir. -Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.				
^a Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir. ^b Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır. ^c İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünleri vb içerebilir. ^d Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir. ^e Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz. ^f Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiçbir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır. ^g Günlük ortalama değerleri karakterize eder. ^h Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir. ⁱ Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir. ^j Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir. ^k Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir. ^l İleri arıtma uygulanmalıdır. ^m Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.				

Tablo 5.4 Atıksu geri kazanım maksadı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri [53].

Atıksu geri kazanım maksadı	Arıtma sistemleri
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Dinlenme maksatlı kullanılan sulak alanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H ₂ O ₂
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon değiştirme + UV

Tablo 5.5 Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler [53].

Tip	Örnek	Arıtma ihtiyacı
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahana, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemde sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Tablo 5.6 Sulama metotları ve temel özellikleri [53].

Sulama yöntemi	Seçimi etkileyen faktörler	Arıtılmış atıksu sulaması için özel durumlar
Salma sulama	Düşük maliyet, tam seviyelendirme gerekmemektedir. Düşük sulama verimi, düşük halk sağlığı koruması	Çalışanların korunması gerekmektedir.
Karık usulü sulama	Düşük maliyet, seviyelendirme gerekebilir. Düşük sulama verimi, orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Uygun bitki seçimi yapılmalıdır.
Kenar sulaması	Nisbeten düşük maliyet, seviyelendirme gerekir. Düşük sulama verimi, orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Bitki kısıtlaması yapılmalıdır.
Yağmurlama sulama	Orta-yüksek maliyet, seviyelendirme gerekmemektedir. Orta sulama verimi, düşük halk sağlığı koruması.	Su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmelidir.
Damlatmalı sulama	Yüksek maliyet, seviyelendirme gerekmemektedir. Yüksek sulama verimi, yüksek halk sağlığı koruması	Özel bir koruma gerektirmemektedir. Deliklerin tıkanmaması için su kalitesine dikkat edilmelidir. Yönetimine daha fazla dikkat edilmelidir.

Tablo 5.7 Geri Kazanılmış Suyun Kullanıldığı Alanlar ve Olası Etkileri [60].

Kullanılan alan	Olası etkiler
Tarımsal sulama	Su kalitesi, özellikle tuzun toprak ve ürün kalitesine etkisi
Yüzeysel sulama Park, bahçe, yeşil alanlar	Patojenlerin halk sağlığı üzerindeki etkisi, yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenme etkisi
Endüstriyel kullanım Soğutma suyu, proses suyu, kazan suyu	Korozyon, bakteriyolojik film oluşumu, proses ve soğutma sularındaki patojenlerin insan sağlığına etkisi
Yeraltı suyu besleme	Geri kazanılmış sudaki iz organiklerin toksit etkileri, toplam çözünmüş katı maddeler ve patojenler
Çevresel kullanımlar Gölet ve havuzlar, balık üretim havuzları	Bakteri ve virüse bağlı sağlık etkileri, ötrofikasyon etkisi, koku, estetik etkiler vb.
Diğer kullanımlar Yangın söndürme, tuvalet temizliği, araç yıkama	Aerosoller tarafından taşınan patojenler dolayısıyla insan sağlığına etkisi, korozyon, bakteriyolojik film gelişimi ve tortu oluşumu dolayısıyla su kalitesine etkisi, içme sularıyla temas etme riski

Tablo 5.8 Sulamada Atıksuyun Kullanılmasından Kaynaklanan Salgın Hastalıkların İncelenmesi Sonucu Özetlenen Sağlık Riskleri [61].

Sağlık Riskleri			
Etkilenen grup	Nematod enfeksiyonu	Bakteriler/ Virüsler	Protozoa
Tüketiciler	Aritılmamış atıksular nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için ciddi ascaris enfeksiyonu riski yumurtaların hayatta kalmasına uygun koşullar olmadığı durumda, 1<nematod yumurta/L olacak şekilde arıtılan atıksular ile aşırı risk yoktur.	Aritılmamış atıksular nedeniyle kolera, tifo ve besili dizanteri salgınları, helicobacter phylori için pozitif sonuçları bildirilmiştir. 10 ⁴ /100 ml değerini aşan arıtılmış sular kullanıldığında ishal vakaları tespit edilmiştir.	Atıksularla yüzeyleri ıslanarak sulanan sebzelere parazit protozoa kanıtları bulunmuştur, ancak hastalık yayılmasına ilişkin doğrudan kanıt yoktur.
Çiftçiler ve aileleri	Aritılmamış atıksular nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için ciddi ascaris enfeksiyonu riski yumurtaların hayatta kalmasına uygun koşullar olmadığı durumda, 1<nematod yumurta/L ye kadar arıtılan atıksular ciddi ascaris enfeksiyonu riski oluşturur, çalışanlarda kanca kurdu enfeksiyonu riski artar.	Fekal koliform 10 ⁴ /100 ml değerini aşan atıksularla temas eden çocuklarda ishal riski artar, arıtılmamış atıksularla temas eden çocuklarda salmonella enfeksiyonu riski yükselir, kısmen arıtılmış atıksulara maruz kalan yetişkinlerin kan değerinde norovirüs etkileri artar.	Aritılmış ve arıtılmamış atıksulara bağlı giyardiya riski önemsizdir. Arıtılmamış atıksularla temas nedeniyle amipli dizanteri riski artış göstermektedir.
Yakın çevrede yaşayan halk	Yağmurlama sulama için ascaris taşınması çalışılmamış ancak yoğun temas olması halinde karık veya salma sulama için yukarıda verilen gibi yüksektir.	Enfeksiyon görülme sıklığının artması toplam koliform 10 ⁶⁻⁸ /100 olan kötü kaliteli sularda yağmurlama sulama yapılması ve aerosol etkisi ile bağlantılıdır. Fekal koliform 10 ⁴⁻⁵ /100 olan kısmen arıtılmış suların yağmurlama sulama ile kullanılması ise enfeksiyon artışı ile ilişkili değildir.	Atıksularla yapılan yağmurlama sulama süresince protozoa iletimine taşınmasına dair veri bulunmamaktadır.

5.4 Arıtılmış Atıksu Kullanımı ile İlgili Çeşitli Ülkelerde Karşılaşılan Sağlık Riskleri

Atıksu ile sulama yapılması birçok bölgede giderek yaygınlaşan bir uygulamadır. Bu uygulamalar ve kullanılan arıtma teknolojileri bölgelere göre değişebilmektedir. Teknik kapasite ve ekonomik nedenler bunun başlıca nedenlerindedir. Tüm seçenekler değerlendirilirken ve uygulamaya alınırken çiftçileri ve tüketicileri korumak için uygulanabilir olmalı ve risk yönetim stratejileri olmalıdır.

Uygulamalarda sağlık temelli hedeflerin kısa vadede ulaşılabilir olması üzerine çalışmaların yapılması gerekmektedir. Çalışma süreleri ve yoğunluğundan dolayı bu durumdan en çok etkilenen grup tarım işçileridir.

Hoek ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada Pakistan'da özellikle kenar mahallelerdeki yoksul çiftçiler için arıtılmamış atıksu kullanımının (atıksu ve kirlenmiş toprak teması) helmint enfeksiyonları açısından yüksek risk oluşturduğunu tespit etmişlerdir [62]. Vietnam'da pirinç çiftçileri arasında yürütülen çalışmalarda helmint enfeksiyonları riskinden daha çok ishal ve cilt sorunları için önemli ölçüde kanıtlar bulunmuştur [63]. Vietnam ve Kamboçya'da yapılan çalışmalarda helmint enfeksiyonları dışında atıksu temasına bağlı olarak ortaya çıkan dematit (egzama) gibi tedavi edilemeyen cilt hastalıkları gözlemlenmiştir [64]. Nepal Katmandu Vadisi'nde yapılan görüşmelerde 110 çiftçinin yarısından fazlasının atıksu kullanımından dolayı cilt problemleri yaşadığı görülmüştür. Bu cilt sorunlarının el ve ayaklarda kaşıntı ve kabarmayı içerdiği gözlemlenmiştir [65]. Musi Nehri boyunca çalışan pirinç çiftçileri de aynı sorunları bildirmiştir. Hindistan Haydarabad'da ve Gana'da atıksu kullanan kentsel sebze çiftçileri de bunlardan bazılarıdır [66]. Vietnam'da yapılan araştırmalarda göz rahatsızlıklarının da olduğu görülmüştür. Atıksu maruziyeti ile ilgili olup olmadığının gözlemlenmesi için daha fazla araştırma sonucuna ihtiyaç vardır [67].

Yapılan çalışmalar ve gözlemler sonucunda maruz kalınan gerçek riskler ve algılanan riskler arasında çelişki olabilmektedir. Çiftçiler tarafından da risk azaltma önlemlerinin benimsenmesi gerekmektedir. Çiftçilere uygulama yaparken ve çalışırken maruz kaldığı riskler konusunda eğitimler verilmelidir.

Bu sorunların daha iyi anlaşılması ve çözümler üretmek adına farklı risk değerlendirmeleri geliştirilmiştir. Bu çalışmalar risklerin tanımlanması, en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir. Risk analizleri üç temel bileşenden oluşmaktadır. Riskin değerlendirilmesi, risk yönetimi ve risk iletişimi. Örneğin bu tarz tarımsal sulama ile birlikte gelişen gıda kaynaklı hastalıklarda, sorunların anlaşılması ve çözülmesi için yardımcı olmaktadır. Hastalığın nasıl ortaya çıktığı, nasıl yayıldığı, olası risklerin neler olduğu ve nasıl önlemlerin alınması gerektiği konularında ilerleme sağlamaktadır.

Tüm bu süreçlerin uygulanabilir olması için birçok çalışma yapılmaktadır. Birçok gelişmiş ve orta gelirli; ABD, Tunus, İspanya, Fransa, İsrail ve Ürdün gibi ülkelerde atıksuyun tarım alanlarında uygulaması yapılmadan önce etkin bir şekilde arıtımı yapılmaktadır [68]. Bu ülkelerde atıksu ile sulama işlemleri resmi ve köklü kurumlar tarafından kontrol edilmektedir [69]. Ancak bu durum çoğu gelişmekte olan ülkeler için geçerli değildir. Dolayısıyla büyük hacimli kentsel alanlarda çoğunlukla su arıtılmadan kalmaktadır. Araştırmalar ortalama arıtılmış atıksu seviyesinin Asya'da yaklaşık %35, Latin Amerika'da %14, Sahraaltı Afrika'da %1 bile olmadığını göstermektedir [70]. Mevcut arıtmalar ise sadece birincil seviye arıtmayı kapsamaktadır. Yani atıksu kalitesinin kötü olduğu anlamına gelmektedir. Bu suyu da çiftçilerin tarımda kullanmasıyla birlikte önemli sağlık riskleri ortaya çıkmaktadır. Atıksuyun tarımsal sulamada kullanılmasında sağlık üzerindeki etkilerini en aza indirirken ve yok ederken, geçim kaynakları faydalarının da en üst düzeyde olduğu bir yaklaşımla ilerlenmelidir.

5.5 Arıtılmış Atıksuyun Tarımsal Kullanımı ile İlgili Önceki Çalışmalar

Zengin su kaynaklarına sahip olmamakla birlikte yarı kurak bir bölgede yer alan Türkiye'de kişi başı düşen su miktarı her geçen yıl biraz daha düşmektedir. Böyle bir tehlikeye karşı doğru su politikaları uygulanmalıdır. Bu bağlamda atıksu geri kazanımının önemli bir su kaynağı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Atıksuyun yeniden kullanımı uygulamaları günümüzde Türkiye'de yaygın değildir. Bu nedenle atıksuyun yeniden kullanımına yönelik Türk toplumunun nasıl bir tepki vereceği de bilinmemektedir. Büyükkamacı ve Alkan'ın (2013) atıksuların geri dönüşümü sağlanarak yeniden

kullanılması durumuna Türk toplumunun nasıl bir tepki vereceğine yönelik anket nitelikli bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda halk arasında en çok endişe duyulan alanın sağlık riskleri olduğu gösterilmiştir. [71].

Atıksuların gerekli durumlarda tarımsal amaçlı kullanımı suyun israf edilmemesine yönelik faydalı bir yöntem olabilmektedir. Ancak atıksu içerisindeki kirlilik oranının fazla olması hem toprağı hem de tarım ürünlerini tehlikeye düşürmektedir. Malchi ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada arıtılmış atıksu ile sulanan kök bitkilerinin (havuç ve tatlı patates) ilaç bileşiklerini bünyelerine alma miktarını araştırmışlar ve potansiyel riskleri değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar belirli ilaç bileşiklerinin bu bitkilerin yenilebilir yapılarında toksikolojik etki eşiğinin üzerindeki konsantrasyonlarda biriktiğini göstermiştir [72].

Bir diğer çalışmada gıda sanayi atıksularının arıtıldıktan sonra gıda bitkilerinin sulanmasına uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla arıtılmış atıksu ile sulanan domates ve brokoli bitkilerinde mikrobiyolojik indikatörler ve patojen bakteriler izlenmiştir. Araştırma sonucunda bu bitkilerin yenilebilir kısımlarında patojene rastlanmamıştır. Araştırmalar ve deneyler sonucunda ürünlerde atıksuların kullanılmasının bir sakıncasının olmadığı kanaatine ulaşılmıştır. Atıksuların mikrobik durumları takip edilerek, herhangi bir sağlık riskine yol açmayacağı ölçüde gıda endüstrisinde kullanılması uygun bulunmuştur [73].

İklim değişikliği ve küresel kalkınma faktörleri çevre sağlığını tehlikeye sürükleyen önemli iki tehdittir. Su talebinin azaltılması, su ihtiyacının giderilmesi, mahsullerin elde edilmesi ve topraktan verim elde edilmesi için geri dönüşüme uğramış atıksuların kullanılması gerekmektedir. Suyun kullanımına yönelik insanlar bilinçlendirilmelidir. Plansız nüfus artışı, kentleşme, kentsel dönüşümler, iklim değişiklikleri, küreselleşme ve gelir durumu etkenler suyun bilinçli kullanımın, tarım alanlarının genişlemesinin ve iyi bir su yönetiminin önüne geçmektedir. Çevresel etmenlerin yanı sıra biyolojik faktörler de suyun kimyasını bozmakta ve verim düşmektedir. Tatlı su pompalanması ve doğal gübre kullanımı tek başına yeterli değildir. Verimli bir tarım için sağlıklı suya ihtiyaç duyulmaktadır. Atıksuyun daha sağlıklı ve kullanılabilir bir hale getirilmesi amacıyla geleneksel hale gelmiş ya da eski olan yöntemler yeterli değildir. Hanjra ve diğ. (2012)'nin

yaptığı çalışmanın genelinde de bu konu ele alınmış olup, “su yönetişimi” çerçevesinde atıksu nasıl daha iyi bir şekilde arıtılabilir? sorunu üzerine durulmuştur [74].

Su kaynaklarında yaşanan azalma, topraklarda baş gösteren kuraklıklar ve küresel ısınma nedenleri atıksuyun dönüşümünü gerekli ve değerli kılmaktadır. Zira günümüzde dahi birçok az ve orta gelirli ülkede arıtılmamış ya da az arıtılmış sular hem içme hem de tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Bu koşuldaki sular hem çevresel hem de mikro bakteriyel risk taşımaktadır. Bu tarz atıksu kullanımlarının iyileştirilmesi gerektiğinin önemini vurgulayan bir araştırma, atıksu kullanımının önemine ve kullanım sürecine entegre olan konuları da incelemiştir. Ayrıca çalışmada atıksuyun kullanılması için iyileştirme kadar taşınmasının da önemli olduğu vurgulanmıştır [75].

Khawla ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada farklı sulama yöntemleri kullanılarak arıtılmış atıksu ile sulanan mısır (*zea mays*) bitkisinde ve toprakta iz elementlerin birikiminin araştırmışlardır. Araştırmada yüzey sulama, yağmurlama sulama, damla sulama ve yüzey altı damla sulama yöntemleri kullanılmıştır. Sulamada tatlı su ve arıtılmış atıksu olmak üzere iki tür su kullanılmıştır. Araştırma sonucunda arıtılmış atıksuyun toprakta iletkenliği, nutrientleri ve metalik iz elementleri arttırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek tuzluluk ve metalik iz element seviyeleri yüzey sulamada, en düşük seviyelere ise yüzey altı damla sulama yönteminde rastlanılmıştır. Yüzey altı sulamada mısır bitkisinin çeşitli bölümlerindeki metalik iz element seviyesi ise tatlı su ile sulamaya göre daha yüksek bulunmuştur [76].

Yarı kurak ve kurak bölgelerin fazla olması nedeniyle Ortadoğu su kıtlığı konusunda ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Dolayısıyla bu coğrafyada atıksuyun arıtılarak yeniden kullanımı yaygın olarak karşılaşılan bir uygulamadır. Atıksuların arıtılmadan kullanımı halk sağlığı ve toprak verimliliği açısından risk teşkil etmektedir. Bu konudaki bir araştırmada Monte-Carlo simülasyonu ile nicel bir mikrobiyal risk değerlendirmesi (QMRA) yapılmıştır. Orta Doğu'nun yarı kurak ülkelerinden olan İran'da atıksu ile sulanan marulun tüketiciler üzerindeki risk durumu ve hastalık yapıcılığı araştırılmıştır. Marul tüketicilerindeki risk seviyesi beklenenin altında olmakla birlikte limitlerin üzerinde bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları atıksuların tarımsal kullanımında kabul edilebilir risk seviyelerine

ulaşabilmek için aktif çamur çıkışında enterovirüslerin daha fazla giderilmesi gerektiğini göstermiştir [77].

İspanya ve Yunanistan'da arıtılmış kentsel atıksuların sulu tarımda kullanımı üzerine yapılan bir çalışmaya göre; artan su kıtlığı ile karşı karşıya olan Akdeniz ülkeleri ve diğer kurak ve yarı-kurak bölgelerde arıtılmış kentsel atıksular önemli bir su kaynağıdır. Çalışmada arıtılmış kentsel atıksuların tarımsal sulamada kullanımının temelleri üzerinde durulmuş ve Yunanistan ve İspanya'daki uygulamalar araştırılmıştır [78].

Kronik su kıtlığı yaşanan MENA bölgesi ülkelerinde (Orta Doğu ve Kuzey Afrika) geri kazanılan atıksuyu geleneksel olmayan bir su kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ürdün ve Tunus ülkeleri üzerinden teknolojik, düzenleyici, kurumsal, finansal ve sosyo-kültürel fırsatlar ve kısıtlamalar beraberinde atıksuyun arıtılması ve tarımda yeniden kullanılması durumunun incelendiği bir saha çalışmasında, arıtılmış atıksuyun tarımsal sulama, mahsul pazarlama ve tüketiminin mümkün olduğu ortaya konmuştur [79].

Arıtılmış evsel atıksu ile sulamanın topraktaki ağır metalin birikimine etkisi ve gıda mahsulleri ve bu mahsullerin tüketiminden kaynaklanan hastalık risklerinin araştırıldığı bir çalışmada, sebzelerin düşük oranda ağır metali bünyelerine almasından dolayı sağlık risklerinin önemsiz seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Koşullara bağlı olarak doğabilecek insanların metal kontaminasyonuna maruz kalma riskinin ise uygun sebzelerin seçilmesi azaltılabileceği belirtilmiştir [80].

Rewitt ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada tarımda arıtılmış atıksu kullanımından kaynaklanabilecek etkilerin olasılığını ve büyüklüğünü değerlendirmek üzere veri ve uzman görüşlerini biraraya getiren bir çerçeve önermişlerdir. Kalitatif risk değerlendirme yaklaşımının gelecekteki araştırmalar için önemli bir kaynak olabileceği belirtilmiştir [81].

Atıksular, insanların biyolojik ve ekolojik sağlık durumlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Arıtılmış atıksulardaki ilaç kalıntılarının insan sağlığına etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada esas olarak peyzaj sulamasında arıtılmış atıksuların içerdiği on tür ilaç nedeniyle ortaya çıkan insan sağlığı riskleri analiz edilmiştir. Risk değerlendirme bulgularına göre

tüm ilaçlar için hem dermal hem de sindirim ile maruziyet riskleri düşük bulunmuş; atıksu arıtma ve yeniden kullanım stratejilerini en uygun şekilde kullanmak ve halk ve çevre sağlığının korunmasına yönelik uygulama ve politikaların desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir [82].

Ternes ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada arıtılmış kentsel atıksular ile sulanan ekilebilir arazilerde ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin durumunu araştırmıştır. Braunschweig, Almanya'da 45 yıldan uzun bir süredir atıksular sürekli olarak sulamada kullanılmaktadır. 52 ilaç ve kişisel bakım ürününe, sulamada kullanılan atıksuda bulunduğu halde yeraltısularında rastlanmadığı belirtilmiştir [83].

İklim değişikliği ve değişkenliği bağlamında, kuraklıkla mücadelede arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımı su kıtlığı ile mücadele etme sürecinde önemli bir yöntemdir. Sistem, ekonomik olarak faydalı olduğu düşünülüp, sosyal olarak kabul edilebilir olduğu düşünülürse işe yarayacaktır. Bu nedenle, çiftçilerin atıksu ile sulanan çiftliklerin ekonomik, sosyal, çevresel ve sağlık açısından sürdürülebilirliğine yönelik tutumlarını inceleyen çalışmada Khanpae ve diğ. (2020) İran'da 197 atıksu ve tatlı su kullanıcılarını karşılaştırılarak saha gözlemleri yapmışlardır. Rastgele örnekleme yöntemi kullanılmış ve yapılan anketler ile atıksu kullanıcılarının atıksuyla sulu tarımın ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğine karşı daha olumlu bir tutuma sahip olduğu saptanmıştır [84].

Hussain ve Qureshi (2020)'nin çalışmasında arıtılmış atıksu kullanılarak ve yüzeyaltı damla sulama yöntemiyle sulama sonrasında toprak ve çeşitli sebzelerdeki demir, bakır, çinko ve krom gibi ağır metallerin varlığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar marul ve havucun ağır metaller nedeniyle atıksu ile sulama sonrasında tüketilmemesi gerektiğini, ıspanağın ise maksimum düzeyde toplam koliform içerdiğini göstermiştir. Uygun sebzelerin, olgunluk seviyesinin ve tüketilecek organların seçimiyle insan açısından risk seviyesinin düşürülebileceği belirtilmiştir [85].

Bir diğer çalışmada ise, özellikle toprak mikrobiyotasına vurgu yaparak, arıtılmış atıksu ile sulamanın olası etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda atıksuların sulamada tekrar

kullanımının sürdürülebilir olması için toprak kirleticilerini minimum düzeyde içeren arıtılmış atıksuların kullanılması gerektiği belirtilmiştir [86].

Beaudequin ve diğ. (2015) arıtılan atıksuyun tekrar kullanılmasının mikrobiyolojik sağlık risklerine katkıda bulunan faktörleri temsil eden kavramsal bir model oluşturmuşlardır. Kantitatif mikrobiyal risk değerlendirme yöntemi kullanılarak birçok faktörün sürece nasıl dahil edilmesi gerektiği üzerinde çalışmışlardır [87].



BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

Çalışma, literatür bilgileri kullanılarak arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanımının doğurabileceği risklerin tespitini ve değerlendirmesini amaçlanmaktadır. Bu kapsamda yapılacak olan risk analizinde, riskin değerlendirmesi yapılmadan önce risk etmenine ait tüm veriler belirlenmiştir. Tehlike faktörlerinin tanımlaması yapılmıştır. Belirli bir risk analiz yöntemi seçilip, sorunlar tespit edilip, problemlerin azaltılması konusunda tavsiyeler ve önlemler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada risk değerlendirmesinde What If? Metodu uygulanmıştır. Riskin her aşamasında uygulanabilecek bir metottur. Bu yöntem, “Olursa ne olur?” sorusu sorularak aksaklıkların ve muhtemel sonuçların her durum için kıyaslamasının yapılmasına dayanmaktadır. Genel olarak “olursa ne olur” sorusuna verilen cevaplara göre sonuç ve tavsiyelerin verilmesiyle sonuçlanan bir çalışmadır. Etkilenen canlıların kim olduğuna değinilmektedir. Mevcuttaki kontrollerin neler olduğu ve konu ile alakalı olarak yapılabilecek çalışmaların tümünü kapsamaktadır.

What If? metodu sorunu ve sorundan kimlerin etkilendiğini tespit etmeyi ve sorunlara yönelik önlemlerin ve önerilerin neler olabileceğini belirlemeyi sağlamaktadır. Söz konusu metot aynı zamanda var olan potansiyel tehlikelerin tespit edilme olasılığını yükseltmektedir.

What If? metodu, genellikle iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında çalışma ortamlarındaki riskleri tespit ederek bunları gözden geçirmek amacıyla kullanılan bir metottur [59]. Bu çalışmada ise arıtılmış atıksuların tarımsal amaçlı kullanımından kaynaklı risklerin insan sağlığına olan etkilerini belirlemek için adapte edilmiştir. Öncelikle “olursa ne olur?” sorusuna cevaplar aranmış, ardından bu sonuçtan etkilenen grup veya kişileri belirlenmiştir. Son olarak da muhtemel risklere karşı alınabilecek önlemler ve öneriler belirlenmiştir.

Risk analizi çalışmalarında genel olarak risk faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

Risk = Tehdidin olma ihtimali x Tehdidin etkisi [59].

Bu tanıma uygun olarak, bu çalışmadan örnek verilecek olursa;

Risk = Atıksuyun içerebileceği patojen mikroorganizmalar.

Tehdidin Etkisi = Arıtılmış atıksuyun tarımda kullanılmasına bağlı olarak patojenlerin insan sağlığına etkileri.

Tehdidin olma ihtimali = Kaynak varlığı, sosyal ve tarımsal etkiler, kullanım sıklığı vs.



BÖLÜM 7

BULGULAR

Temiz su kaynakları, kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde nüfusun da artmasıyla birlikte azalmaktadır. Kentsel nüfusun artmasıyla atıksu oluşumu da artmaktadır. Su kirliliğinin önlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik günümüzün en önemli konularındandır. Atıksuların uygun yöntemler ile arıtılması veya yeniden kullanıma uygun hale getirilmesi iyi kalitedeki suların korunması için önem arz etmektedir. Uygun arıtma yöntemleri kullanıldığında atıksular tarımsal amaçlar için güvenli şekilde kullanılabilir.

Tarımsal kullanılan su tüketim miktarı bölgelere göre farklılık göstermektedir. Yağışı fazla olan yerlerde sulama miktarı da düşmektedir. Su tüketiminin yüksek olduğu ülkelere bakıldığında ise sıcak ve kurak iklim bölgeleri olduğu gözlemlenmektedir.

Atıksuyun tarımsal kullanımdaki avantajları şunlardır:

- İçeriğindeki nütrientler sayesinde (azot, fosfor) gübre gereksinimi azalmaktadır. Ekonomik bir yöntem olduğu kadar bitki gelişimi ve üretim için önemlidir.
- Su kıtlığının önlenmesinde kaliteli su kaynaklarının azalmasının önüne geçilmesinde büyük rol oynamaktadır.
- Atıksu oluşumu dönersel olmadığı, sürekliliği olan bir döngü olduğu için özellikle kurak bölgelerde daimi ve güvenilir bir yöntem olmaktadır.
- Yeraltı ve yerüstü temiz su kaynaklarının korunarak içme suyu olarak kullanılmasında önemli rolü vardır.
- Atıksu içeriğindeki birincil ve ikincil arıtma yöntemleri ile giderilemeyen nütrientlerin sulamada yeniden kullanımı ile üçüncül arıtma görevini üstlenmesi ve alıcı su ortamlarında ötrofikasyonun önlenmesine önemli katkısı olmaktadır.
- Bitki yetiştiriciliğinde yararlı mikroorganizmalar sayesinde metabolik faaliyetlerin artmasını sağlaması.
- Kurak mevsimlerde alternatif su kaynağı olmaktadır [40].

Tüm bu avantajlarının yanında atıksuyun uygun arıtma yöntemleri kullanılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde tarımsal üretimde kullanılması hem insan sağlığı, hem de toprak ve ürün kalitesi açısından sorunlar yaratabilir. Arıtılmış atıksuyun kullanılmasındaki dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Atıksuyun içerdiği bazı maddeler bitkiler veya insanlar için zararlı etkilere yol açabilir.
- Atıksu içerisindeki patojen mikroorganizmaların sulama ile bitkilere geçmesi ve bu bitkileri insanların tüketmesi ile insan sağlığını tehlikeye sokması.
- Tarımsal sulama bitkinin su ihtiyacına göre ve iklim değişikliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle atıksuların sulamada kullanılması bitkinin büyüme dönemleri ile sınırlı olduğu için, sulama ihtiyacının olmadığı dönemlerde diğer bir deşarj imkanının sağlanması veya arıtılmış atıksuların depolanması gerekmektedir.
- Arıtılmış atıksu içerdiği bileşenler nedeni ile sulama sistemlerine zarar verebilmektedir [41].

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanıma uygunluğu 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde tanımlanan kriterler ile değerlendirilmektedir. Tebliğe göre kentsel atıksular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise biyolojik arıtma sonrası iyi dezenfeksiyon gereklidir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım söz konusu olduğunda ise membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi daha ileri arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekebilir [53]. Tebliğde arıtılmış atıksuların sulamaya uygunluğu değerlendirilirken öncelikle göz önünde bulundurulması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Su içindeki çözülmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu

- Bazı şartlarda Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı [53]

Tüm bu özellikler kapsamında, arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasının doğurabileceği riskler ve bunlardan kimlerin etkilenebileceği, ne gibi önlemler alınabileceği What If? Yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi Tablo 7.1’de verilmiştir.



Tablo 7.1 Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi

What If? Olursa Ne Olur?	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Arıtılmış atıksuyun içeriğinde bakteriler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Etkisi canlılar ve insanlar üzerinde çok kısa sürede ortaya çıkmaktadır. Tifoid ateş, paratifoid ateş, basilli dizanteri, kolera, tüberküloz, ishal gibi hastalıklara neden olmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa/orta sürededir.
Arıtılmış atıksuyun içinde virüsler (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Çocuk felci, bulaşıcı hepatit, ishal, solunum hastalığı, kusma, kalp kasi iltihabı, menenjit, beyin iltihabı, döküntü, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır. Etkileri yine kısa sürede ortaya çıkmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz ve ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları orta sürededir.
Arıtılmış atıksuyun içinde protozoalar (tek hücreliler) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Amipli dizanteri, ishal, bağırsak hastalıkları, ağır enfeksiyon, sinir hastalıkları gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, ters osmoz, ileri oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları kısa sürededir.
Arıtılmış atıksu içerisinde helmintler (parazitik solucanlar) (patojen mikroorganizmalar) fazla olursa ne olur?	Parazitik enfeksiyon, ince bağırsak enfeksiyonu, anemi, paraziter bulaşıcı hastalıklar, ishal, karın ağrısı, ateş gibi insanlarda hastalık etmenleri oluşturmaktadır.	Tarım işçileri, tüketiciler, yakın çevrede yaşayan insanlar	Günümüz arıtma yöntemlerinde patojen mikroorganizmaların giderilmesi üzerine yapılmış bir arıtma yöntemi yoktur. Patojen mikroorganizmalar atıksu içerisinde ancak dezenfeksiyon yöntemi ile giderilmektedir.	Genellikle çiğ tüketilen sebze veya meyveler, tekrarlanan tüketim, doğrudan veya dolaylı suya temas, soluma, su ile teması olan böcekler vs. yolu ile. Çevredeki dayanıklılıkları uzun süredir.
Tuzluluk oranı fazla olursa ne olur ?	Tuzluluk genel olarak toprak geçirgenliği, ürün gelişimi ve kalitesi açısından önemlidir. Tuzluluğun fazla olması ile bitkilerin su alma özellikleri azalmaktadır. Toprakta tuzun birikmesi bitkiler üzerinde toksik etki yapar, büyüme yavaşlar ve bitki kalitesi düşer. Bitki kalitesinin düşmesiyle insanlar açısından besin değeri de düşmektedir. Bu da insanlar üzerinde demir eksikliği gibi vs. etkiler doğurmaktadır.	Tüketiciler	Topraktaki tuzluluk oranının fazla olması bitki gelişimini etkilemesinden dolayı, tuzluluk dayanımları yüksek bitkilerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Katyon değişimi veya ters osmoz gibi yöntemlerle giderimi mümkün olabilmektedir. Ancak bu yöntemler sulama suyu için ekonomik olmadığından tercih edilmez. Atıksu arıtma tesisi çıkışı tatlı su ile karıştırılarak kullanılabilir.	
Atıksu içeriğinde ağır metaller ve toksik elementler fazla olursa ne olur?	Ağır metallerin özelliklerine ve canlılar üzerinde birikimlerine bağlı olarak; kanser hastalığı, sinir sistemine etkileri gibi hastalıklar görülmektedir.	Tüketiciler	Ağır metaller yaygın arıtma prosesleriyle kolaylıkla giderilebilmektedir. Uygun arıtma yöntemleri seçildiğinde ciddi bir sorun teşkil etmemektedir. İleri arıtma sistemleri (membran vb.) ile de giderilebilir.	Zaman içerisinde toprakta birikir ve sulama ile bitki bünyesine alınmaktadır. Genellikle atıksulardaki kimyasalların ağır metallerin kaynağını endüstriyel atıksular oluşturmaktadır. Tekrarlanan tüketim, sebze ve meyvelerin yenmesi

				vs. yolu ile oluşmaktadır.
--	--	--	--	----------------------------

Tablo 7.1 Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

What If? Olursa Ne Olur?	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Atıksu içeriğinde AKM miktarı fazla olursa ne olur?	Atıksu içeriğindeki AKM miktarının fazla olmasıyla birlikte sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açabileceği gibi sudaki organik kirletici yükünü artırmadan dolayı bitkilere ve buradan da insanlara etki etmektedir. İnsanlarda bağışıklık sisteminin bozulması, ishal vs. gibi hastalıklara neden olabilmektedir.	Tarım işçileri, Tüketiciler	Sulama suyu kriterlerinde AKM konsantrasyonu 30 mg/L olarak belirlenmiştir. İkincil arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri gibi uygun arıtma yöntemleri kullanılarak insan sağlığı açısından risk etmeni oluşturmayacak seviyelere indirgenebilmektedir.	Tekrarlanan tüketim, su ile temas, yiyeceklerin tüketilmesi vs. yolu ile oluşmaktadır.
Sodyum oranı fazla olursa ne olur?	Sodyum oranının yüksek olduğu topraklarda, topraklar kuruyup çatlar. Bu da sulama yapıldığında bile suyun ürüne ulaşmasını engellemektedir ve bitki kalitesi düşmektedir. Yüksek sodyum değeri yüksek tuzluluk işaretidir. Bu da insan vücudu için alınması gereken parametrelerin düşük oranda olması demektir. İnsanlarda kalsiyum, demir eksikliğine bağlı olarak gözlenen hastalık riskleri oluşmaktadır.	Tüketiciler	Yüksek sodyum oranı aynı zamanda yüksek tuzluluk belirtisi olduğundan tuzluluk giderilmesiyle kullanılan yöntemler aynı şekilde yüksek sodyum oranlarında da tercih edilebilmektedir.	
pH değeri yüksek veya düşük olursa ne olur?	Tarımsal sulama sularında sudaki pH değerinin çok düşük veya çok yüksek olması toprak kalitesini ve dolayısıyla bitki kalitesi ve ürün gelişimini de etkileyeceğinden, bu ürünleri tüketen insanların sağlığı açısından risk etkilerini doğurmaktadır.	Tüketiciler	Tarımsal sulamalarda istenilen pH aralığı (6,5-8) aralığındadır.	
Sulama yöntemi değişkenliği olursa ne olur?	Sulama yöntemlerinin uygulanması da risk faktörleri oluşturmaktadır. Örneğin yağmurlama ile sulama yapılması durumunda, yakın çevrede yaşayan insanlara veya tarım işçileri üzerinde etkileri olabilmektedir.	Tarım işçileri, yakın çevrede yaşayan insanlar	Uygulamanın yapılması aşamasında tampon bölgeler oluşturularak önüne geçilebilir.	Bölgenin iklim ve toprak özelliklerine göre ve yetiştirilecek bitki çeşidine bağlı olarak sulama yöntemini doğru seçmek oldukça önemlidir.
Arıtılmış atıksuyun uzun süre kullanımında toprak kalitesine olan etkileri ne olur?	Arıtılmış atıksuya uzun süre maruz kalan topraklarda yüksek miktarda tuzlanma görülmüştür.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler	Su sıkıntılı yıllarda veya sezonlarda belirli bir süre bile olsa bu suların iyi kalitedeki sular ile birleştirilerek kullanılması gerekmektedir. Temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde ise toprak bünyesindeki tuzluluk potansiyeli dikkate alınarak kontrollü uygulama yapılmalıdır.	
Sıcaklığın azalması ile arıtılmış atıksu sağlık riskleri üzerinde olan etkileri ne olur?	Arıtılmış atıksuyun uzun süre düşük sıcaklıklara maruz kalmasıyla atıksu içeriğindeki bakterilerin (patojenik mikroorganizmaların) hayatta kalma süresini uzatacaktır. Kış aylarında bakterilerin hayatta kalma süreleri yaz aylarına göre daha uzundur.	Tüketiciler, tarım işçileri, çiftçiler, yakın çevre yaşayan halk	Bakteriler atıksu içeriğinden dezenfeksiyon, filtrasyon veya oksidasyon yöntemleri ile giderilmektedir. Kış aylarında patojenik mikroorganizmaların hayatta kalma süreleri uzun olduğundan sebze meyve tüketimi çiğ yapılmamalıdır. Tarım işçileri ve çiftçilerin temas ve solunum yolu ile oluşması riskleri için kişisel koruyucularla önlemler alınmalıdır.	
Atıksuyun etrafa sıçarsa etkisi ne olur?	Atıksuların toprağa sıçraması ile verimlilikte artış yaşandığı görülmüştür. Çalışanlarla temasında ise bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkması ve yaygınlaşması tespit edilmiştir.	Tesis çalışanları	Atıksu tesislerinde çalışan bireylerin kişisel koruyucu ekipmanları kullanmaları gerekmektedir. Atıksuların biriktireceği havza iyi seçilmeli ve bu konuda dikkatli olunmalıdır.	Atıksuların arıtılması amacıyla kurulan tesislerin verimli toprak arazilerinden uzakta inşa edilmeleri

				gerekmektedir.
--	--	--	--	----------------

Tablo 7.1 Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için insan sağlığı açısından risk değerlendirmesi (devam)

What If? Olursa Ne Olur?	Sonuç / Cevap	Etkilenen	Tavsiye / Önlem	Ek
Atıksuların arıtımında sorun yaşanmasının etkisi ne olur?	Hem çalışanlar, hem hayvanlar, hem de çevrede yaşayan halk açısından önemli bir sağlık sorunu teşkil etmektedir. Bulaşıcı hastalıkların yaygınlaştığı ve buna bağlı olarak ölümlerin yaşandığı saptanmıştır.	Tesis çalışanları, yakın çevrede yaşayan halk.	Çalışanların kişisel koruyucu ekipman kullanımını aksatmaması gerekmektedir.	
Atıksular bulaşıcı hastalıklar taşırsa suyun kullanımı açısından ne olur?	Hem insanları, hem de hayvanları tehdit eden vahim sonuçlara yol açabilir. Mikroorganizmalar ve bakterilerde artış yaşandığı görülmüştür.	Tesis çalışanları, tüketiciler, çiftçiler, yakın çevrede yaşayan halk.	Tarımsal sulama amacıyla kullanılacak sulardaki bakteri durumu tespit edilmeden, toprağa ve bitkiye aktarılmamalıdır.	
Atıksulardan kaynaklı koku riski oluşursa ne olur?	Atıksu kaynaklı kötü kokunun etrafa yayılması önemli ve ciddi bir çevre sorunudur.	Tesis çalışanlar ve çevre yaşayan halk	Tesis çalışanlarının maske kullanımını ihmal etmemesi gerekir. Koku gidericiler kullanılmalıdır. Uygulama yöntemi ise temiz su içerisine karıştırılarak elde edilen solüsyon haline getirilmiş kimyasal arıtılmış atıksuya doğrudan ya da dozaj pompası ile uygulanabilir.	
Atıksular arıtılırken açığa çıkabilen gazların çevreye etkisi ne olur?	Atıksularda hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak ve metan gibi gazların bulunması zehirlenmelere ve boğulmalara neden olabilmektedir. ,	Tesis çalışanları, çevre yaşayan halk ve bölge yaşayanlar	Maske kullanımı ihmal edilmemelidir. Gaz seviyeleri ölçülerek izlenmelidir. Geniş kitleyi etkileyecek derecede önemli gaz sorunlarında gerekirse bölge halkı da bu konuda bilgilendirilmelidir.	
Arıtılmış atıksuların içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa insan sağlığına etkisi ne olur?	Amerika ve İngiltere başta olmak üzere birçok ülkede arıtılmış sular içerisindeki ilaç kalıntılarının yönelik risk değerlendirme raporları hazırlanmıştır. Rapor sonuçlarına göre su içerisindeki ilaç kalıntılarının insan sağlığı üzerinde güçlü denebilecek bir zararı bulunmamaktadır. İngiltere’de Thames nehrinde yapılmış bir çalışmada 13 farklı kanser ilacı içme sularına karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda su ile alınan dozun belirtilen miktarın çok altında olduğu ve insan sağlığı açısından risk teşkil etmediği belirtilmiştir. Ancak ilaç kalıntıları içeren atıksuyun sürekli kullanımı halinde hamileler, çocuklar, bebekler ve yaşlılar üzerinde ne derecede bir etki yaratacağı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.	Arıtılmış ve kalıntılı suya maruz kalan tüm insanlar	İlaç kalıntılarının maruz kalınmaması için ekotoksikite testlerinin yapılması gerekmektedir. Ancak bu test yöntemi uzun sürdüğü ve tekrarlanmaya müsait olmadığı için bakteri testlerinin yapılması daha uygun olmaktadır. Bakteri testleri düşük maliyet ve zaman açısından daha avantajlıdır. Suların analizinin Sıvı Kromatografi /Kütle Spektrometrisine ile yapılması gerekmektedir. Bu test sistemi maliyet, zaman ve çözünürlük açısından daha avantajlıdır. LC/MS/MS gibi yöntemi ile nanogram seviyesinde ölçümler yapılabilmekte ve düşük kalıntılar dahi tespit edilebilmektedir.	
Arıtılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa bitki, hayvanlar ve çevre üzerindeki etkisi ne olur?	Atıksular içerisindeki ilaç kalıntılarının farklı yöntemlerle ölçülmesi gerekmektedir. Bazı araştırmalara göre ilaç kalıntı oranı belirli seviyenin altında olur ise çevreye bir zararı bulunmamaktadır.	Hayvanlar, bitkiler ve çevre	Elektrosprey sıralı kütle spektrometresi, sıvı kromatografisi (LC), LC kütle spektrometresi, SPE, HPLC, Diod-array UV detektörü, Silika kartuş temizleme, LC-Elektrosprey sıralı MS, UV-Diod-Sıralı tespit ve elektroforez gibi çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ile ilaç kalıntıları çözümlenmeli ve kullanım durumu ona göre belirlenmelidir.	
Arıtılmış atıksular içerisinde ilaç kalıntıları bulunursa, bu kalıntıların tarıma ve tarım toprağına etkisi ne olur?	Toprağına zararı dokunabilecek olan ilaç kalıntılı atıksular, ürünlerle insanlara ulaşabilmektedir. İlaç kalıntılı atıksular incelendiğinde genellikle antibiyotik, analjezikler ve östrojenlerin varlığı gözlemlenmiştir. Söz konusu kalıntıların toprağına zarar verdiği ve ürünlerin yapılarının bozulduğu gözlemlenmiştir.	Toprak, insanlar, hayvanlar, bitkiler	Atıksuların ileri yöntemler ile arıtılması ve ilaç kalıntılarının belirli bir seviyenin altında olup olmadığının gözlemlenmesi gerekmektedir.	



BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve bunun sonucunda insan sağlığına olan etkileri ve riskleri değerlendirilmiştir. Dünyada ve Türkiye’de su tüketimi her geçen gün artarken, su kaynakları miktar ve kalite açısından kayba uğramaktadır. Bu nedenle kaynakların korunması ve tüketimin azaltılmasına yönelik önlemlerin alınması zorunludur. Dünyada ve Türkiye’deki sektörel bazlı su kullanım oranlarına bakıldığında, en çok su tüketiminin tarım sektöründe olduğu görülmektedir. Bu yüzden tatlı su kaynaklarının ve yeraltı yerüstü su kaynaklarının korunması adına arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük fayda sağlayabilir. Bununla birlikte, uygulama ve ekonomik yönden avantajlarına bakılmasına rağmen Avrupa ülkelerinin arıtılmış atıksuların kullanma oranının düşük olduğu görülmektedir.

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması su kaynaklarının korunması önemli avantajlar sağlarken aynı zamanda bitkilerin yararlı mikroorganizmalar ve nutrientler sayesinde gübre gereksinimlerinin karşılanarak, gelişimlerinde de olumlu etkiler yapabilmektedir. Ancak her uygulamada olduğu gibi arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasının da bazı riskleri ve dezavantajları bulunmaktadır. Uzun süre kullanımlarında toprağa olan etkileri, içerebileceği hastalık yapıcı mikroorganizmaların insan sağlığına olan etkileri, arıtmada kullanılan yöntemlerin ekonomik boyutları gibi bazı dezavantajları saymak mümkündür.

Bu çalışmada arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasına bağlı olarak insan sağlığına olabilecek muhtemel etkiler bir risk analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle riskler belirlenmiş, daha sonra da belirlenen risklerin insan sağlığına olabilecek etkilerini incelenmiştir. İnsan sağlığı üzerinde patojen organizmaların, ağır metallerin, kimyasalların ve diğer yan etkilerin ne gibi etkiler yaratabileceği bugüne kadar yapılan çalışmalardan yararlanılarak değerlendirilmiştir.

Arıtılmış atıksuların tarımda güvenli kullanımında özellikle patojen organizmaların azaltılmasını insan sağlığı açısından ön plana çıkarırken, kimyasallardan kaynaklı riskler

çok daha düşük oranda dikkate alınmasından dolayı bu konuyla ilgili yapılan risk çalışmalarının boyutlarının anlaşılması açısından güç olmaktadır. Özellikle kimyasal kalıcı kimyasal maddelerin etkilerinin daha yoğun şekilde araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla kullanımında özellikle insan sağlığı ve bununla birlikte toprak ve ürün kalitesi açısından olumsuz etkilerle karşılaşılabilmesi için gerek atıksu özellikleri gerekse toprak yapısı ve ürün hassasiyetleri göz önünde bulundurularak uygun arıtma yöntemlerinin uygulanması durumunda, risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Fayik, T., “Su Kaynakları, Ulusal ve Bölgesel Kalkınmadaki Rolü”, *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, s.25-26, İstanbul, 2021.
2. European Commission, Eurostat, Product Datasets https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/t2020_rd220
3. Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ‘Çevresel Göstergeler Su Kullanımı’ <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738>
4. Özçağlar, A., “Türkiye’deki Tarım Alanlarının Coğrafi Dağılımının Doğal Çevreyle İlişkisi” *Ankara Üniversitesi DTCF Coğrafya Araştırmaları Dergisi* (11), 131-150, 1988.
5. Türkiye İstatistik Kurumu, ‘İstatistik Veri Portalı Tarım Alanları’, 2012
6. DSİ 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, ‘Türkiye Genelinde Sulamada Kullanılan Yüzey Suyu Miktarı’, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
7. TÜİK, ‘Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri 2018’, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sektorel-Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2018-30673>
8. DSİ, 2019 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, DSİ’ce Geliştirilen Sulamalarda Uygulanan Sulama Yöntemleri, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>
9. Demir Ö., Yıldız M., Sercan Ü., Arzum C. Ş., “Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması” *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* (2), 1-14, 2017.
10. FAO, ‘Crops and Drops Making the Best Use of Water for Agriculture Rome 2002’ <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/su-20180222083149.pdf>
11. Türkiye Erozyonla Mücadele Ağaçlandırma ve Doğal Kaynakları Koruma Vakfı, ‘Kırılğan Döngü Suyun Sektörlere Göre Kullanım Oranları’, <https://sutema.org/kirilgan-dongu/suyun-sektorlere-gore-kullanim-oranlari.9.aspx>
12. T.C. Kalkınma Bakanlığı, ‘Kalkınma Planı On birinci’, *Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, s.26, 2018.
13. Sekin, S., ‘Dünya Tatlı Su Rezervlerinin Coğrafi Dağılımı’, *Marmara Coğrafya Dergisi*, s-247, İstanbul, 1992.
14. ÇŞB, ‘Eğitim Daire Başkanlığı Su Sunumu’ <https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/su-20180222083149.pdf>

15. BBC NEWS, 'Dünyada tatlı su kaynakları tükeniyor mu?' <https://www.bbc.com/turkce/vert-fut-39646356>
16. Toprak, D., 'Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Çevre Politikaları ve Mali Araçlar', *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (2), s.4, 2006.
17. Atçı, E. B., 'Türkiye Genelinde Su Kaynaklarının Durumu', *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi* (139), s.38-39, 2020.
18. Çapar, G., 'Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği', *İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi*, s.23, Ankara, 2019.
19. Eş, M., ve Ateş, H., 'Kent Yönetimi, Kentleşme ve Göç Sorunları ve Çözüm Önerileri', *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi* (48), s.229-230, 2010.
20. Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi, 'Türkiye'de Su Kullanım Yüzdeleri' <https://www.suvecevre.com/edergi/19/139/10/>
21. Öktem, A. U., Aksoy A., 'Türkiye'nin Su Riskleri Raporu WWF-Türkiye' http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_su_riskleri_raporu_web.pdf
22. Usiad, 'Su Raporu', *Ulusal Su İhtiyacı Politikamız*, s.21, 2007,
23. Çelik, S., 'Yerleşmelerin Yer Seçiminde Etkili Olan Coğrafi Faktörler ve Yanlış Yer Seçimlerinde Risk Analizi', *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi* (12), s.66 2019.
24. Unesco- Ihe, Su Eğitimi Enstitüsü, Mekonnen, M.M. ve Hoekstra, A.Y., 'Ulusal Su Ayak İzi Hesapları: Yeşil, Mavi ve Gri Su Ayak İzi Üretim ve Tüketim', *Su Araştırma Raporu*, s.21-22, 2011.
25. Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., ve Kurt, R., 'Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi', *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* (13), s.67-68, 2011.
26. Avcı, S., 'Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri', *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi* (13), s. 4-9, 2005.
27. Gönençgil, B., 'Küresel İklim Değişikliği ve Atmosferik Afetler', *Coğrafya Lisans Programı İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi*, s.70, İstanbul, 2017.

28. Kadiođlu, M., Ünal, Y., İlhan, A., ve Yürük, C., ‘Türkiye’de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik’, *Türkiye Gıda ve İçecek Sanayi Dernekleri Federasyonu*, s.72-73, İstanbul, 2017.
29. Temasu, ‘Su Ayak İzi Kırılğan Döngü’, <https://sutema.org/kirilgan-dongu/su-ayak-izi.15.aspx>
30. Pegram, G., Coyngnam, S., Aksoy, A., Dıvrak, B. B., ve Öztok, D., ‘Türkiye’nin Su Ayak İzi Raporu’, *Su Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi*, s.11, 2014.
31. Schubert, H., “The Virtual Water and the Water Footprint Concepts”, *Acatech Materialien Nr. 14*, s.11, München, 2011.
32. Mekonnen, M.M., ve Hoekstra, A.Y., “Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment”, *Ecological Indicators*, 46, 214–223, 2014.
33. Aydođdu, H. M., Mancı, A. R., ve Aydođdu, M. ‘Tarımsal Su Yönetiminde Değişimler; Sulama Birlikleri, Fiyatlandırma ve Özelleştirme Süreci’, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi* (14), s.147, 2015.
34. Aziz F., Farissi M., “Reuse of Treated Wastewater in Agriculture: Solving Water Deficit Problems in Arid Areas (Review)” *Annals of West University of Timișoara, ser. Biology*, XVII (2), pp.95-110, 2014.
35. Kapluhan, E., ‘Türkiye’de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi’, *Marmara Coğrafya Dergisi* (27), s.507, 2013.
36. Tarım Orman Bakanlığı, ‘Ulusal Su Planı’, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NHYP%20DEN%C4%B0Z/ULUSAL%20SU%20PLANI.pdf>
37. Firidin, E., ‘Su Sorununun, Su Hakkı ve Su Etiđi Çerçevesinde Değerlendirilmesi’, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (7), s.1-14, 2017.
38. TÜBİTAK, ‘Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli’, *Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi*, s.19-20, Ankara, 2003.
39. Katip, A., ‘Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi’, *Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* (7), s.1-17, 2018.
40. Saraođlu, E., “Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanımı – Ülkemizden ve Dünyadan Başarılı Örnekler ve Türkiye İçin Uygulama Önerileri” *Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı Uzmanlık Tezi*, 115 s, Ankara, 2014.

41. Duman, H., “Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği” *Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Uzmanlık Tezi*, 114 s, Ankara, 2017.
42. Gülle, F., ve Özdemir, S., ‘Sağlıklı Toprağın Görülmeyen Kahramanları: Toprak Mikroorganizmaları’, *Sakarya Ticaret Borsası Dergisi*, s.1-4, 2015.
43. Ak, İ., ‘Ekolojik Tarım ve Hayvancılık’, *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi* (2), s.1-9, 2002.
44. Kukul, Y., Çalışkan, Ünal, A.D., Anaç, S., ‘Arıtılmış Atıksuların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler’, *Ege Üniversitesi, Ziraat Fak. Dergisi*, s.105, 2007.
45. Salgot M., Verés C. and Angelakis A.N. “Risk Assessment in Wastewater Recycling and Reuse”, *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4):301-309. 2003.
46. Taş, İ., ‘Karaman-Ayrancı Tuzlu Alkali Topraklarının Mevcut Durumunun ve Yıkama Etkinliğinin Belirlenmesi’, *Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Doktora Tezi*, s.87-89, Ankara, 2009.
47. Ekmekçi, E., Apan, M., ve Kara, T., ‘Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi’, *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, s.124, 2005.
48. Dölarslan M., ve Gül, E., ‘Toprak Bitki İlişkileri Açısından Tuzluluk’, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, s.57, 2012.
49. Soil Quality Test Kit Guide, ‘United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service 1999’, <http://soils.usda.gov/sqi/files/kitcover.pdf>
50. Boğa, A., ‘Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları’, *Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı*, s.1-17, Adana, 2007.
51. Özyürek, F., ‘Nevşehir’de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi’, *Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, s.30-31, Nevşehir, 2006.
52. Yıldız, N., ‘Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller’, *Yüksek Lisans Ders Notları*, ZT-531, Erzurum, 2004.
53. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, RG Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527.
54. Karataş, B.S., Akkuzu, E., ve Aşık, Ş., ‘İzmir Kentsel Arıtılmış Atıksularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi’, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3), s.113, 2005.

55. Ayers, R.S., ve Westcot, D.W., ‘Tarımda Su Kalitesi’, Çeviren: Doç. Dr. Ali ÜNLÜKARA, *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No.29, s.5, Roma, 1989.
56. Başkan, T., ‘Arıtılmış Eysel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması’, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, s.48, İstanbul, 2006.
57. ÖZBEK H., ‘Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulama Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi’ *Toprak Bilgisi Ders Kitabı*, s.228, 1990.
58. Türkiye Belediyeler Birliği, ‘Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri El Kitabı (2)’, s.34, 2016 .
59. Risk Değerlendirme Metotları Sunumu, Yrd. Doç. Dr. İsmail TOPAL http://www.dataakademi.com.tr/wp.content/uploads/2017/02/12_RD_METOTLARI.pdf
60. EPA, ‘Guidelines for Water Reuse’, <file:///C:/Users/scan.BAYTEKS/Downloads/TurizmKentlerindeSuyunYenidenKullanim.pdf>
61. Kukul, Y. S., ve Anaç, S., ‘Tarımsal Sulamada Atıksuların Kullanımı, 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci’, *Türkiye Bölgesel Su Toplantıları Bildiriler Kitabı*, s. 81–87, 2008.
62. Van der Hoek, W., Ul Hassan, M., Ensink, J. H. J., Feenstra, S., Raschid-Sally, L., Munir, S., Aslam, R., Ali, N., Hussain, R., Matsuno, Y. “Urban Wastewater: A Valuable Resource for Agriculture – A Case Study from Haroonabad, Pakistan”, Research Report-63, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2002.
63. Trang, D. T., Mølbak, K., Cam, P. D. and Dalsgaard, A. ‘Helminth infections among people using wastewater and human excreta in peri-urban agriculture and aquaculture in Hanoi, Vietnam’, *Tropical Medicine and International Health*, 12, 2, 82–90, 2007.
64. Hoek, W. van der, Tuan Anh, V., Cam, P. D., Vicheth, C. and Dalsgaard, A. ‘Skin diseases among people using urban wastewater in Phnom Penh’, *Urban Agriculture Magazine*, 14, 30–31, 2005.

65. Rutkowski, T., Raschid-Sally, L. and Buechler, S. 'Wastewater irrigation in the developing world – Two case studies from Katmandu Valley in Nepal', *Agricultural Water Management*, 88, 83–91, 2007.
66. Buechler, S., Devi, G. and Raschid-Sally, L. 'Livelihoods and wastewater irrigated agriculture along the Musi River in Hyderabad City, Andhra Pradesh, India', *Urban Agriculture Magazine*, 8, 14–17, 2002.
67. Trang, D. T., van der Hoek, W., Tuan, N. D., Cam, P. C., Viet, V. H., Luu, D. D., Konradsen, F. and Dalsgaard, A. 'Skin disease among farmers using wastewater in rice cultivation in Nam Dinh, Vietnam', *Tropical Medicine and International Health*, 12, 2, 51–8, 2007.
68. Jiménez, B. ve Asano, T. 'Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs', *IWA Publishing*, Londra, s.648, 2008.
69. McCornick, P. G., Hijazi, A. ve Sheikh, B. "From wastewater reuse to water reclamation: progression of water reuse standards in Jordan – Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities", Eds. Scott, C. A., Faruqui, N. I., Raschid-Sally, L., *CABI Publishing*, p. 153, İngiltere, 2004
70. WHO 'Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report', World Health Organization – UNICEF – Water Supply & Sanitation Collaborative Council, New York, 2000.
71. Büyükamacı, N., "Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım", *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu*, s.363–77, Ocak, İzmir, 2009.
72. Malchi, T., Maor, Y., Tadmor, G., Shenker, M., ve Chefetz, B. 'Irrigation of root vegetables with treated wastewater: evaluating uptake of pharmaceuticals and the associated human health risks', *Environ. Sci. Technol.*, 48, 16, 9325–9333, 2014.
73. Beneduce, L., Gatta, G., Bevilacqua, A., Libutti, A., Tarantino, E., Bellucci, M., Troiano, E., Spano, G., 'Impact of the reusing of food manufacturing wastewater for irrigation in a closed system on the microbiological quality of the food crops', *International Journal of Food Microbiology*, 260, 51–58, 2017.
74. Hanjra, M., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F., Jackson, T., "Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215, 255–269, 2012.

75. Scheierling, S.M., Barton, C., Mara, D.D., and Drechsel, P. Improving wastewater use in agriculture; an emerging priority. (Policy Research Working Paper; No. WPS 5412). Washington, DC: World Bank, 2010.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/710411468176653818/>
76. Khawla, K., Bisma, K., Enrique, M., Mohamed, H., “Accumulation of trace elements by corn (*Zea mays*) under irrigation with treated wastewater using different irrigation methods”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 530–537, 2019.
77. Moazeni, M., Nikaeen, M., Hadi, M., Moghim, S., Mouhebat, L., Hatamzadeh, M., Hassanzadeh, E., “Estimation of health risks caused by exposure to enteroviruses from agricultural application of wastewater effluents”, *Water Research*, 125, 104-113, 2017.
78. Pedrero, F., Kalavrouziotis, J., Alarcon, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., “Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece”, *Agricultural Water Management*, 97, 1233–1241, 2010.
79. Rushdi Abu-Madi, M. O., “Incentive Systems for Wastewater Treatment and Reuse in Irrigated Agriculture in the MENA Region: Evidence from Jordan and Tunisia”, Dissertation for PhD., Delft University of Technology and the Academic Board of the UNESCO-IHE Institute for Water Educations, Holland, 2004.
80. Qureshi, A.S., Hussain, M.I., Ismail, S., Khan, M.Q., “Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater”, *Chemosphere*, 163, 54-61, 2016.
81. Revitt, D.M., Lundy, L., Fatta-Kassinos, F., “Development of a qualitative approach to assessing risks associated with the use of treated wastewater in agricultural irrigation”, *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124286, 2021.
82. Semerjian, L., Shanableh, A., Semreen, M.H., Samarai, M., Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates, *Environment International*, 121, 325–331, 2018.
83. Ternes, T.A., Bonerz, M., Hermann, N., Teiser, B., Rasmus, H., “Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: An option to remove pharmaceuticals and musk fragrances”, *Chemosphere*, 66, 894–904, 2007.

84. Khanpae, M., Karami, E., Maleksaeidi, H., Keshavarz, M., “Farmers’ attitude towards using treated wastewater for irrigation: The question of sustainability”, *Journal of Cleaner Production*, 243, 118541, 2020.
85. Hussain, M. I., Qureshi, A. S., “Health risks of heavy metal exposure and microbial contamination through consumption of vegetables irrigated with treated wastewater at Dubai, UAE”, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 11213–11226, 2020.
86. Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Nunes, M.O., “Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health”, *Environment International*, 75, 117–135, 2015.
87. Beaudequin, D., Harden, F., Roiko, A., Stratton, H., Lemckert, C., Mengersen, K., “Modelling microbial health risk of wastewater reuse: A systems perspective”, *Environment International*, 84, 131–141, 2015.