

**ARITILMIS EVSEL ATIKSULARIN TARIMDA
SULAMA AMAÇLI YENİDEN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Tülin BASKAN

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Programı: Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

HAZİRAN 2006

**ARITILMIS EVSEL ATIKSULARIN TARIMDA
SULAMA AMAÇLI YENİDEN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tülin BASKAN
501021535**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Nisan 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danismanı : Doç.Dr. Gülen İSKENDER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Bilsen BELER BAYKAL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Göksel AKÇIN (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

Bu alışma sırasında benden hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Gülen ISKENDER'e, ITU MEDAWARE Grubuna ve aileme en içten tesekkrlerimi sunarım.

Haziran 2006

Tülin BASKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
SEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
GİRİŞ	1
1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE SU	2
1.1. Dünya'da Su ve Sulama	2
1.2. Türkiye'de Su ve Sulama	3
1.3. Türkiye'de Tarım Arazileri ve Sulama	7
2. SULAMA	10
2.1. Geleneksel Sulama Yöntemleri	10
2.1.1. Salma Sulama	11
2.1.2. Karık Sulama	11
2.1.3. Tava Sulama	12
2.2. Kapalı borulu sulama sistemleri	13
2.2.1. Basınçsız borulu sulama sistemleri	13
2.2.2. Basınçlı sulama sistemleri	14
2.3. Yağmurlama sulama	14
2.3.1. Su kaynağı	15
2.3.2. Basınçlandırma Sistemi	15
2.3.3. Boru Hattı	15
2.3.4. Yağmurlama Başlıkları	15
2.4. Sprinkler sulama	16
2.4.1. Sprinkler Sulama Sisteminin Avantajları	16
2.5. Bublörler sulama	17
2.6. Damlama sulama	18
2.6.1. Su kaynağı	19
2.6.2. Pompa Birimi	19
2.6.3. Kontrol Birimi	19
2.6.4. Ana Boru Hattı	20
2.6.5. Manifold Boru Hattı	21

2.6.7. Lateral Boru Hatlari	21
2.6.8. Damlatıcılar	21
2.7. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	22
2.7.1. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Avantajları	22
2.7.2. Basınçlı Sulama Sistemlerinin Dezavantajları	23
2.8. Toprak Özellikleri	23
2.9. Sulama Suyu Kalite Parametreleri	30
2.9.1. Tuzluluk	30
2.9.2. Su Infiltrasyon Oranı	32
2.9.3. Spesifik İyon Toksikitesi	32
3. YENİDEN KULLANIM	35
3.1. Yeniden Kullanım Tipleri	35
3.1.1. Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım	36
3.1.2. Endüstriyel Amaçlı Yeniden Kullanım	36
3.1.3. Çevre ve Rekreasyon Amaçlı Yeniden Kullanım	36
3.1.4. Yeraltı Suyunun Beslenmesi Amaçlı Yeniden Kullanım	36
3.1.5. İçme Suyu Kaynaklarının Artırılması Amaçlı Yeniden Kullanım	37
3.1.6. Tarımsal Amaçlı Yeniden Kullanım	38
3.2. Yeniden Kullanım Amaçlı Atıksu Kaynakları	39
3.3. Kaynakların Karakterizasyonu	39
3.3.1. Aritma ve Proseslerin Derecesi	39
3.3.2. Çıkis Suyu Kalitesi	40
3.3.3. Çıkis Suyu Miktarı	40
3.3.4. Endüstriyel Atıksu Katkisi	40
3.3.5. Sistemin Güvenilirliği	40
3.4. Atıksuların Yeniden Kullanımını Tesvik Eden Faktörler	41
3.4.1. Alternatiflerin Analiz Edilmesi	41
3.4.2. Teknik Faktörler	41
3.4.3. Ekonomik Faktörler	42
3.4.4. Ekonomik Analizler	42
3.4.5. Çevresel ve Sosyal Etkiler	42
3.4.6. Uygun Alternatifin Seçilmesi	42
3.4.7. Kurumsal Düzenlemeler	43
3.4.8. Proje Sponsoru	43
3.4.9. Servis Başvurusu	43
4. TARIMSAL AMAÇLI YENİDEN KULLANIM	45
4.1. Atıksuların Tarımda Yeniden Kullanılması Planlanırken Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler	46
4.1.1. Su Kaynakları	46
4.1.1.1. Miktar	46

4.1.1.2. Kalite	47
4.1.1.3. Tuzluluk	47
4.1.1.3. Sodyum İçerigi	48
4.1.1.4. Eser Elementler	49
4.1.1.5. Bakiye Klor	49
4.1.1.6. Nütrientler	49
4.1.1.7. Endokrin Bozucular	49
4.1.2. Fayda – Maliyet Analizi	49
4.1.3. Mikrobiyolojik Açidan Sağlık Riskleri	51
4.1.3.1. Nematod Yumurtalarının Giderilmesi	54
4.1.4. Toksikolojik Açidan Sağlık Riskleri	54
4.1.5. Sosyokültürel Konular	55
4.1.6. Zirai Konular	55
4.2. Tarımda Yeniden Kullanım Kriter, Rehber ve Standartları	55
4.3. US EPA Rehberi (2004)	56
4.4. Florida Standardı	58
4.5. Kaliforniya Standardı	60
4.6. WHO (1989)	63
4.7. FAO (1985)	67
4.8. Türkiye SKKY Teknik Usuller Tebliği (2004)	68
4.9. Rehberlerin Karşılaştırılması	70
4.10. Avrupa Birliği Ülkelerinde Yeniden Kullanım	72
4.10.1. İspanya	75
4.10.2. İtalya	76
4.11. Çeşitli Ülkelerin Standartları	77
4.11.1. Güney Kıbrıs Rum Kesimi	77
4.11.2. İsrail	78
4.11.3. Ürdün	79
4.11.4. Kuzey Afrika Ülkeleri	83
4.11. Türkiye’de Su Yönetim Biçimi	84
5. TÜRKİYE’DEKİ KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN YENİDEN KULLANIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	86
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	100
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ	111

KISALTMALAR

DSI	: Devlet Su Isleri
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
SKKY	: Su Kirliligi Kontrol Yönetmeliği
TUT	: Teknik Usuller Tebliği
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)
FAO	: Food and Agriculture Organisation of United Nations (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
SAR	: Sodium Adsorption Rate (Sodyum Adsorpsiyon Oranı)
EC	: Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
AKM	: Askıda Kati Madde
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1	Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi	3
Tablo 1.2	Dünya’da Yıllara Göre Su Tüketim Miktarları.....	3
Tablo 1.3	Türkiye’de Su Miktarları ve Dünya ile Kıyaslanması.....	4
Tablo 1.4	Ülkemizde Tüketilebilir Su Potansiyeli Miktarları ve Yüzdesi	5
Tablo 1.5	1999 Yılında Dünyadaki Bazı Ülkelerde Kisi Basına Düşen Su Miktarı.....	7
Tablo 2.1	Türkiye’de Toprak Çeşitleri ve Çorak Toprakların Belirgin Özellikleri.....	25
Tablo 2.2	Elektriksel İletkenlik ve Ürün Olusma Kaybı Yüzdesi Arasındaki İlişki.	29
Tablo 2.3	Toprakların Elektriksel İletkenlik (Ec) Değerlerine Göre Tuzluluk Derecesi.....	29
Tablo 2.4	Sulama Amaçlı Su Kalite Rehberleri	31
Tablo 2.5	Bitkilerin Bora Karşı Dirençleri (Sulama Suyu).....	34
Tablo 3.1	Aritilmiş Atıksu Kullanım Uygulamaları	37
Tablo 4.1	WHO ve EPA Rehberlerinin Getireceği Maliyetlerin Kıyaslanması	51
Tablo 4.2	Atıksu ile Sulama Yoluyla Gelen Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri Ve Epidemiyolojik Özellikleri.....	52
Tablo 4.3	Sulamada Kullanılacak Aritilmiş Atıksu İçeriklerinin Limitleri	58
Tablo 4.4	Florida ve Kaliforniya Yeniden Kullanım Değerleri.....	62
Tablo 4.5	Aritilmiş Atıksuların Tarımda Yeniden Kullanılmasında Önerilen Mikrobiyolojik Kalite Rehberleri	63
Tablo 4.6	Tarımda Aritilmiş Atıksu Kullanımında Önerilen Mikrobiyolojik Rehberler	66
Tablo 4.7	Tarımda Aritilmiş Atıksu Kullanımı WHO Rehberleri	67
Tablo 4.8	Teknik Usuller Tebliği Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri	69
Tablo 4.9	Teknik Usuller Tebliği Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Esaslar ve Teknik Sınırlamalar	70
Tablo 4.10	Rehberlerin Karşılaştırılması	72
Tablo 4.11	İtalya’da Suların Yeniden Kullanılma Mikrobiyolojik Standartları	77
Tablo 4.12	GKRK Yeniden Kullanım Mikrobiyolojik Standartları	78
Tablo 4.13	İsrail’de Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanılacak Aritilmiş Atıksuların Kalite Kriterleri	79
Tablo 4.14	Ürdün’deki Su Tüketimi.	80
Tablo 4.15	Ürdün’deki En Önemli Atıksu Arıtma Tesislerinin Karakteristiği	81
Tablo 4.16	Ürdün’de Atıksuların Yeniden Kullanım Standartları	82
Tablo 4.17	2020 Yılında Kisi Basına Yılda Düşeceği Tahmin Edilen Su Miktarları.	84
Tablo 4.18	Türkiye’de Mevcut Kurumsal Yapı	85
Tablo 5.1	Parametrelerin SKKY TUT III. Sınıftan Yüksek Olma Yüzdeleri	88

Tablo 5.2	Aritma Tesislerinin Aritma Kademeleri.....	89
Tablo 5.3	Seçilen Aritma Tesislerin Ulusal Sulama Suyu Kriterlerine Göre Kirlenici Giderim Verimleri ve Yeniden Kullanımının Değerlendirilmesi	92

SEKIL LISTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Sekil 1.1 : Su Kaynakları Potansiyeli.....	5
Sekil 1.2 : Yıllara Göre Kisi Basına Düşen Su Miktarı.....	6
Sekil 1.3 : Türkiye’de Toprak Kullanımı.....	8
Sekil 1.4 : Türkiye’de Arazinin Kullanış Biçimine Göre Dağılımı, 2001.....	8
Sekil 2.1 : Kanal Sulama.....	12
Sekil 2.2 : Tava Sulama Sistemi.....	12
Sekil 2.3 : Yağmurlama Sulama Sistemi	14
Sekil 2.4 : Sprinkler Sulama Sistemi.....	16
Sekil 2.5 : Bublörler Sulama Sistemi.....	18
Sekil 2.6 : Damlama Sulama Sistemi.....	18
Sekil 2.7 : Tuz Gölü Çevresine Özgü Lokal Endemik Tür Olan Tuzcul Kantaron Bitkisi	32
Sekil 2.8 : Bor’un Bitkiler Üzerinde Olusturduğu Toksik Etki.....	33
Sekil 3.1 : Sektörlere Göre Su Tüketim Miktarları.....	38
Sekil 4.1 : Yüksek Sodyumlu Topraklar	48
Sekil 4.2 : Atıksu ile Ortama Geçen Organizmaların Hayatta Kalma Süreleri	53
Sekil 4.3 : Florida’da 1986’dan Beri günde milyon galon Arıtılmış Su Kapasitesi Artışı	58
Sekil 4.4 : Su Kullanım Oranları	60
Sekil 4.5 : Avrupa Ülkelerinde Su Kullanım Oranları	73

SEMBOL LİSTESİ

P_I	: İçme suyundaki patojenlerin yenmesi sonucu bulasma riski
N	: Yenen Patojenlerin Sayısı
N_{50}	: Maruz kalan nüfusun %50' sine bulasan patojen sayısı
a	: N_{50} ve P_I arasındaki oranın eğim parametresi
P_D	: Patojenin bulastığı insanın hasta olma riski
$P_{D:I}$: Patojenin bulastığı insanın klinik salgın oluşturma olasılığı
A	: Yumurta miktarının azalma oranı
T	: Bekletme Süresi

ÖZET

Bu çalışmada, arıtılmış evsel atıksuların tarımda sulama amaçlı yeniden kullanımı incelenmiştir. Dünya’da ve Türkiye’de giderek artan su sıkıntısı ile birlikte alternatif su arayışları sonucu yeniden kullanım önem kazanmıştır. Bu bağlamda Dünya’daki örnek çalışmalar incelenmiş; Türkiye’de seçilen örnek tesislerin yeniden kullanım açısından uygunluğu tartışilmiştir. Dünya’da yeniden kullanım konusu geçtiğinde öncelikli olarak adi geçen ülkeler ve buralardaki uygulamalar, rehberlere ve standartlara genel bakış, Türkiye’de SKKY Teknik Usuller Tebliği’nde belirtilen tablolar incelenmiştir. MEDA projesi kapsamında 2003 yılı itibarı ile belediyelere ait 129 kentsel atıksu arıtma tesisi incelenmiş; bu tesislerden 25 tanesi seçilerek Türkiye’nin yeniden kullanım potansiyeli değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda Türkiye için önemli arıtma parametreleri, sulamada dikkat edilmesi gereken hususlar, sulama suyunun uygulama çeşitleri, bu konuda gelişmiş ülkelerdeki yaklaşımlar ve Türkiye’nin bu konudaki yeri anlatılmıştır. Sonuç olarak neler yapılması gerektiği tartışilmiştir.

SUMMARY

In this study reusing of municipal treated wastewater in agriculture as irrigation water is studied. Reusing is becoming more important issue with the increasing water stress both in the world and in Turkey while looking for alternative water resources. Within this respect, the case studies in the world are studied; suitability of the selected plants in Turkey is discussed. When the reuse word is pronounced in the world, the leading countries and their experiences, guidelines, standards, Turkish WPCR Technical Bulletin and the tables are studied. Within the context of MEDA project, existing 129 municipal wastewater treatment plants during 2003 are studied and Turkey's reuse potential is tried to be determined by selecting 25 plants of the 129 plants. And then, the important treating parameters for Turkey, the issues that should be taken into consideration during the irrigation period, irrigation application types, and the approach of the leading countries and Turkey within this respect are studied. And finally kinds of things that should be done are discussed.

GIRIS

Dünya nüfusunun hizli bir sekilde büyümesi; su ve yiyecek saglama ihtiyaçlarini arttirmaktadır. Nüfus artisi, yüzey ve yeralti sularinin kirlilik içermesi, su kaynaklarinin düzgün dagitilamaması ve kuraklık; ülkeleri yeni su kaynaklari arayısına yönlctmektedir. Bu anlamda aritilmis atiksularin yeniden kullanimi giderek önem kazanmaktadır.

Sulama suyu ihtiyaci; toplam su tüketiminin oldukça yüksek bir oranini olusturmaktadır. Bu oran ülkeden ülkeye degismektedir. %30 ile %92 arasında degismektedir. Tarimsal sulama için kullanılan suyun bu kadar fazla olması aritilmis atiksularin tarimda sulama amaçli kullanilmasini önemli hale getirmektedir. Ancak atiksularin aritildikten sonra tarimda kullanilmasinin olumsuz etkilerini azaltmak, insan sagligini ve çevreyi korumak amacıyla dikkate alınması gereken pek çok konu bulunmaktadır. Bu da atiksularin tarimda kullanilması için bazı kalite parametrelerinin olusturulmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle pek çok ülke çeşitli standartlar ve yol gösterici kaynaklar hazirlama yoluna gitmektedir.

Bu çalışmanın amacı aritilmis evsel atiksularin tarimda sulama amaçli kullanilması için gerekli sulama suyu kalite parametrelerinin özellikle su kitligi çeken ülkeler basta olmak üzere Avrupa ve diğer dünya ülkelerindeki durumunu degerlendirmek; bu konuda kabul görmüş rehberleri ele alarak Türkiye'nin mevcut durumunu degerlendirmek ve karsilastirmaktır. Bu kapsamda 2003 yili itibari ile Türkiye'deki belediyelere ait 129 kentsel atiksu aritma tesisinden 25 tanesinin aritma tesisi çıkis sularinin Türkiye'de geçerli olan SKKY (Su Kirliligi Kontrol Yönetmeliği) Teknik Usuller Tebliği (TUT) Aritilmis Atiksularin Sulamada Kullanilması'na göre degerlendirilmesini yapmak ve Türkiye'nin aritilmis atiksular ile sulama yapabilme profilini incelemektir.

1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE SU

1.1 Dünya'da Su ve Sulama

Dünyadaki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km^3 'tür ($1 \text{ km}^3 = 1 \text{ milyar m}^3$). Bu suyun %97,5'i denizlerdeki ve okyanuslardaki tuzlu sulardan ibarettir. Geriye kalan sadece %2,5'lik kısım tatlı suları teşkil etmekte olup bunun çok az bir kısmının çeşitli maksatlar için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir [1].

Dünyadaki toplam suyun yılda yaklaşık 500.000 km^3 'ü denizlerde ve toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşmalar ile atmosfere geri dönmekte ve hidrolik çevrim içerisinde yağış olarak tekrar yeryüzüne düşmektedir [1].

Dünya yüzeyine yağışla düşen su miktarı yılda ortalama olarak 100.000 km^3 civarında olup, bunun 40.000 km^3 'ü akışa geçerek nehirler vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır. Bu miktarın 9.000 km^3 'ü ise teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir durumdadır [1]. Bunların dışında göllerdeki, toprak içinde absorbe haldeki, bitki bünyesinde tutulan su vb. vardır ki bunların yüzdeleri hakkında incelenen kaynaklar arasında bilgiye rastlanmadığı için bu bilgilere değinilememektedir. Dünyadaki toplam su miktarının yüzde olarak dağılımı Tablo 1.1'de gösterilmektedir.

Dünya nüfusunun halen 1/3'ü yeterli ve sağlıklı su kaynaklarına sahip bulunmamaktadır. Kullanılabilir suyun dengeli dağıldığını da söylemek mümkün değildir. Dünyada 1940 yılında toplam 1000 km^3 olan su tüketimi; 1960 yılında 2000 km^3 'e, 1990 yılında ise 4130 km^3 'e ulaşmıştır. 2000'li yılların başında bu tüketim 5162 km^3 'ü bulmuştur [1]. Tablo 1.2'den görülebileceği gibi 1940 ile 2000 yılları arasında nüfusun artması, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi, hızlı endüstrileşme gibi nedenlerle su tüketimi katlanarak artmıştır. 1990 ve 2000 yılları arasında su tüketiminin diğer yıllara oranla daha az arttığı gözlenmektedir. Bunun nedenlerinde endüstrilerde yeni teknolojilerin kullanılmasının özendirilmesi, tarımda yeni

teknolojilerin keşfedilmesi, su kaynaklarının korunması, tüketim için önlem alınması, çevre bilincinin ve yeniden kullanımın artması gibi faktörleri saymak mümkündür.

Tablo 1.1 Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi

	km ³	%
Dünyadaki Toplam Su Miktarı	1.4 Milyar	100
Denizler ve Okyanuslardaki Tuzlu Su Miktarı	1.365 Milyar	97,5
Tatlı Su Miktarı	0,035 Milyar	2,5
Yılda Buharlaşan Su Miktarı	500.000	0,036
Yılda Yağışla Düşen Su Miktarı	100.000	0,007
Nehirlerle Akışa Geçen Miktar	40.000	0,003
Teknik ve Ekonomik Kullanılabilir Su Miktarı	9.000	0,00064

Dünyada tüketilen suyun %73'ü sulamada kullanılmaktadır. 1990 yılı itibarı ile sulanan tarım alanlarının toplamı 240 milyon hektar iken bu miktarın yaklaşık yılda % 0,8 oranında artarak 2010 yılında 280 milyon hektara ulaşması beklenmektedir [1].

Tablo 1.2 Dünya'da Yıllara Göre Su Tüketim Miktarları

Yıl	Dünya'da Toplam Su Tüketimi (km ³)
1940	1000
1960	2000
1990	4130
2000	5162

1. 2 Türkiye'de Su ve Sulama

Ülkemiz; dünyanın yarı kurak bölgesinde yer almaktadır. Dünya yüzeyine düşen yağış, yılda ortalama 800 mm civarında iken; Türkiye'de yıllık ortalama yağış, 643 mm'dir. Bu değer yılda 501 milyar m³ suya tekabül etmektedir [1]. Bu suyun 274

milyar m³'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³'lük kısmi yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³'lük kısmi ise akısa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır [1]. DSI'den edinilen bilgiler incelendiğinde 274 milyar m³ su miktarı tamamen buharlaşarak geri dönmekte gibi bir anlam çıkmaktadır ki bunu kabul etmek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Çünkü bir miktar su toprak içinde absorbe olarak kalmaktadır. Bir miktar su ise bitkilerin büyümesi için gerekli suyu sağlamak üzere bitki bünyesinde tutulmaktadır. Bu nedenle bir miktar su yüzdesini de bu yüzdelerden ayrı tutarak çeşitli sular olarak ayırmak gerekmektedir. Ancak kaynaklarda bu su ayrı olarak belirtilmediği için bu konuda net bir rakam verilememektedir. Türkiye'de yağışla yeryüzüne düşen su miktarlarının yüzde olarak ifadesi ve dünyadaki toplam su miktarının yüzdesi Tablo 1.3'de gösterilmektedir.

Tablo 1.3 Türkiye'de Su Miktarları ve Dünya ile Kıyaslanması

Türkiye'de	Su Miktarı (km ³)	Türkiyede Yılda Düşen Su Miktarının (%)	Dünyadaki Toplam Su Miktarının (%0000)
Yılda Düşen Yağış Miktarı	501	100	357
Yılda Buharlaşan Su Miktarı	274	54,69	196
Yer altı Suyunu Besleyen Miktar	69 km ³	13,77	0,49
Nehirlerle Akısa Geçen Miktar	158 km ³	31,54	113
Çeşitli Yerlerdeki Su Miktarı (Göller, Denizler, Topraktaki Absorbe Su, Bitki bünyesindeki vb.)			

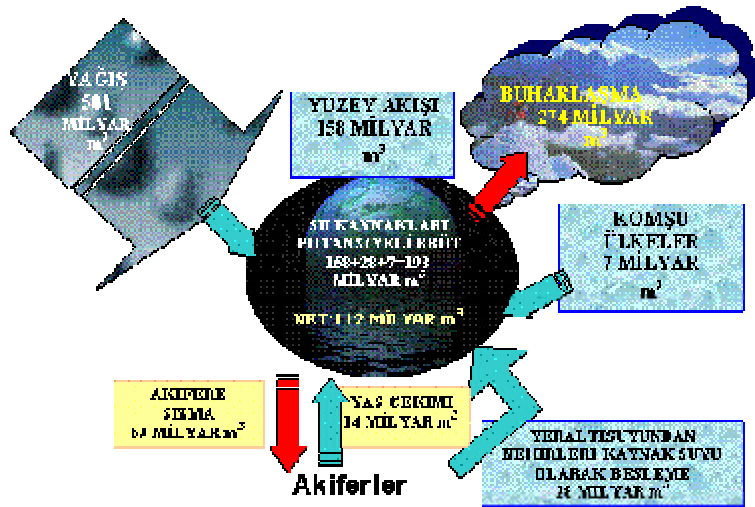
Günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, muhtelif gayelere yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m³ olmak üzere yılda 98 milyar m³ civarındadır. Yeraltı suyu potansiyeli ise yapılmış olan etütlere göre 12 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, günümüzdeki şartlar çerçevesinde

ülkemin tüketilebilir yüzey ve yeralti suyu potansiyeli yıllık toplami 110 milyar m³ olmaktadır [1]. Ülkemizdeki tüketilebilir su miktarlarının yüzdesi Tablo 1.4’de gösterilmektedir. Tablo oluşturulurken diger formdaki su için elde veri olmadigindan bu satir açilmis; ancak bos birakilmistir.

Tablo 1.4 Ülkemizde Tüketilebilir Su Potansiyeli Miktarlari ve Yüzdesi

	Milyar m ³	%
Toplam Tüketilebilir Su Miktari	110	100
Akarsulardan Gelen Tüketilebilir Su Miktari	98	89,09
Komsu Ülkelerden Gelen Su Miktari	3	2,72
Yeralti Suyu Miktari	12	10,91
Diger Formdaki Su Miktari (Göller, Denizler, Absorbe Haldeki Vs.)		

Ülkemizde basta DSI olmak üzere su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının 2002 yılı başı itibari ile geliştirdikleri projeler ile su tüketimi 40 milyar m³’e ulaşmış bulunmaktadır. Bunun 6 milyar m³’ünü yeralti suyu teskil etmektedir. Bu suyun 30 milyar m³’ü sulama, 5,8 milyar m³’ü içme-kullanma ve 4,2 milyar m³’ü de endüstri sektöründe tüketilmektedir [1].

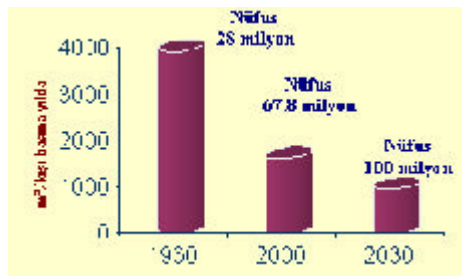


Sekil 1.1 Su Kaynaklari Potansiyeli [2]

Sekil 1.1’de Türkiye’deki Su Kaynaklarının Potansiyeli gösterilmektedir. Her iki kaynak da DSI’den alınmasına rağmen genel toplamda farklılık olduğu gözlenmektedir. [1] numaralı kaynaktan alınan bilgilerde net 110 milyar m³ suya sahip olduğumuz belirtilirken, [2] numaralı kaynak 112 milyar m³ suya sahip olduğumuz gösterilmektedir. Ancak 1 numaralı kaynak 2005 yılına ait olduğundan son verilerin dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Arada 2 milyar m³’lük bir fark olması, son yıllarda yağış miktarında düşüş gözlenmesinden kaynaklanıyor olabileceği izlenimini oluşturmaktadır.

Yıllık toplam su potansiyeli nüfusumuza bölündüğünde kişi başına yılda yaklaşık 1.600 m³ su düşmektedir [1]. 2000 yılı Genel Nüfus Sayımı Kesin Sonuçları’na göre Türkiye’nin toplam nüfusu 67.803.927’dir. 1927 yılında yaklaşık 13 milyon 600 bin olan nüfusumuz 73 yılda beş kat artış göstermiştir [3]. Bu nüfus sayımına göre kişi başına 1.622,3 m³ su düşmektedir.

2020 yılında nüfusumuzun 95 milyona ulaşacağı tahmininden hareketle kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 2020 yılında 1.150 m³/yıl olacağı söylenebilir [1]. Sekil 1.2’den de görüleceği üzere Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.000 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir [2]. 1960 ve 2000 yılları arasında kişi başına düşen su miktarında keskin bir düşüş olduğu gözlenmektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye’nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir [2].



Sekil 1.2 Yıllara Göre Kişi Başına Düşen Su Miktarı [2]

Dünyadaki bazı ülkelerde kişi başına düşen su miktarı Tablo 1.5’de gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere Malta’da kişi başına düşen su miktarı çok düşüktür. Verilen değerler arasında en yüksek değer Yunanistan’a aittir. Yunanistan’ın ardından sırayla Irak ve Türkiye gelmektedir. Ancak Yunanistan ile Türkiye arasında kişi başına düşen su miktarı açısından ciddi fark bulunmaktadır. Bu iki ülkenin birbirine bu kadar yakın olduğu düşünüldüğünde bu kadar ciddi farkın oluşması ilginç görünmektedir. Ancak bilindiği üzere Türkiye’nin nüfus sayısı Yunanistan’dan oldukça yüksektir. Ürdün, İsrail gibi ülkelerde kişi başına düşen su miktarı kurak iklim nedeniyle oldukça düşüktür. Bu nedenledir ki bu ülkeler; arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda öncü ülkelerdendir.

Tablo 1.5 1999 Yılında Dünyadaki Bazı Ülkelerde Kişi Başına Düşen Su Miktarı [4]

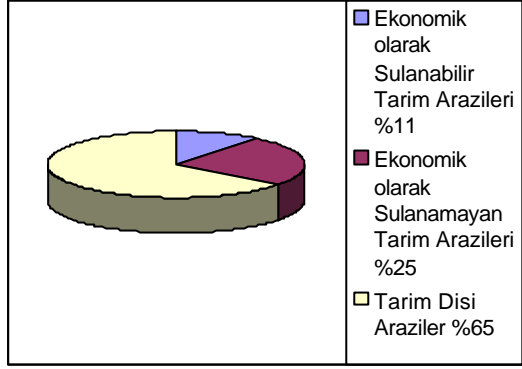
Ülkeler	Kişi başına Yılda Düşen Su Miktarları (m ³ /yıl)
Türkiye	1700
Yunanistan	5585
Mısır	930
Malta	79
Irak	2110
Suriye	1420
İsrail	300
Ürdün	250
Filistin	100
Tunus	410

1.3 Türkiye’de Tarım Arazileri ve Sulama

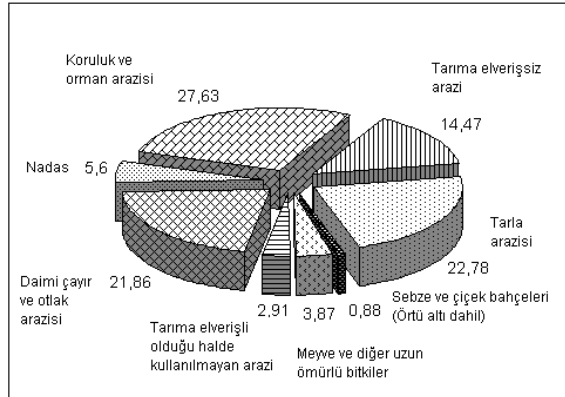
Türkiye’nin yüz ölçümü 78 milyon hektardır. Tarım arazileri bu alanın yaklaşık üçte biri, 28 milyon hektar kadardır. Ülke toprağının %11’i ekonomik olarak sulanabilecek tarım arazileri, sulanması ekonomik olmayan araziler %25, tarım dışı alanlar ise %65’ini (Şekil 1.3) oluşturmaktadır [1].

Şekil 1.4’den de görüleceği üzere Türkiye’de toplam 668.781.782 dekar arazinin %27,63’ü koruluk ve orman arazisi (fundalık ve makilik dahil), %22,78’i tarla arazisi, %21,86’si daimi çayır ve otlak (mera) arazisi, %14,47’si tarıma elverişsiz arazi (taslık, bataklık, çorak arazi, yerleşim arazisi, mezarlık, harman yeri vb. dahil), %5,60’i nadas arazisi, %3,87’si meyve ve diğer uzun ömürlü bitkiler için ayrılan arazi (kavaklık-söğütlik dahil), %2,91’i tarıma elverişli olduğu halde kullanılmayan arazi,

%0,88'i sebze ve çiçek bahçeleri arazisi (örtü altı dahil) şeklinde kullanılmaktadır. Arazi kullanım biçimi bölgelerin coğrafi özelliklerine göre büyük farklılık göstermektedir. Örneğin, Türkiye genelinde tarla arazisi toplam işlenen alanlarının %22,78'ini oluşturmakta iken bu oran %30,16 ile Marmara Bölgesinde en yüksek, %13,79 ile Karadeniz Bölgesinde en düşük seviyesindedir [5].



Sekil 1.3 Türkiye’de Toprak Kullanımı [1]



Sekil 1.4 Türkiye’de Arazinin Kullanış Biçimine Göre Dağılımı, 2001 (%) [5].

Türkiye’de 2004 yılı sonu itibari ile toplam 4,95 milyon hektar arazi sulanmaktadır. Bu miktarın 2,76 milyon hektarı DSI tarafından; 1,17 milyon hektarı ise KHGM* tarafından işletmeye açılmıştır. Ayrıca 1 milyon hektar ise çiftçilerin kendi imkanları ile halk sulaması ile sulanmaktadır [1].

* Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü 2005 yılında kapatılmıştır

2030 yılında ekonomik sulanabilir 8,5 milyon hektar arazinin 6,5 milyon hektarının DSI tarafından işletmeye alınacağı planlanmaktadır. Nihai durumda 110 milyar m³ su potansiyelinin % 65 i sulamalarda, %15 içme-kullanma suyu olarak % 20'sinin sanayinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılacağı planlanmaktadır.

Dünya'da toplam su tüketiminin yaklaşık %70-73'ü sulama suyu olarak kullanırken bu oran ülkemizde %65'i olarak verilmektedir [1].

Pek çok bilim adamı 2025 yılında tüm dünyada su krizinin yaşanacağını tahmin etmektedirler. Kurak bölgelerde ve ekonomik gelişimi tarıma dayalı ülkelerde suyun önemi artmaktadır. Bu nedenle yeniden kullanım giderek önem kazanmaktadır.

2. SULAMA

Bitkilerin büyümesi için yeterli miktarda su sağlanması gerekmektedir. Yağmur sularının yeterli olmadığı durumlarda bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için dışardan ek su verilmelidir. Bu olaya sulama adı verilir. Bitkilerin su ihtiyacını karşılamak üzere çeşitli sulama yöntemleri kullanılmaktadır. Her bir yöntemin kendine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Bu yüzden hangi durumda hangi sulama yönteminin seçileceğine karar verilirken bu avantaj ve dezavantajlar hesaba katılmalıdır.

Sulama sistemlerinin verimliliğini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bunların başlıcaları: Sulanacak arazinin düzgün olup olmaması, yetistirilecek ürünün cinsi, toprağın ve toprak altının fiziksel ve kimyasal özellikleri, sulama suyunun miktarı ve kalitesi, sulama bölgesindeki çiftçilerin sulama alışkanlıkları ve ekonomik durumları, sulama bölgesinin rüzgar -sıcaklık-oransal nem-don-yagis gibi egemen iklim şartlarıdır. Sulama verimliliği açısından bölgede sulama yapılmadan önce bu özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir.

Sulamada genellikle aşağıda verilen iki yöntem kullanılmaktadır: [6].

- Geleneksel Sulama Yöntemleri
- Kapalı borulu sulama sistemleri.

2.1 Geleneksel Sulama Yöntemleri

Geleneksel sulama sistemleri yüzey sulama sistemleri olarak da adlandırılır. Bu sistemler üç ana başlık altında incelenebilir.

- Salma sulama
- Karik sulama
- Tava sulama

2.1.1 Salma Sulama

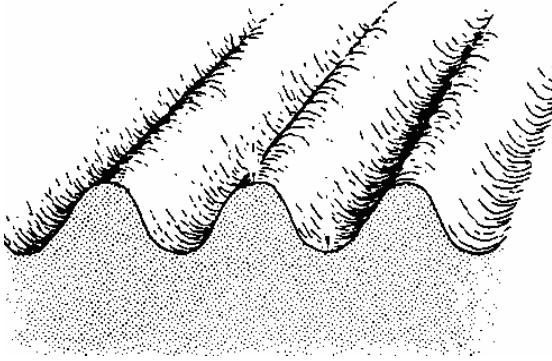
Bu sulama sisteminde su sulanacak arazinin basından araziye rastgele verilir. Bu nedenle bu sulama sistemine vahsi sulama da denir. Su toprak yüzeyinde ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitkilerin kök bölgesinde depolanır. Bu uygulama biçiminde arazi egiminin % 3'ü geçmemesi gerekir. Bu sulama yöntemi; sulama suyunun bol ve sulama kültürünün olmadığı yerlerde kullanılır. Bu yöntemde su kaybı oldukça yüksek ve sulama randımanı oldukça düşüktür. Ayrıca arazi yüzeyinde suyun dağılımı üniform olarak gerçekleşemez. Bu olay da erozyona neden olur [6].

2.1.2 Karik Sulama

Suyun küçük ve paralel kanallar vasıtasıyla arazinin egiminden yararlanılarak verilmesidir. Bu sulamaya karik sulama denir. Bu yöntemde bitki sıra aralarına küçük kanalcıklar açılır ve su bu karıklara verilir. Su, egim sayesinde bu kanallardan ilerlerken toprağın içine sızar ve bitkilerin kökleri sayesinde bitki bünyesine alınır. Bitkiler genellikle bu kanalların tümsek kısmında yetişirler. Kanal sulama diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha ucuz bir yöntemdir. Fakat kanalların suyun düzgün dağılımını sağlamak amacıyla dikkatlice kazılmalıdır.

Karik sulamada bitkiler kanalın tümsek kısmında yetistirildiğinden bitki kök bogazinin ıslatılması söz konusu değildir. Bu nedenle salma sulama ve tava sulamaya göre sulama randımanı, su tasarrufu ve bitki hastalıkları yönünden en uygun sulama yöntemidir. Ancak bu sulama yönteminin tuzlu topraklarda uygulanması son derece sakıncalıdır. Çünkü su karik içerisinde hareket ederken su kapilarite ile kariklerin tümsek kısmına doğru yükselir ve bitkinin kök bölgesinde tuz yoğunlaşması gözlenir. Bu da bitkilerin zarar görmesine neden olur.

Genellikle bütün sera bitkileri, sebzeler, meyve bahçeleri, bağlar, çilek ve benzeri bitkiler karık metoduyla sulanır. Çok hafif bünyeli topraklar dışında bütün sulanabilir topraklarda bu sistem uygulanabilir. Şekil 2.1’ de sulama kanalları gösterilmektedir.



Sekil 2.1 Kanal Sulama

2.1.3 Tava Sulama

Bu sulama yönteminde araziye birbirine paralel seddeler açılır ve sulanacak arazi toprak seddelerle çevrilerek eğimsiz alt parsellere ayrılır. Bu alt parsellere tava adı verilir. Kanaldan alınan su bu tavalara bir ya da birkaç yerden verilir. Genellikle sık ekilen hububat, yonca, yem bitkileri ve meyve bahçelerinin sulanmasında bu yöntem kullanılır. Bu yöntemde suyun tavada kısa sürede göllendirilmesi için 30 l/sn üzerinde debili su kaynağına ihtiyaç vardır. Ayrıca suyun çok fazla verilip derine sızmasını önlemek için kontrollü sulama yapılmalı ve drenaj tedbirleri de alınmalıdır. Bu yöntemin en olumsuz yanı su sarfiyatı ve sulama zamanının fazla olmasıdır. Şekil 2.2’de Tava Sulama Sistemi gösterilmektedir [6].



Sekil 2.2 Tava Sulama Sistemi [6]

2.2 Kapalı borulu sulama sistemleri

Kapalı borulu sulama sistemlerinde sulanacak arazilerde su dağıtımı kapalı borulu bir iletim sistemiyle yapılır. Bu sistemler basınçlı ve basınçsız borulu sulama sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1 Basınçsız borulu sulama sistemleri

Toprak altına gömülü, basıncı 0,8 atmosferden az olan sulama sistemleridir. Bu sistemlerde su dağıtımı basınçsız olarak priz veya vanalarla yapılır. Bu nedenle pratik açıdan ve kullanıcı yönünden klasik açık kanal sistemlerinden sistemden bir farkı yoktur. Tek fark iletim sisteminin kapalı olmasıdır. Bu nedenle su kaynagında sediment mevcutsa tesiste sediment çökmesine bağlı olarak daralma ve tıkanmalar gerçekleşebilmektedir. Ayrıca bitki köklerinin de boruya girerek tıkanma yapabileceği görülmektedir. Kapalı borulu sistemler gömülü olduğu için açık kanal sistemlerine göre tarım arazisinde kayıp olmamaktadır. İşletme ve bakım onarım giderleri düşüktür, otlama sorunu yoktur. Makineli tarım için daha elverişlidir. İnşaat süresi de çok daha kısa olup inşaat sırasında mevsimin yaz veya kış olması gibi kısıtlayıcı faktörler yoktur, her mevsim inşaat yapılabilir. İnşaat kalitesi yönünden düşünülürse boru, fittings vb. malzemeler fabrikada standart olarak imal edildiği için daha kalitelidir, yani inşaat unsurları fabrikadan itibaren kaynagında denetlenebilmektedir [6].

Kapalı basınçsız sulama sistemlerinin başlıca sakıncaları ise şunlardır: sistem unsurlarından olan, pompa bacası, saptırma, hava ve basınç düşürme bacası ve vanaları inşaatı, sebebeyle bağlantıları inşaat maliyetini artırmakta ve sızma yoluyla tesisin çalışmasında zorluklar yaratmaktadır. Sistem düşük basınçla çalıştığı için su hızı düşük olmakta buna bağlı olarak boru çapının daha büyük seçilme zorunluluğu nedeniyle yatırım masrafları artmaktadır.

Bu sulama şeklinde sulama karık veya tava şeklinde yapılacak için ilave yatırım olarak arazi tesviyesine gerek vardır. Aksi takdirde sulama suyu toprak erozyonuna neden olacaktır. Ayrıca su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda suyun karıkla ilerleyememesi sonucu sızma yoluyla büyük oranda su kaybı oluşur. Burada tabana sızan su da drenaj problemi yaratır [6].

Kapalı borulu sulama sistemleri basınçlı olmadığından ve gelişen yağmurlama, damlama vb. sulama teknikleri nedeniyle günümüzde çiftçi ihtiyaçlarına cevap verecek durumda değildir. Çiftçiler yağmurlama ve damla sulama için kanalet ve kapalı borulu sistemlerden motopomplar vasıtasıyla su almaktadırlar. Çiftçilerin tek tek motopomp kullanması yüksek enerji masrafları nedeniyle çiftçiler açısından büyük mali külfet ortaya çıkarmaktadır [6].

2.2.2 Basınçlı sulama sistemleri

Basınçlı sulama sistemleri başlıca dört ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; yağmurlama sulama, sprinkler sulama, bubler sulama, damlatmalı sulamadır.

2.3 Yağmurlama sulama

Yağmurlama sulama yönteminde arazi üzerine belirli aralıklarla yerleştirilen yağmurlama başlıklarından sulama suyu basınç altında havaya verilir. Buradan sulama suyu arazi yüzeyine düşer ve infiltrasyonla toprak içerisine girerek bitki kök bölgesinde depolanır. Bu uygulama biçimi doğal yağışa benzediği için yağmurlama yöntemi adını almıştır. Suyun başlıklardan basınç altında verilmesi için basınçlı bir boru sisteminin bulunması gerekmektedir. İşletme basıncı; pompa sistemi ile ya da yüksekte olan su kaynağının yerçekimi vasıtasıyla araziye verilmesi şeklinde sağlanır. Şekil 2.3'te yağmurlama sulama sistemi gösterilmektedir. Yağmurlama sisteminin birimleri; su kaynağı, basınçlandırma sistemi, boru hattı ve yağmurlama başlıkları olarak sayılabilir [6].



Şekil 2.3 Yağmurlama Sulama Sistemi [6]

2.3.1 Su kaynagi

Bu yöntemde akarsu, göl, kuyu, gölet, baraj, sulama kanali gibi her türlü su kaynagından yararlanilabilir. Suyun kalite açısından sulamaya uygun olması, fazla miktarda sediment ve yüzücü cisimler içermemesi gerekmektedir. Aksi takdirde bu maddeler boru hatlari ve basliklarda birikerek tikanmaya neden olabilir [6].

2.3.2 Basınçlandırma Sistemi

Yagmurlama sulama sistemlerinde gerekli basınç genellikle bir pompa sistemi ile saglanır. Statik emme yüksekliğinin fazla olmadığı kosullarda santrifüj tipi, derin kuyularda dikey milli kuyu pompalari yada dalgiç tip pompalar kullanilir. Pompalar dizel ile ya da elektrikle çalışabilirler. Isletme kolayligi, tesis maliyeti ve enerji girdilerinde sagladigi ekonomi nedeniyle genellikle elektrik motorlu pompalar tercih edilir [6].

2.3.3. Boru Hatti

Ana boru hatti kaynaktan alınan suyu lateral boru hatlarına iletir. Bu borular gömülü veya açıkta olabilir. Ancak arazide yer kaplamaması ve isletme kolayligi yönünden gömülü olması daha avantajlidir. Lateral boru hatlari üzerinde yagmurlama basligi bulunan hatlardır. Ana boru hattından aldıkları suyu yagmurlama basliklarına iletirler ve genellikle toprak yüzeyine döşenebildikleri gibi sabit sistemlerde toprak altına da döşenebilmektedirler [6].

2.3.4 Yagmurlama Basliklari

Bu basliklar lateral boru hatlari üzerinde yer alır. Lateral boru hatlari ile yagmurlama basliklari arasındaki baglanti bitki boyuna göre seçilen yükseltici borularla saglanır. Yagmurlama basliklari; dönüş hızlarına, isletme basınçlarına ve işlevlerine göre sınıflandırılabilir. Baslik dönme hizi dakikada 1 devirden az ise yavaş dönen, 1 devirden fazla ise hızlı dönen baslik adını alır. Uygulamada dönme hizi 0.8-1.2 d/d olan basliklar yaygındır. Aynı şekilde isletme basıncı 2 atmosferden az ise düşük basınçlı, 2-4 atmosfer ise orta basınçlı, 4 atmosferden fazla ise yüksek basınçlı baslik, 6-8 atmosfer basınçla çalışan sistemlere de jet tipi yagmurlama basligi

denmektedir. Yagmurlama basliklarini islevine göre, tarla ve bahçe tipi yagmurlama basliklari biçiminde siniflandirmak mümkündür [6].

2.4 Sprinkler Sulama

Meyve bahçelerinin ağaç altından sulanmasında özel olarak yapılmış küçük yagmurlama basliklari kullanılmaktadır. Bu sistemde her ağaç sirasina yüzeye serili bir PE (polietilen) lateral boru hattı döşenir ve her ağacın altına özel olarak yapılmış küçük bir yagmurlama basligi yerlestirilir. Sistem bütünüyle sabittir. Sulama sezonu sonunda toprak yüzeyine serili lateral boru hatlariyla yagmurlama basliklari da toplanir. Bu tip sistemlere ağaç altı mikro yagmurlama sistemi de denilmektedir. Bu sistemlerde isletme basinci 1-2 atmosfer kadardir. Bir yagmurlama basligi yaklaşık bir ağaç tacinin çapı kadar bir alanı ıslatır [6]. Sekil 2.4'te sprinkler sulama sistemi gösterilmektedir.



Sekil 2.4 Sprinkler Sulama Sistemi [6]

2.4.1 Sprinkler Sulama Sisteminin Avantajlari

Diger normal yagmurlama sistemlerinin avantajlarına ilave olarak; sprinkler sulamanın avantajları şu şekilde sayılabilir:

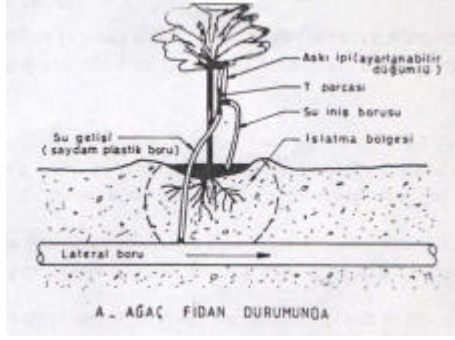
- Bütün su iletim sisteminin gömülü olması nedeniyle zirai faaliyetin engellenmemesi,
- Sistemin tümüden gömülü olması nedeniyle ömrünün uzun olması ve kemirgenlerden zarar görmemesi,
- Metodun ağaç kök gelişimine rahatça ayak uydurabilmesi,
- Normal yagmurlama sistemlerine göre ilk tesis giderlerinin daha az olması,

- Damla sulamaya göre meme delikleri daha büyük olduğu için daha geniş açıklıklı filtreden geçirilerek kullanılabilmesi,
- Damla sulama yöntemine göre daha fazla alan ıslatıldığı için ağacın kök yapısının doğal olarak yayılabilmesi,
- Normal yağmurlama sistemlerinde ağaç tacinin sulama sırasında ıslanması nedeniyle meyve ve yapraklarda mantari hastalıklar geliştiği için çoğu zaman kullanılmadığı halde mini sprinkin burada emniyetle kullanılabilmesidir [6].

2.5 Bublbers sulama

Bu sistemin esası ziraat alanını içinde düşük basınçta su ileten bir lateral boru ve buna bağlı 10-12 mm çapında saydam polietilen su dağıtım borularından ibarettir. Lateral borulardaki su basıncı 0.1-0.5 atmosfer civarında olup basınç ihtiyacı diğer sistemlere oranla oldukça düşüktür. Hatta tarla başında topografik koşullardan yararlanarak 6- 7 m yüksekte bir yere yapılan depo ile bile gerekli basınç sağlanabilir. Lateraller mini spring sulama tesisinin aynı şekilde toprağın 40-50 cm derinine gömülerek ağaç altında da her ağaca bir tane bağlanarak ağaç gövdesine bir T parçası eklenerek asılır. Ağaç henüz fidan durumunda iken çok yakına verilen su ağaç büyüdükçe gövdeden uzaklaştırılır ve sulama suyu ile kök bölgesinin çakışması sağlanır [6].

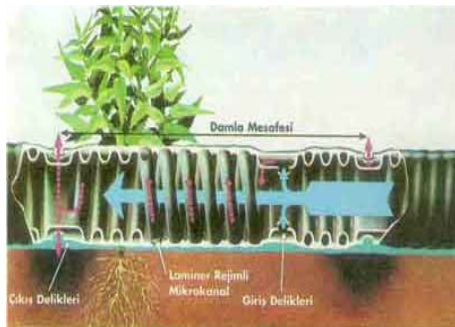
Bublbers sulama sistemi bağ ve meyve bahçeleri için uygun olup diğer tarla ziraatı için uygun değildir. Sulama ve ağaç altında yer açılması için işçilik gerekir. Ayrıca su verilen bölgede oluşan kaymak tabakasının kırılması için zaman zaman kaymak tabakasının kırılması işlemini yapmak gerekmektedir. Sistemin en önemli avantajı çok düşük işletme basıncıyla çalışabilmesi, tikanabilecek ve asınabilecek herhangi bir parçasının bulunmaması, diğer bir deyişle son derece basit ve fonksiyonel olmasıdır. Sistemin tek sakıncalı yani az da olsa el ile toprak işçiliği gerektirmesidir. Ancak mevsim başında bağ ve meyveliklerde dip çapısı yapıldığından bu da ihmal edilebilir bir konudur [6]. Şekil 2.5'te Bublbers Sulama Sistemi gösterilmektedir.



Sekil 2.5 Bublens Sulama Sistemi [6]

2.6 Damlama Sulama

Damlama sulama yönteminde temel ilke, bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim yaratmadan, her defasında az miktarda sulama suyunu sık aralıklarla yalnızca bitki köklerinin geliştiği ortama vermektir. Bu yöntemde bazen her gün, hatta günde birden fazla sulama yapılabilir. Damla sulama yönteminde arındırılmış su, basınçlı bir boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir ve damlatıcılardan düşük basınç altında toprak yüzeyine verilir. Su buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapillar kuvvetlerin etkisi ile bitki köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatır. Başka bir deyişle, bu yöntemde genellikle alanın tamamı ıslatılmaz. Bitki sırası boyunca ıslak bir serit elde edilir ve bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalır. Böylece, mevcut sulama suyundan en üst düzeyde yararlanılır. Damla sulama sistemi sabit sistem biçimindedir. Sistem unsurları, sulama mevsimi boyunca aynı konumda kalırlar. Ancak, sulama mevsimi sonunda bazı unsurlar araziden kaldırılır. Sekil 2.6'da Damlama Sulama Sistemi gösterilmektedir.



Sekil 6. Damlama Sulama Sistemi [6]

Bir damla sulama sistemi sirasiyla pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları, lateral boru hatları ve damlaticılardan oluşur.

2.6.1 Su kaynağı

Damla sulama yönteminde her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Ancak suyun fazla miktarda kum, sediment ve yüzücü cisim içermemesi gerekir. Ayrıca, fazla miktarda kalsiyum ve magnezyum bileşikleri ile demir bileşikleri içeren sular da damla sulama yöntemi için uygun değildir.

2.6.2 Pompa Birimi

Su kaynağının yeteri kadar yüksekte olmadığı koşullarda, gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanır. Su kaynağının tipine bağlı olarak santrifüj, derin kuyu yada dalgıç tipi pompalardan biri kullanılabilir. Pompanın elektrik motoru ile çalıştırılması tercih edilir.

2.6.3 Kontrol Birimi

Damla sulamada, suyun çok iyi süzüldükten sonra sisteme verilmesi gerekir. Aksi durumda damlaticıların tıkanması sorunuyla karşılaşılır. Bu işlem kontrol biriminde yapılır. Kontrol biriminde ayrıca, sisteme verilecek sulama suyunun basınç ve miktarı denetlenir ve bitki besin maddeleri sulama suyuna karıştırılır. Kontrol birimi genellikle ana boru hattının başlangıcına kurulur.

Kontrol biriminde; hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek filtre, basınç regülatörü, su ölçüm araçları, manometreler ve vanalar bulunur. Hidrosiklon, suda bulunabilecek kum parçacıklarının sisteme girmeden önce tutulduğu araçtır. Su hidrosiklonun üst kısmından çepere doğru girer ve çeper boyunca aşağıya doğru iner. Daha sonra su ortadan yukarıya doğru yükselir ve kum parçacıkları ağır olduğundan tabanda kalır. Kumdan arınan su hidrosiklonun üzerinden sisteme verilir. Tabanda biriken kum belirli aralıklarla temizlenir. Kum-çakıl, filtre tankında, sulama suyunda bulunabilecek sediment ve yüzücü cisimler tutulur. Su tanka üstten girer, kum ve çakıl katmanlarından geçtikten sonra tankın altından çıkar. Bu arada sediment ve yüzücü cisimler genellikle üst kesimde tutulur. Tankın tabanında, etrafı elek filtre ile sarılmış delikli boru bulunur. Burada amaç, tanktan su ile birlikte kumun çıkmasını

engellemektir. Kum-çakıl, filtre tankında ayrıca suyun alttan girişini ve üstteki vanadan çıkışını sağlayan geri yıkama borusu bulunur. Bu boru aracılığıyla, zaman zaman tankin üst kesiminde biriken sediment ve yüzücü cisimler yıkanarak tank temizlenir. Damla sulama sistemlerinde bitki besin maddeleri sulama suyuna karıştırılarak uygulanır. Bu amaçla sıvı gübre kullanılır. Sulanacak alanın büyüklüğüne göre hesaplanan sıvı gübre miktarı, kontrol birimindeki gübre tankinin içerisine konur. Gübre tanki ana boruya üzerinde vanalar bulunan hortumlarla iki noktadan bağlanır. Biri gübre tankine su girişi, diğeri ise su çıkışı içindir. Ana boru üzerine ayrıca, değinilen iki nokta arasında basınç farklılığı yaratmak amacıyla bir vana daha yerleştirilir. Gübre uygulanacağı zaman ana boru üzerindeki vana kısmen kapatılır, gübre tanki giriş ve çıkış vanaları açılır. Böylece, ana borudaki suyun bir kısmi gübre tankine girer, sıvı gübre ile karışır ve tekrar ana boruya döner [6].

Kontrol birimine, gübre tankinden sonra elek filtre yerleştirilir. Filtre genellikle silindirik biçimindedir. Tek yada iç içe geçmiş iki filtreden oluşabilir. Elek filtrelerin 80-200 mesh arasında olması önerilmektedir. Dis filtrenin elek numarası genellikle daha düşüktür. Elek filtre ile, kum-çakıl filtre tankında süzilemeyen sediment ve gübre tankinden gelebilecek gübre parçacıkları tutulur. Her sulamadan sonra elek filtreler sökülür ve yıkanarak temizlenir. Elek filtreden sonra, suyun boru hattında sabit basınç altında verilmesini sağlamak için bir basınç regülatörleri yerleştirilir. Basınç regülatörleri bazen manifold boru hattı girişine de yerleştirilebilir. Kontrol biriminde ayrıca, kum-çakıl filtre tankinin giriş ve çıkışı ile elek filtre girişindeki basıncın ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, üç yollu bir manometreden yararlanılır. Böylelikle, basınç farklılıklarından filtrelerin tıkanma derecesi saptanır ve gerekli zamanlarda filtreler temizlenir [6].

2.6.4 Ana Boru Hattı

Suyu kaynaktan manifold boru hatlarına iletir. Genellikle gömülüdür ve sert PVC borulardan oluşturulur. Küçük sistemlerde ana boru hattı toprak yüzeyine döşenebilir. Bu koşullarda sert PE borular kullanılır.

2.6.5 Manifold Boru Hattı

Suyu ana boru hattından laterallere iletir. Laterallerin doğrudan ana boru hattına bağlanması durumunda, su girişini denetlemek için her lateralın başına bir vananın yerleştirilmesi zorunluluğu vardır. Bu ise hem sistem maliyetini çok önemli boyutlarda artırır hem de sistemin işletilmesini güçleştirir. Bunun yerine, belirli sayıdaki lateral boru hattı manifold boru hattına bağlanır ve manifoldun ana boru hattıyla bağlantısı bir vana ile sağlanır. Manifold boru hattına bağlı laterallerin tümü bir işletme birimini oluşturur. Manifold başlangıcındaki vana açıldığında işletme birimindeki tüm laterallere aynı anda su verilmiş olur. Ana boru hatlarında olduğu gibi, manifold boru hatları da genellikle gömüldür ve sert PVC borulardan oluşturulur. Küçük sistemlerde manifold boru hatları bazen toprak yüzeyine serilir ve bu durumda PE borular kullanılır. Manifold boru hatları, tesviye eğrilerine paralel (egimsiz) ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Bayır yukarı eğimde döşemekten kesinlikle kaçınılmalıdır. Bu hatlar, ana boru hattına dik olabileceği gibi paralel de olabilir [6].

2.6.6 Lateral Boru Hatları

Üzerine damlatıcıların yerleştirildiği borulardan oluşur. Toprak yüzeyine serilir ve bu amaçla yumuşak PE borular kullanılır. Genellikle her bitki sırasına bir lateral döşenir. Bazen, her bitki sırasına iki lateral ya da iki bitki sırasına bir lateral yerleştirilebilmektedir. Lateral boru hatları da, manifold boru hatlarında olduğu gibi, tesviye eğrilerine paralel (egimsiz) ya da bayır aşağı eğimli döşenmelidir ve bayır yukarı döşemekten kaçınılmalıdır.

2.6.7 Damlatıcılar

Sistemin en önemli ve en dikkatle seçilmesi gereken elemanlarıdır. Lateral borulardaki basınçlı su damlatıcıya geçtikten sonra, damlatıcı içerisindeki akis yolu boyunca ilerlerken, suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde kırılır. Bunun sonucunda, su damlatıcıdan damlalar biçiminde çok küçük debi ile çıkar ve toprağa infiltre olur. Damlatıcılar genellikle lateral üzerine geçik (on-line) ve laterale boylamasına geçik (in-line) olmak üzere iki tipte yapılmaktadır. Lateral üzerine geçik damlatıcılarda, damlatıcı girişi lateral boyu içinde ve gövde borunun dışındadır. Bu

tip damlaticilar orifis girisli ve genellikle kısa akis yolludur. Suyun enerjisi, giristeki orifis ve akis yolu boyunca kirilir. Laterale boyuna geik damlaticilar da ya laterel boru damlaticinin iki ucuna baglanmakta ya da damlaticilar lateral boru içerisine sabit araliklarla ve boylamasina yerlestirilmektedir. Akis yolu genellikle uzundur. Su lateral boru çeperinden damlaticiya girmekte, uzun akis yolu boyunca enerjisi kirlenmekte ve lateral boru disindan ikmaktadir [6].

2.7 Basınçlı Sulama Sistemlerinin Avantajlari ve Dezavantajlari

2.7.1 Basınçlı Sulama Sistemlerinin Avantajlari

- Topografik yönden düzgün olmayan tarim alanlari tesviyeye gerek kalmadan bu yöntemle sulanabilir. Salma sulamaya bagli erozyon önlenir.
- Geirgenligi yüksek olan topraklarda karik akisina bagli su kaybina neden olmaksizin tm tarla alaninda ekonomik ve üniform olarak yüksek randimanla sulama yapilir.
- Taban suyunun yüksek oldugu yerlerde taban su seviyesini yükseltmeden sulama yapilir. Kanalet ve kapali borulu sistemlerde sulama yapmak için gerekli tarla içi hendeklere gerek kalmadigindan ekimalani artmakta sulama iiligi de azalmaktadır.
- Ticari gübreler sulama suyuyla sadece bitki kök bölgesine verilebilir, böylece gübre ve iilikten de tasarruf saglanir.
- Sistem gelismis damla ve Bublens sulama sistemine de uygundur. Bu sistemlerde bitki kök bölgesinde düsük gerilimle tutulan devamlı bir nem bulundugundan bitki suyu topraktan fazla bir enerji harcamaksizin alır. Bu da ürün artisi saglayan önemli bir faktördür.
- Tohum yataklarının hazirlanmasi, tohumların imlendirilmesi fide seyreltmesi için üniform ve yeterli toprak nemini kontrollü bir sekilde saglanabilir.
- Sulama suyu proje sahasina istenilen miktarda denetim altinda verilir. Gerekirse bireysel olarak kullanılan su sayaç takilarak net olarak saptanip miktarina göre

kullanım bedeli tahsil edilebilir. Tesisin kontrolü kolaylaşır. Ayrıca bu tür tesisler modern kullanma yöntemlerine açıktır [6].

2.7.2 Basınçlı Sulama Sistemlerinin Dezavantajları

- Sistemin birim alana düşen ilk yatırım bedeli diğer sistemlere göre yüksektir. Ancak aynı suyla daha fazla alanın sulanabilmesi, verim artışı, drenaj sorununu azaltması, tesviye yatırıma ihtiyaç duyulmaması, çiftçilerin gelir artışı fazla olan ürünlerin ekilmesine yönelmesi nedeniyle yatırım maliyeti farkı kısa sürede kendini amorti edecektir.
- Su kaynağı kötü sulanacak arazinin kotundan fazla olmayıp basınç pompajla sağlanıyorsa işletme gideri fazla olacaktır. Ancak getirisi yüksek olan ürün ekimlerinde bu sistem ekonomik olmaktadır. Bireysel çiftçi sulama sistemlerinde bu durum net olarak gözlemlenmektedir.
- Sulama yapılacak bölgede sulama esnasında kuvvetli rüzgarın olması, veya devamlı hakim rüzgarın olması su dağılımını olumsuz etkiler.
- Bazı bitkilerde yağmurlama sulama çiçeklenme döneminde tozlaşmayı olumsuz etkiler. Ayrıca mantari hastalıklara da yol açabilir. Burada uygun sulama zamanı ve uygun sulama yöntemi tüm bu sakıncaları ortadan kaldırmaktadır.
- Cazibeli basınçlı olarak çalışabilecek sulama tesisleri öncelikle ve mutlaka kapalı basınçlı olarak inşa edilmelidir.

Sonuç olarak basınçlı sulama sistemleri; sulanacak alana ilişkin iklim, toprak, tarımı yapılan bitki pateni, çiftçilerin alışkanlıkları, eğitim ve sosyal yapılarının dikkate alınmasıyla hazırlanacak kaliteli bir sulama projesi ve sonrasında tesiste iyi bir işletme anlayışıyla son derece başarılı bir şekilde çalışacaktır [6].

2.8 Toprak Özellikleri

Sulamada toprak özelliklerinin de iyi bilinmesi gerekmektedir. Toprağın özelliğine göre o yörede yetistirilecek bitki seçilir. Suyun ve toprağın uygunluğu sulamadaki en önemli parametrelerden biridir. Su ve toprak uyumlu değil ise sulama suyu toprağın

fiziksel, kimyasal özelliklerini bozabilir. Örneğin domates kumlu topraktan killi topraga kadar olan toprak yapisi araliginda toprak yeterli sulaniyor, iyi yapıya sahip ve iyi havalandirilmis ise verimli sekilde büyüyebilir. Toprak özelliklerinin belirlenmesinde önemli parametreler sunlardır:

- Toprak Tipi
- Topragin Yapisi
- Topragin Derinligi
- Topragin Geçirgenligi
- Alanin topografik özellikleri
- Egim

Topragin tipi; toprak partiküllerinin boyutu ve tipi ile tanımlanır. Bu partiküller mineral veya organik olabilir. Topragin tipi topraktaki kumun, kilin ve siltin yüzdesi ile belirlenir. Toprak yapisinin belirlenmesi, sulamada önemlidir. Toprak agregatlarının yapisi, topragin tarimdaki yerinin ve üretkenliginin belirlemesi açısından önemlidir. Çünkü toprak içinde havanın ve suyun dolasimi toprak yapisindan etkilenir. Agregatli ve gözenekli toprak suyun ve havanın kolaylıkla ulasilabilir olmasini saglar. Böylece bitkiler yeterli miktarda hava ve suya kökleri sayesinde ulasabilirler [7].

Tablo 2.1’de Türkiye’de Toprak çeşitleri ve bu toprakların çoraklık üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Türkiye’de kıyı ve allüviyal ovalar, Orta Anadolu Platosu toprakları çözünebilir tuz bakımından zengindir. Kıyı ovaları hidromorfik allüviyal topraklar olup, Orta Anadolu Platosunda eski depozitlerle kaplı geniş alanlar mevcuttur. Kurak bölgelerde tuzların araziden uzaklaştırılması işlemi yağışlı bölgelerdeki gibi olmaz. Tuzların araziden uzaklaştırılması lokal bir özelliktir. Çözünebilir tuzlar fazla uzaga tasınamaz. Çünkü böyle yörelerde yıllık yağış, gerek toplam miktar, gerekse yıl içerisinde dağılımı nedeniyle toprak içerisindeki tuzların yıkanmasına ve topraklardan uzaklaştırılmasına yeterli değildir. Ayrıca iklimsel özelliklerden dolayı fazla buharlaşma ve bitkilerden olan terleme, tuzların toprakta ve toprak yüzeyinde yoğunlaşmasına neden olur [8].

Tablo 2.1 Türkiye’de Toprak Çesitleri ve Çorak Toprakların Belirgin Özellikleri [8]

Toprak Çesitleri	Dogal Olusum	Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler	Bitkilere Etkisi
TUZLU TOPRAKLAR	Kurak ve yari kurak bölgelerde bulunurlar. genelde deniz suyunun etkisinde ve göl alanlarında olusurlar.	Tuzlar, killerin yumaklas masini ve topragin stabil bir yapida olmasini saglar. Hava ve su geçirgenligi ile diger özellikleri normal topraklara benzer.	Sodyum, kalsiyum ve magnezyumun klorür ve sülfatlardan olusan nötral çözünebilir tuzlari hakimdir. pH’i 8.2’den azdir. EC iletkenlik; 4 dS/m’den yüksektir.	Tuzların toprak çözeltilisinin osmotik basincini artirarak suyun faydalanilisini azaltir. Na, Cl, B vb. gibi özel iyonların toksikligi ile etkiler.
ALKALI TOPRAKLAR	Yari kurak ve yari yagisli bölgelerde buharlasma ile toprak çözeltilisinde sodyumun artmasiyla ve etkili bir yikanmanın pes pese devam etmesiyle olusur.	Killerin dispers olması nedeniyle yapı bozuktur. Yetersiz drenaja sahiptirler. Genelde balçiklasir. Islakken yagli ve yapiskan, kuruyken sertleserek çatlaklar olusturur.	Alkali hidrolizine yol açan Na ₂ CO ₃ gibi tuzlar oldukça yogundur. 8.2’den yüksek pH alkaliligin kuvvetli bir göstergesidir. Degisebilir sodyum yüzdesi 15’den fazladir. EC 4 dS/m’den genellikle düşüktür.	Bozuk toprak yapisiyla, yüksek toprak pH’sinin bitki beslenmesinde düzensizliklere neden olmasıyla Na, CO ₃ , Mo, B vb. gibi özel iyonların toksik etkileriyle bitki gelişimini etkiler.
MAGNEZYUMLU TOPRAKLAR	Yari kurak ve yari kurak bölgelerde, serpantin, basalt ve dolomit gibi kayaçlar üzerinde, ana materyalin etkisiyle olusur.	Sodyumlu topraklarda görülen benzer fiziksel özelliklere sahiptir.	Toprak çözeltilisinde magnezyum hakim iyondur. Topragin pH degeri 9’a kadar yükselir.	Toprak çözeltilisinin osmotik basincini artirir, ayni osmotik basınçlı nötral tuzlardan daha toksik etki yaratir. Özel iyonların toksik etkileriyle bitki gelişimini etkiler. Ca eksikligi gibi.
JIPSLI TOPRAKLAR	Kurak ve yari kurak bölgelerde, jips içeren kayaçların etkisiyle olusur.	Kurak bölge topraklarında fazla miktarda jips olması toprakların çimentolamasina sebep olur.	Kalsiyum ve sülfat iyonları hakimdir. topragin pH degeri 5-8 arasındadır.	Kalsiyumun toksik etkisi görülür ve diger elementlerin alimi etkilenir.

Bitkilerin normal büyüme ve gelişmelerini önleyecek kadar sodyum bulunduran topraklara sodyumlu topraklar denir. Tablodan da görüleceği üzere bu topraklar uygun olmayan drenaj kosullarına sahiptirler. Toprak genellikle balçiklasir, geçirgenligi azalir. Islak olduklarında yagli bir görünüşte olup, yapiskan olmalarına karsilik kurudukları zaman çok sert bir durum alarak; çatlaklar ve kalın kabuklar meydana getirirler. Sodyumlu topraklar genellikle kurak ve yari kurak bölgelerde bulunurlar. Bu topraklarda hakim katyon sodyum, anyon ise klor, sülfat ve

bikarbonattir. Tuzlu topraklardan tuzların yıkanması ve buharlaşma nedeniyle toprak çözeltisi yoğunlaşır. Böylece toprak çözeltisinde hakim olan kalsiyum ve magnezyum tuzlarının çözünme sınırları aşılır ve bu tuzlar çökelirler. Toprak çözeltisinde sodyum miktarı artarken kalsiyum ve magnezyum miktarı ise azalır. Toprak çözeltisi içinde oransal olarak artan Na, toprak kolloidlerine bağlı bulunan kalsiyum ve magnezyumla yer değiştirir. Topraktaki değişebilir katyonlar arasında sodyum hakim duruma geçer. Böylece alkalizasyon olayı gelişmeye başlar. Sodyumun artmasıyla kil parçacıkları dispers olarak toprağın alt tabakalarına doğru taşınarak orada birikirler. Bu yüzden sodyumlu topraklarda üst toprağın kaba bünye ve gevrek yapıda olmasına karşılık, bunun altında killerin birikmesi sonucu toprakta prizmatik bir yapı gösteren geçirimsiz bir tabaka oluşur. Bitkilerin normal büyüme ve gelişmelerini engelleyecek miktarda hem tuz, hem de sodyum bulunduran topraklara tuzlu-sodyumlu, kültür bitkilerinin gelişmesini önleyecek miktarda tuz ve sodyumun yani sira bor da içeren topraklara tuzlu-sodyumlu ve borlu topraklar denilmektedir. Tuzlu ve sodyumlu topraklar tuzlulasma işlemlerinin beraberce oluşması sonucu meydana gelirler. Fazla tuzun bulunması durumunda toprak tanecikleri floküle olurlar. Fazla tuz nedeniyle özellikleri ve görünüşleri tuzlu topraklara benzer. Alt tabakalara doğru fazla tuzların yıkanması durumunda, toprak çözeltisindeki tuz yoğunluğu azalır ve bunun sonucunda değişebilir sodyum hidrolize olarak sodyum hidroksit oluşur. Sodyum hidroksit havadan absorbe edilen veya mikroorganizma faaliyetleri sonucunda açığa çıkan CO₂ ile tepkimeye girerek sodyum karbonata dönüşür. Bahsedilen işlemler sodyum karbonat birikimine neden olur. Sonuç olarak sodyum iyonunun artması ile toprak yüksek alkali reaksiyon gösterir. Yüksek alkali reaksiyon karşısında toprağın fiziksel yapısı bozulur [8].

Borlu topraklar genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde oluşmaktadır. Türkiye topraklarında bor dağılımı önemli değişiklik gösterir. Toprağın oluşumunda rol oynayan kireçtaşı, sel, kumtaşı ve buzul molozları bor içerirler. Bunun yanında volkanik bölgelerin sediment depozitlerinde de bor kaynaklarından biri olan borik asit toplanabilir. Topraktaki diğer bor kaynağı bitki ve hayvan artıklarıdır. Deniz suyu, toplam tuzlarının % 0.1'i kadar bora silikat içerir. En önemli bor içeren mineral turmalindir (%3-4 B). Asit sularda iyonize halde borik asit (H₃BO₃) olarak bulunurken pH'i 9.2'den yüksek olan sularda hem borik asit, hem de tetraborat iyonu BO₇ halinde bulunur. Sudaki metaborat (BO₂) formu, daha çok pH'nin 9.2'den

yüksek olduğu alkali ortamlarda oluşur. Borun birçok tuzu suda çözünebilir formdadır. Bu nedenle sulama sularıyla tarım arazilerine kolayca taşınabilirler. Borlu toprakların belirgin bir özelliği yoktur. Bu nedenle gözle seçilmeleri olanaklı değildir. Ancak çok küçük miktarlarda bor içeren topraklarda bile, bora duyarlı bitkiler zehirlenme belirtileri gösterebilir [8].

Toprakların magnezyum içerikleri genellikle %0.05 ile %0.5 arasında değişmektedir. Magnezyum killi topraklarda daha fazla bulunur. Bunun nedeni biotit, serpantin, hornblend ve olivin gibi nispeten kolayca asınabilen minerallerde magnezyumun bulunmasıdır. Ayrıca klorit, vermikülit, illit ve montmorillonit gibi ikincil kil mineralleri de magnezyum içerirler. Bazı topraklar magnezyum karbonat ya da dolomit olarak magnezyum içerirler. Kurak ve yarı kurak bölge topraklarında magnezyum sülfat olarak çok miktarda magnezyum bulunabilir. Topraklardaki magnezyum miktarı büyük ölçüde toprak tipine bağlıdır. Podzol ve lateritik topraklar gibi önemli ölçüde yıkanmış ve asınmış topraklarda genellikle magnezyum miktarı düşüktür. Diğer taraftan çöküntü alanlarında oluşmuş olan topraklar da yüksek miktarlarda magnezyum kapsarlar. Magnezyumlu topraklarda ana kayanın önemli rolü vardır. Genellikle bazalt, peridotite ve dolomit gibi magnezyumca zengin kayalar üzerinde oluşmuş topraklarda magnezyum miktarı önemli derecede yüksektir. Serpantin üzerinde oluşmuş topraklarda da magnezyum miktarı çok fazladır. Topraklardaki magnezyum; toprak minerallerinin yapısal bir elementi olarak magnezyum, kil mineralleri ve organik madde gibi toprak kolloidlerine bağlı değişebilir formdaki magnezyum ve suda çözünebilir formdaki magnezyum şeklinde üç gruba ayrılır. Bu üç form denge halindedir. Değişebilir magnezyum genellikle toplam magnezyumun yaklaşık % 5' i kadardır. Bu fraksiyon suda çözülebilir magnezyumla birlikte bitkilerin magnezyum ihtiyacının giderilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Değişebilir magnezyum normal olarak katyon değişim kapasitesinin % 4 ile % 20'sini oluşturur. Bu durumda magnezyum miktarı, kalsiyum miktarından düşük potasyum miktarından yüksektir. Değişebilir magnezyumu yüksek topraklar makro bitki besin maddeleri bakımından eksiklikler göstermekte, ayrıca fazla magnezyum, potasyum ve kalsiyum gibi diğer iyonların alimini etkileyerek bitkilerde beslenme açısından dengesizliklere yol açmaktadır. Değişim komplekslerinde bulunan fazla miktardaki magnezyum, toprakta fazla sodyumun neden olduğu etkilere benzer etkiler yapar. Topraklarda değişim kompleksleri üzerinde adsorbe

edilen magnezyumun yüksek düzeylerde olması toprak yapısının bozulmasına yol açar. Toprak yapısını kötüleştirerek fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerin bozulmasına neden olur. Mg:Ca oranının artması ile toprakların dispersiyonu artar ve su iletkenliği büyük ölçüde azalır. Sulama ya da yıkama suyunda Mg:Ca oranının artması, değişim kompleksi üzerinde sodyumu artırır ve sonuçta toprakta sodyumluluğa neden olur [8].

Toprağın derinliği; toprak maddelerinin kalınlığıdır. Toprağı oluşturan maddeler bitkilere ayakta kalabilmeleri için destek, su ve nütrient sağlarlar. Bu nedenle toprak derinliği düşük ise bitkilerin kökleri yeterince uzayamaz ve büyümeleri için gerekli suya ulaşamazlar. Bu durum bitkilerin daha sık sulanması ihtiyacını ortaya çıkarır. Toprağın geçirgenliği; toprağın şekli, gözenekliliği ve boyutundan etkilenir. Toprak geçirgenliği su infiltrasyon oranını etkiler.

Toprak altının fiziksel ve kimyasal özellikleri bitkilerin büyümesi etkileyen faktörlerdendir. Toprağın düşük sızdırması, anaerobik şartların oluşup oluşmaması, yüksek nem içeriği, gibi fiziksel özellikleri ve düşük pH (<5.5) toprak verimliliği, yüksek tuzluluk [2.5 decisiemens (dS)/m] gibi kimyasal özellikleri bitkilerin kökleri ile gerekli maddeleri bünyesine almasını etkileyen toprak altı özelliklerdir. Bitkilerin kökleri ile gerekli maddeleri almaları için gerekli şartlar uygun ise toprak altı su ve nütrient kaynağı olabilir. Mevcut toprak altı şartlarına bağlı olarak, toprak altını bitki kökleri açısından daha yaşanabilir bir yer haline dönüştürmek yarar sağlayacak önemli adımlardan biri olacaktır [7].

Eğim; genellikle yüzde ile ifade edilir. Sulamada eğim önemlidir çünkü drenaj, erozyon, bitki seçimi ve kullanılacak makinelerin seçilmesini etkiler.

Bitkilerin büyümesi çeşitli pH aralıklarında gerçekleşir. Örneğin domates en iyi pH 5.5–6.8 aralığında büyür. Optimum pH aralığı ise 6.0-6.5 aralığıdır. Eğer toprak suyu pH'ı 5.5 den aşağı düşerse, magnezyumun ulaşılabilirliği aniden düşer, alüminyum ve manganın ulaşılabilirliği ise önemli ölçüde artar. Bu değişiklikler toprak tipini ve toprağın organik madde içeriğini değiştirir [7].

Basta domates olmak üzere bitkilerin çoğu tuzluluğa karşı hassastır. Maksimum toprak elektriksel iletkenliği (tuzluluğu) ile ürün oluşma kaybı yüzdesi arasındaki ilişki aşağıda Tablo 2.2 de gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi elektriksel

iletkenlik arttikça yani tuzluluk arttikça bitkilerin mahsul vermesi, ürün oluşturma yüzdesi düsmektedir. Hatta tuzluluk arttikça ürün kaybı yüzde 50 gibi oldukça yüksek bir degere kadar bile ulaşabilmektedir. Bu nedenle tarımda bitki yetistiren tuzluluğa özel önem göstermek gerekmektedir.

Tablo 2.2 Elektriksel İletkenlik ve Ürün Olusma Kaybı Yüzdesi Arasındaki İlişki [7]

Elektriksel İletkenlik (dS/m)	Ürün Olusma Kaybı Yüzdesi (%)
1.7	0
2.3	10
3.4	25
5.0	50

Tablo 2.3 de elektriksel iletkenliğe göre toprakların tuzluluk dereceleri gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere elektriksel iletkenlik arttikça toprağın tuzluluk derecesi de artmaktadır.

Tablo 2.3 Toprakların Elektriksel İletkenlik (Ec) Degerlerine Göre Tuzluluk Derecesi [9]

Elektriksel iletkenlik (EC dS/m)	Tuzluluk derecesi	Bitki veya ürünün durumu
0-2	Tuzsuz	Tuz ve alkali bulunmayan topraklar. Pratik olarak hiçbir bitki tuzlar veya alkalilerden zarar görmezler.
2-4	Çok hafif derecede tuzlu	Tuz veya alkali tarafından çok hafif derecede etkilenmiş topraklar. Tuza çok hassas bitkiler etkilenebilir.
4-8	Orta derecede tuzlu	Tuz veya alkali tarafından az veya orta derecede etkilenmiş topraklar. Tuza duyarlı bitkilerin ürünü sınırlanmış, fakat tuza dayanıklı olanlar zarar görmemiş olabilir.
8-15	Yüksek derecede tuzlu	Tuz veya alkali tarafından yüksek derecede etkilenmiş topraklar. Ürün sınırlanmıştır. Hiçbir bitki iyi gelişmemektedir.
>15	Çok fazla tuzlu	Tuz veya alkali tarafından kuvvetle etkilenmiş topraklar. Ancak sınırlı sayıda bitkiler yaşamlarını sürdürebilirler.

2.9 Sulama Suyu Kalite Parametreleri

Sulama suyunun kalitesinin belirlenmesindeki en önemli parametreler şunlardır:

- Tuzluluk
- Su infiltrasyon oranı
- Spesifik iyon toksisitesi
- Çeşitli Parametreler

Sulama suyunun kalitesinin belirlenmesindeki çeşitli parametreler FAO tarafından 1985 yılında yayınlanmıştır. Bu parametreler Tablo 2.4'de gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi genel hatlarıyla tuzluluk ve sodyuma göre kriter oluşturulmuştur. Bunların yanı sıra sulama yöntemleri ile de çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Ancak bu rehber sulama suyu rehberleridir. Aritilmiş atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili sınırlamalar yer almamaktadır. Bu nedenle BOI, AKM gibi parametrelerle ilgili sınırlamaları da içermemektedir. Pek çok ülke kendi sulama kriterlerini belirlerken FAO'dan etkilenmişlerdir.

2.9.1 Tuzluluk

Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri tuzluluktur. Sulama suyu çok çeşitli doğal tuz içermektedir. Su; sulama yoluyla topraga verildiğinde bu tuzlar da topraga iletilir. Topraga geçen tuzlar toprak tabakasında birikir. Böylece toprakta biriken tuzlar bitkilerin topraktan su alması sırasında bitkilere ulaşır.

Yüksek oranda tuzlu sulama suyu bitkiler üzerinde toksik etki yapar. Toplam tuzluluk oranı yüksek olan topraklara tuzlu topraklar denir. Bu durum bitkilerin ihtiyaçları olan suyu yeterli miktarda bünyelerine almalarına engel olur. Suyun tuzluluğu genellikle elektriksel iletkenlik (EC) ya da toplam çözünmüş madde (TDS) parametreleri ile ölçülür.

Tablo 2.4 Sulama Amaçlı Su Kalite Rehberleri¹ [10]

Potansiyel Sulama Problemi		Birim	Kullanımda Kısıtlama Derecesi		
			Yok	Orta	Siki
Tuzluluk (bitkilerin suya ulaşabilirliğini etkiler) ²					
	EC_w	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(ya da)				
	TÇM	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltrasyon (Suyun toprak içine infiltrasyon oranını etkiler. EC _w ve SAR değerlerini birlikte kullanarak hesaplayın) ³					
SAR	= 0 – 3	ve EC_w =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	= 3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	= 6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	= 12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	= 20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Spesifik İyon Toksikitesi (hassas ürünleri etkiler)					
	Sodyum (Na)⁴	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	Yüzey sulama	Meq/L	< 3	> 3	
	Sprinkler sulama				
	Klorür (Cl)⁴	Meq/L	< 4	4 – 10	> 10
	Yüzey sulama	Meq/L	< 3	> 3	
	Sprinkler sulama				
	Bor (B)⁵	mg/L	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	Eser Elementler				
Çesitli Etkiler (Hassas ürünleri etkiler)					
	Nitrat Azotu(NO₃- N)⁶	mg/L	< 5	5 – 30	> 30
	Bikarbonat (HCO₃)				
	(Sadece Yukarıdan sprinkler)	Meq/L	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Aralık 6.5 – 8.4		

¹ Kaliforniya Üniversitesi Danışmanlar Komitesi'nden uyarlanmıştır, 1974.

² EC_w elektriksel iletkenlik anlamına gelir, su tuzluluğunun bir ölçüsüdür, 25°C de metrede deciSiemens (dS/m) ya da santimetrede millimho (mmho/cm) olarak ifade edilir. Her ikisi de esittir. TÇM Toplam Çözünmüş Katı Madde anlamına gelir ve litrede miligram (mg/L) olarak ifade edilir.

³ SAR Sodyum Adsorpsiyon Oranı anlamına gelir. SAR bazen RNA sembolü ile ifade edilir. Verilen SAR değerinde, suyun tuzluluğu arttıkça infiltrasyon oranı artar. Potansiyel infiltrasyon problemini EC_w nin modifiye edilmesi ile SAR değerinden hesaplayınız. Rhoades 1977, ve Oster ve Schroer 1979 'dan uyarlanmıştır.

Tuzlulugun bitkilere etkisi, bitkilerin duyarlıligina göre farklılık göstermektedir. Sekil 2.7’de Tuz Gölü çevresinde yetisebilen tuzcul Kantoron bitkisi gösterilmektedir. Sekilde gösterilen bitki özel olarak su verilerek yetistirilen bir bitki değildir ancak tuzluluğu çok yüksek olan yerlerde bile bitki yetisebileceğinin açıkça gözlenebilmesi açısından güzel bir örnektir.



Sekil 2.7 Tuz Gölü Çevresine Özgü Bir Tür Olan Tuzcul Kantoron Bitkisi [11].

2.9.2 Su Infiltrasyon Oranı

Suyun infiltrasyonu başka bir deyişle süzülmesi yada toprak içine geçme oranı, toprağın belirli zaman diliminde toprağa verilen sulama suyunun veya yağmur suyunun absorblanma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Infiltrasyon oranının düşmesi toprağa verilen suyun hızlıca toprak içine girememesi demektir ki bu durumda su toprak yüzeyinde birikir ve uzun süre toprak içine geçemez. Bu olay bitkilerin büyümeleri için gerekli suya ulaşamamaları anlamına gelir. Su infiltrasyon oranı toprağın tuzluluğundan, toprağın sodyum ve kalsiyum oranından etkilenir. Yüksek tuzluluk suyun infiltrasyon oranını artırır.

2.9.3 Spesifik İyon Toksisitesi

Topraktaki yada sudaki bazı iyonlar bitkiler tarafından bünyeye alınır ve burada birikirler. Bu birikme artarsa bitkiler zarar görür ve ürün oluşumu düşer. Toksisitenin derecesi bitkilerin duyarlılığına ve ne kadar alındığına bağlıdır. Toksisitede en önemli parametreler sodyum, klor iyonu ve bor miktarıdır. Bilindiği üzere Bor açısından Türkiye oldukça zengin bir ülkedir. Bu nedenle spesifik iyon toksisitesi açısından bor özel bir önem taşımaktadır. Sekil 2.8’de Bor’un bitkiler üzerinde oluşturduğu toksik etki gösterilmektedir. Sekilden de görüleceği üzere etki

yapraklarda beneklenme, yanma, sararma ve son olarak ölme şeklinde kendini göstermektedir. Türkiye bor açısından zengin bir ülke olmasına rağmen ilerdeki bölümlerde evsel arıtma tesislerinden çıkan atıksu analizlerinden elde edilen sonuçlar çerçevesinde bor açısından önemli bir problem ortaya çıkmadığı gözlenmiştir.



Sekil 2.8 Bor'un Bitkiler Üzerinde Olusturduğu Toksik Etki [11]

Tablo 2.5'de bitkilerin bora dirençleri gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere narenciye grubu ürünler bora karşı çok duyarlıdır. Pamuk ve kuskonmaz gibi bitkiler ise oldukça dayanıklıdır. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere eğer bir bölgede sulama suyunda fazla miktarda bor bulunuyorsa bu bölgede narenciye yetistirmektense, pamuk, domates gibi bitkileri yetistirmek daha doğru olacaktır. Sulama suyunda bor miktarı daha düşük ise marul, lahana gibi orta hassasiyette bitkilerin yetistirilmesi doğru bir yaklaşım olacaktır. Yani sulama suyunun kalite parametrelerine göre yetistirilecek bitki belirlenmelidir. Bor Türkiye'de bazı bölgelerde diğer yerlere göre daha bol miktarda bulunur. Tarım yapılırken sulama suyundaki borun yani sıra bölgede, toprakta bulunan bor da göz önünde bulundurulmalı ve buna göre yetistirilecek ürün cinsi belirlenmelidir.

Tablo 2.5 Bitkilerin Bora Karsi Dirençleri (Sulama Suyu) [12]

çok duyarli (<0.5 ppm)	duyarli (0.5-0.75ppm)	duyarli (0.75-1ppm)	orta duyarli (1-2 ppm)	orta dayanikli (2-4 ppm)	dayanikli (4-6 ppm)	çok dayanikli (6-15 ppm)
Limon Böğürtlen	Greyfurt Portakal Kayisi Seftali Visne Kiraz Erik Incir Üzüm Ceviz Karaceviz Nohut Sogan	Sarimsak Tatli patates Bugday Arpa Ayçiçeği Aci bakla Çilek Yerfistigi Armut Elma	Kirmizibiber Bezelye Havuç Turp Patates Hiyar	Marul Lahana Kereviz Salgam Yulaf Misir Dari Enginar Tütün Hardal Kabak Kavun Sarmasikgöl Zeytin Balkabagi	Sorgum Domates Yonca Bakla Maydanoz Kirmizipancar Sekerpancari H. pancari Hurma	Pamuk Kuskonmaz

3. YENİDEN KULLANIM

Kullanılmış atıksuların belli amaçlar ile, hedeflenen amaca uygun seviyeye kadar aritilip kullanılmasına “Yeniden Kullanım” adı verilir. Yeniden kullanım konusu incelendiğinde İngilizcede benzer anlam taşıyan pek çok kelime ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır: arıtmak, iyileştirmek, yeniden kullanılır hale getirmek vb.

Özellikle Amerika’da yeniden kullanım konusunda yapılan çalışmalarda iyileştirmek anlamına gelen “reclaim” kelimesi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada “treated”, “reclaimed” kelimeleri birbirine yakın anlam tasdiklarından “arıtılmış” olarak kullanılmaktadır.

“Suyun Geri Kazanımı”; Suyun İyileştirilmesi ya da yeniden kullanılması anlamına gelen bir kelimedir ve arıtma, depolama, dağıtma, atıksuyu kullanma gibi prosesleri içeren tüm bu kelimeleri aynı çatı altında birleştirir [13].

3.1 Yeniden Kullanım Alanları

Nüfusun yoğun olduğu yerlerde, kaliteli suyun kısıtlı olduğu ve kurak bölgelerde atıksu önemli bir su kaynağı olabilir. Atıksu arıtılarak sulamada yeniden kullanılabilir. Atıksuyun içilmek üzere arıtılması teknik açıdan mümkün olmakla birlikte her toplumun kabul edebildiği bir konu değildir.

Atıksuların endüstriyel proses suyu amaçlı kullanılması, tarımda sulama suyu amaçlı kullanılması ya da içme suyu amaçlı kullanılması teknik açıdan mümkündür. Tablo 3.1’de arıtılmış atıksuların kullanım alanları ve kullanım uygulamaları gösterilmektedir. Atıksuyun yeniden kullanılması şunları içerir:

- Kentsel
- Endüstriyel
- Çevre ve rekreasyon amaçlı
- Yeraltı Suyunun beslenmesi amaçlı
- İçme suyu kaynaklarının artırılması amaçlı
- Tarımsal [14].

3.1.1 Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım

Kentsel amaçlı yeniden kullanımda tuvaletlerdeki sifonlarda, yangın hatlarında vb. yerlerde aritilmiş atıksuların kullanılması amaçlanır.

3.1.2 Endüstriyel Amaçlı Yeniden Kullanım

Su kıtlığının ve nüfusun artması ile endüstriyel amaçlı yeniden kullanım çok önemli su sağlama yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Endüstriyel yeniden kullanım su proseslerde kullanılabilir: Soğutma kuleleri, radyoaktif atıkların seyreltilmesi, petrol rafinerileri, kimya fabrikaları, kazanlar ve metal fabrikaları.

3.1.3 Çevre ve Rekreasyon Amaçlı Yeniden Kullanım

Çevresel amaçlı yeniden kullanım sulak alanların restorasyon amaçlı kullanımın artırılması işlemlerini içerir. Rekreasyon amaçlı kullanımda aritilmiş atıksu golf sahalarında, yüzme alanlarında kullanılabilir.

3.1.4 Yeraltı Suyunun Beslenmesi Amaçlı Yeniden Kullanım

Aritilmiş atıksu yeraltı suyunun yeniden beslenmesi amacı ile kullanılabilir. Sulama da bu olaya katkıda bulunur.

Tablo 3.1 Artilmis Atiksu Kullanim Uygulamalari [15].

Yeniden Kullanim Alanı	Uygulamalar
Çevresel	Dere akımı düzenleme Bataklık ve sulak alanlar Rekreasyonel alanlar (parklar, göller) Balıkçılık ve su kültürü Kar yapma
Tarım ve Bahçe Sulama	Yem ve tohum mahsulleri Yenilebilir Mahsuller Temel besleme suyu Çim ve ormanlar Fidanlık Buzlanmaya karşı koruma
Yeraltı Suyu Resarji	İçilebilir akiferin resarji Tuzlu su girişi kontrolü Depolama
Kentsel	Yangından Korunma Tuvalet sifonu Sokak/Araba Yıkama Toz kontrolü İklimlendirme
Endüstriyel	Sogutma Kazan besleme İnsaat Proses Suyu Baca gazı temizleme
İçme Amaçlı	Direkt İçme İndirekt İçme

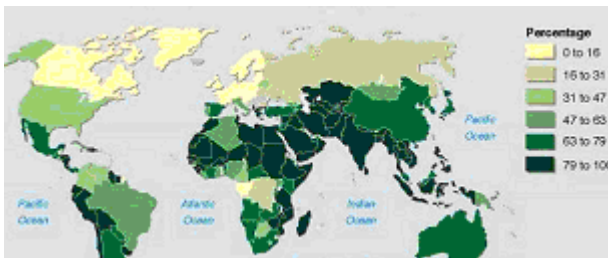
3.1.5 İçme Suyu Kaynaklarının Artırılması Amaçlı Yeniden Kullanım

İçme sularının artırılması için artilmis atiksular, yüzey suları ve yeraltı suları ile karıştırılır ve ilave bir aritim ile birlikte su dağıtım sistemlerine verilir.

3.1.6 Tarımsal Amaçlı Yeniden Kullanım

Tarımsal faaliyetler için yeniden kullanım su kaynakları yönetiminin bir başka yöntemidir. Arıtılmış atıksuların tarımdan yeniden kullanılmasının pek çok avantajı vardır. Öncelikle arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması üretimi artırır. Bunun nedeni arıtılmış atıksu bünyesinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu pek çok nütrientin bulunmasıdır. Böylelikle sulama sonrasında ilave nütrient ihtiyacı düşer. Bu da bitkilerin ürün oluşturma miktarının artmasını sağlar. Fakat bütün bunlar yapılırken sağlıkla ilgili pek çok konunun dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü atıksular nütrientlerin yanında pek çok sağlıklı bozucu mikroorganizmaları da bünyesinde bulundurmaktadır.

Tarımsal faaliyetler için kullanılması gereken su miktarı toplam temiz su tüketiminde büyük bir yüzdeye sahiptir. Yeraltı sularının tarımsal amaçlı pompa ile çekilmesi de dahil olmak üzere dünyada toplam su tüketiminin yaklaşık % 70'i sulama için kullanılmaktadır [16]. Görüldüğü üzere sulama için kullanılan su miktarının yüzdesi çeşitli kaynaklara göre farklılık göstermektedir. Bunun nedeni olarak incelenen ülkelerin farklılığı sayılabilir. Çünkü yağışı fazla olan, nemli yerlerde sulama ihtiyacı yüzdesi de düşmektedir. Şekil 3.1'de toplam su tüketiminin sektörlere göre dağılım miktarları gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde su tüketim miktarlarının yüzde kırkın üzerinde olduğu ülkelerin; sıcak ve kurak iklimin hakim olduğu ülkeler olduğu gözlenmektedir. Özellikle Afrika, Orta Asya, Güney Amerika ve Avrupa'da Akdeniz ülkeleri su tüketim miktarlarının oldukça yüksek olduğu yerlerdir. Bunun nedenleri kurak iklim, düşen yağış miktarının azlığı, yüksek buharlaşma oranları, tarımın yoğun olması olarak sayılabilir.



Şekil 3.1 Sektörlere Göre Su Tüketim Miktarları [16]

3.2 Yeniden Kullanım Amaçlı Atıksu Kaynakları

Aritilmiş atıksular çeşitli endüstrilerden ve evsel arıtma sonucu elde edilebilir. Aritilmiş atıksuların yeniden kullanılabilmesi için yeni bir toplama, arıtma ve dağıtma sistemi bulunmalıdır. Eğer merkezi bir arıtma sistemi var ise, atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan atıksular potansiyel yeniden kullanma suları kaynağı olarak düşünülebilir. Suların yeniden kullanılması için önceden düşünülmesi gereken konular: Konut alanları ve bunların baslıca atıkları, Endüstriyel alanlar ve baslıca atıkları, Atıksu arıtma tesisleri, Mevcut atıksu desarj yöntemleri, Gelistirilecek projenin alanı ve tipi, Aritilmiş atıksu kullanma potansiyelidir.

3.3 Kaynakların Karakterizasyonu

Atıksuların arıtılması ve yeniden kullanılması düşünüldüğünde çıkış parametrelerinin uygunluğu belirlenmelidir. Önemli faktörler şunlardır: Özel arıtma prosesleri ve arıtma seviyesi, Çıkış suyu kalitesi, Çıkış suyu miktarı (günlük, sezonluk, max. ve min. Debiler), Debiye endüstriyel atıksu katkısı, Sistemin güvenilirliği, İlave işlemler (depolama, pompalama, tasıma) vb [17].

3.3.1 Arıtma ve Proseslerin Derecesi

Atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan atıksuların yeniden kullanım amaçlı kullanılmasının uygunluğu belirlenirken bazı bilgilere ihtiyaç vardır. Önceden yeniden kullanım amaçlı tasarlanmamış ikincil arıtma yapan bir atıksu arıtma tesisi bazı yeni proseslerin ilavesi ve modifikasyon ile yeniden kullanım amaçlı kullanılabilir. Örneğin kimyasal ilavesi, filtrasyon ve diğer güvenilir bir dezenfeksiyon sistemi ile kısıtlamasız kentsel yeniden kullanım amaçlı kullanılabilir.

Bazı proseslerin tarımsal amaçlı yeniden kullanım amaçlı kullanılmasına gerek yoktur. Örneğin ileri arıtma yöntemi olan fosfor ve azot giderimi tarımsal amaçlı kullanım için gerekmemektedir. Çünkü azot ve fosfor tarımsal amaçlı sulamada bitki büyümesine yararlıdır. Böylece gerekli nütrientler sağlanmış olur [17].

3.3.2 ıkis Suyu Kalitesi

Aritilmis atiksularin desarjina izin verilebilmesi için bazi ıkis parametrelerinin örneklenip analiz edilmesi gerekmektedir. Bazi özel parametrelerin alici ortama desarjından önce test edilmesi gerekmektedir (BOI, AKM, Koliform, nütrient, bazi toksik organikler ve metaller). Bu bilgiler atiksuyun yeniden kullanım amaçlı kullanılmasında kaynak olarak düşünülmesinde önemli parametrelerdir. Örneğin sulama suyunda azot ve fosfor içeriği avantaj sağlar.

Yeniden kullanım amaçlı planlama yapılırken hangi suyun ne amaçlı kullanılacağı ve hangi kalitede olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Tarımsal amaçlı kullanılacak atiksuda yüksek seviyede eser elementlerin bulunması bu suyun kullanımını kısıtlar [17].

3.3.3 ıkis Suyu Miktarı

Atiksuların depolanması gerektiğinde sezonluk ve günlük debi miktarı önemlidir. Debi miktarı ve debideki dalgalanmalar suyun dengelemesi açısından önemlidir.

3.3.4 Endüstriyel Atıksu Katkisi

Endüstriyel atiksular, evsel atıksulardan farklılık gösterir. Endüstriyel atiksular yüksek derecede element ve bileşik ihtiva ederler ve bunlar hayvanlara ve bitkilere toksiktir ya da ters etki yaratırlar. Eger evsel atıksulara endüstriyel atıksular karışıyor ise bunun tarım amaçlı kullanılması kaliteyi etkileyebilir. Etkinin seviyesi elbette ki endüstriyel atıksuyun özelliklerine bağlıdır [17].

3.3.5 Sistemin Güvenilirliği

Aritilmis atıksuyun kullanılma performansında problem yaratan 2 faktör vardır. Bunlar;

- İşletme sırasındaki problemler, dizayndaki eksiklikler, mekanik aksaklıklar sonucu oluşan problemler,
- Giren atıksuların değişkenliği, işletme ve bakım sırasında oluşan aksaklıklar sonucu oluşan problemlerdir.

3.4 Atıksuların Yeniden Kullanımını Tesvik Eden Faktörler

Yüksek kalitede temiz su sağlanamaması ve yüksek maliyet, atıksuların arıtımında iyi kalitede çıkış suyu elde edilebilmesi, atıksu kullanımında yeniden kullanımın en verimli yöntem olması, planlama yapılırken uygulanacak yöntemler, yeniden kullanım projesi amacının belirlenmesi, bilgi toplama, pazar araştırması yapılması, potansiyel kullanıcının tanımlanması, potansiyel kullanıcıların su kalitesi, miktarı ve yasa gereksinimleri, alternatiflerin araştırılıp karşılaştırılması, alternatiflerin analiz edilmesi, teknik konuların incelenmesi, para konularının incelenmesi, çevresel ve sosyal analizlerin yapılması, rapor hazırlama ve planın yerine getirilmesi, arıtılmış atıksu pazar araştırması ve bilgi hazırlama, atıksu kalitesi ve miktarı, potansiyel kullanıcıların ve kullanım alanlarının envanterinin çıkarılması, sağlıkla ilgili gereksinimler, hastalık oluşumunun, su kalitesi problemlerinin (yeraltı suyunu korumak kısıtlamaların olduğu yerlerde) önlenmesi için düzenlemelerin yapılması, arıtılmış atıksuyun kullanımını sağlayacak potansiyel tarımsal kullanımların tanımlanması, ilerideki arıtma seviyelerinin kabulü ile gelecekteki ihtiyaçların belirlenmesi, gelecekteki su sağlama ile ilgili maliyetlerin tahmin edilmesi, kullanımına olan ilginin araştırılması, arıtılmış atıksuyun potansiyel kullanımı (ürün tipi gibi), simdiki ve gelecekteki miktarların belirlenmesi, zamanlama ve güvenilirlik ihtiyaçları, kalite gereksinimlerinin belirlenmesi, simdiki ihtiyacın arıtılmış atıksu ile karşılanması gibi faktörlere dikkat edilmelidir [17].

3.4.1 Alternatiflerin Analiz Edilmesi

Alternatiflerin analizinde teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal konuların değerlendirilmesi gibi faktörler yer almalıdır.

3.4.2 Teknik Faktörler

Alternatifin teknik analizi arıtma prosesleri gereksinimlerini, depolama ve dağıtım sistemlerini, bölgenin uygunluğunu, yeniden kullanılacak suyun miktarı gibi konular üzerine odaklanılmalıdır.

3.4.3 Ekonomik Faktörler

Ekonomik konular genellikle yeniden kullanım projesinin nasıl yapılacağı konusuna önem vermeme eğilimlidir. Bu faktörler 2 gruba ayrılır: Ekonomik analizler, finansal analizler. Ekonomik analizler, inşaat ve işletme konularına odaklanır. Diğer yandan finansal analizler malların ve servislerin satıstaki değerlerine ve taşınma konularına dayanır.

3.4.4 Ekonomik Analizler

Ekonomik analizler yeniden kullanım projesinin parasal terimlerini gösterir. Projenin yararları toplam maliyetten fazla olduğunda projenin uygulanması düşünülür. Eğer birkaç alternatif aynı hedefi sağlıyor ise, maksimum yarar sağlayan ve en ekonomik olan alternatif seçilir. Ekonomik analizler tüm toplam maliyetleri ve yararları içermelidir. Finansal analizler yeniden kullanım projesinin finansal olarak fizibil olup olmadığı konu ile ilgilendirir. Proje sponsorunun maliyetleri karşılamak için bir geliri olmalıdır.

3.4.5 Çevresel ve Sosyal Etkiler

Yeniden kullanımın planlanması aşamasında planlayıcının alternatifler arasında çevresel ve sosyal etkiler açısından önemli farklılık bulunup bulunmadığını değerlendirmesi gerekmektedir. Değerlendirmede inşaat ile ilgili işler ve uzun dönemdeki etkilerin araştırılması gerekmektedir. İnşaat ile ilgili konularda trafik, yangın ve acil durum, tıbbi yardım, gerekli servisler, gürültü ve toz, drenaj, hidroloji, okullar, iş yerleri, konut alanları, diğer ilgili konuların da inşaat sahasında bulunup bulunmadığı değerlendirilmelidir. Uzun dönem etkilerde enerji tüketimi ve saha (alan) kullanımı konuları değerlendirilmelidir [17].

3.4.6 Uygun Alternatifin Seçilmesi

Uygun alternatif seçilirken teknik, parasal ve çevresel konular da göz önünde bulundurulmalıdır. Kalite analizlerinin mi yoksa miktar analizlerinin mi kullanılacağına göre önerilen projenin yerine getirilmesi olasılığı en yüksek olan proje seçilmelidir.

3.4.7 Kurumsal Düzenlemeler

Kurumsal düzenlemeler proje sponsorunun sağlanması, diğer ajanslarla kontratların yapılması, izin belgelerinin hazırlanması işlerini içerir.

3.4.8 Proje Sponsoru

Finansal işlerden tasarımdan, inşaat işlerinden sorumlu olacak tek veya birkaç tane sponsor bulunmalıdır. Kullanıcıların arıtılmış atıksuyu almaları yeniden kullanım projelerindeki en önemli engeldir. Bu engeller kısaca şu şekilde sıralanabilir: Arıtılmış atıksu kullanımının potansiyel engelleri, Endüstriyel proseslerden kaynaklanan atıksuların kullanımında ve bitkiler üzerinde etkisine dair kullanıcıların endisesi, Güvenilir kalite ve miktarda olup olmayacağına dair kullanıcıların endiseleri, Taze su sağlamanın arıtılmış atıksuya göre daha ucuz olması, arıtılmış atıksu fiyatında anlaşmazlık, Kullanıcıların borulama ve bölgedeki su sistemi modifikasyonlarının ücretini ödemeyi istememeleri, Yerel sağlık bölümlerinin yeniden kullanım projesini onaylamamaları, Arıtılmış atıksu kullanıcılarından istenen koşullar, Kontrat süresi ve şartları bitirme için arıtılmış atıksu karakteristiği, kalitesi, kaynağı ve basıncı, debi değişimi ve miktarı, Hatalara yanlılıklara karşı güvenilirlik, Kullanıma başlangıç, Yeniden kullanım için özel alan ve şartlar, İşletme ve bakım sorumluluğu, İşletme planı oluşturma vb.

3.4.9 Servis Başvurusu

Arıtılmış atıksu kullanımının uygun olup olmadığı araştırılmalıdır. Kullanıcılar açısından yeniden kullanım uygun bir uygulama ise bir başvuru formu ile yeniden kullanım ajansına başvurulmalıdır. Arıtılmış atıksuların tarımda kullanılmasından önce cevaplandırılması gereken sorular şunlardır:

- Arıtılmış atıksuların tarımda sulama amaçlı kullanılması gerek tüketiciler gerek çiftçiler açısından sağlıklı midir?
- Virüsler toprakta ve bitki üzerinde hayatta kalıyor mu?
- Yenilebilir bitkiler üzerinde kadmiyum ve diğer eser elementler hangi seviyededir?
- Bakteriler toprakta ve bitki üzerinde hayatta kalıyor mu?

- Aritilmis atiksularin sulamada kullanilmasi toprakta agir metal ve tuz birikimi açisindan zararli oluyor mu? Toprak geçirgenligi zayıflıyor mu?
- Aritilmis atiksularin sulamada kullanilmasi ürün olusumunu, kalitesini ve büyümeı etkilıyor mu?
- Tüketiciler aritilmis atiksu ile sulanmis ürünü mü yoksa temiz su ile sulanmis ürünü mü almayı tercih edecekler?
- Aritilmis atiksu ile sulama ekonomik ve uygun mudur? Ve aritilmis atiksu ile sulamanin verimlilikı nedir? [17].

4. TARIMSAL AMAÇLI YENİDEN KULLANIM

Dünya nüfusunun artması ile birlikte su tüketimi ve buna paralel olarak oluşan atıksu miktarı artışı göstermektedir. Yeterli su kaynakları olmayan ülkelerde bu artış, su sıkıntısına neden olmaktadır. Bu sıkıntı, insanları yeni su kaynakları arayışına yönlendirmektedir.

Su sıkıntısı oluşturan başlıca iki sektörden biri tarım, diğeri ise endüstridir. Endüstriyel sektörde uygulanan yenilikler ile birlikte pek çok gelişme kaydedilmesine rağmen tarımsal faaliyetlerde su sıkıntısını azaltacak yeterli gelişme henüz kaydedilememiştir [18].

Binlerce yıldır insan atıklarının tarımda kullanılması bilinen bir uygulama olmuştur. Çok eski yıllarda insan dışkıları toprağın gübrelenmesi amacıyla Çin ve diğer Asya ülkelerinde kullanılmıştır. 16 ve 17. yüzyıllarda Almanya ve İngiltere’de bu atıkların arıtılması için bitki büyümesinde kullanılmıştır. Bu yöntem 1800’lü yıllarda tüm Avrupa’da, Kuzey Amerika, Avustralya’da atıksuların arıtılması için oldukça yaygın ve bilinen bir yöntem haline almıştır ve atıksuların tarımda kullanılması giderek benimsenen yöntemlerden biri haline gelmiştir [18].

1950’li yıllarda atıksular ile sulama yapılması oldukça dikkat çeken bir uygulama olmaya başlamıştır. Bunun nedenlerinden biri kentleşmenin hızlı şekilde büyümesi ve atıksulardaki kirliliğin dikkat çekici şekilde artmasıdır. Diğer bir neden ise pek çok şehirde sulama için gerekli temiz su kaynaklarının yetersiz olmasıdır. Bu faktörler ve sağlık risklerinin zamanla daha iyi anlaşılmasının ardından arıtılmış atıksu tarımda sulama amaçlı kullanılması gün geçtikçe artmıştır. [18].

Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanımı uygulaması özellikle su kıtlığı olan ülkelerde önemli bir su kaynağı yönetim biçimidir. Çünkü tüketilen suyun büyük bir kısmı sulama amaçlı çekilmektedir. Bu sayede sulama amaçlı çekilen temiz suyun miktarı azaltılabilir.

Atıksuların tarımsal faaliyetler için yeniden kullanılması ekonomik açıdan uygundur. Çevresel açıdan ise kullanımı oldukça güvenilirdir. Tarımda evsel atıksuların aritilerek yeniden kullanımının avantajlarından bazıları şunlardır:

- Toprağın su, nütrient, organik madde ihtiyacını karşılanması,
- Temiz suların korunmasını sağlanması,
- Atıksuların desarji için gerekli yatırımlarda ekonomik açıdan yararlı olması.

Ancak atıksuların yeniden kullanımındaki bes endise nedeniyle su kaynağı olarak düşünülmesinde halen zorluk çekilmektedir. Bu bes endise; kullanimdaki yararlar hakkında yeterli bilgi bulunmaması, sağlık riskleri bulundurma olasılığı, kültürel önyargıların bulunması, yeniden kullanım projelerinin ekonomik olup olmadığının tespitinde yeterli ölçüm yöntemlerinin bulunmaması ve kontrolsüz olarak yapılan uygulamalarda olumsuz deneyimlerin bulunmasıdır [18].

Su sıkıntısı çeken bölgelerde bu uygulamaların zorunlu hale gelmesi ile olası halk sağlığı riskleri de göz önünde bulundurulduğunda yeniden kullanım alanında çeşitli rehberlerin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir. Sonuç olarak, WHO, Dünya Bankası, EPA, UNDP gibi örgütler rehberler üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Bu konuda 1989 yılında WHO ilk rehberini oluşturmuştur.

4.1 Atıksuların Tarımda Yeniden Kullanılması Planlanırken Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler

Atıksuların tarımda yeniden kullanılması söz konusu olduğunda bazı dikkat edilmesi gereken konular ortaya çıkar ki bunlar kısaca sağlık konuları, zirai verimlilik, ekonomik açıdan uygunluk ve sosyokültürel faktörler olarak sayılabilir.

4.1.1 Su Kaynakları

4.1.1.1 Miktar

Toprağa düşen yağmurun mevsimsel olarak değişiklik göstermesi kurak bölgelerde su kaynakları yönetilirken dikkat edilmesi gereken bir konudur. Mevsimsel ihtiyaca göre programlama yapılmalıdır. Tarım en önemli su tüketen sektörlerden biri olduğu

için su kaynakları yönetilirken suyun miktarının mevsimsel olarak değişikliğine ve ihtiyaca göre planlama yapılmalıdır. Çünkü tarımda yeterli sulama bitkilerin büyümesi için gereken kritik faktörlerden biridir. Bu nedenle aritilmiş atıksuların tarımda yeniden kullanımı planlanırken kurak mevsimlerde yeterli miktarda sulama suyu ayırmaya önem gösterilmelidir.

4.1.1.2 Kalite

Su kaynakları yönetiminde su belli amaçlar için ayrılırken suyun miktarı kadar kalitesi de önemlidir. Hedeflenen amaç için yeterli kalitede ve yeterli miktarda su elde etmek ülkelerin su yönetim politikaları belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli konulardandır. Bu özellikle kurak ülkelerde çok büyük bir önem kazanır. Yeterli temiz su kaynağı olmayan ülkeler aritilmiş atıksuları istenen kalitede olmadığı zamanlarda temiz su ile aritilmiş atıksuyu karıştırarak istenen kalitede su elde etmeye çalışmaktadırlar. Böylelikle hem istenen kalitede hem de yeterli miktarda su elde etmektedirler. Aritilmiş atıksuların sulamadaki kalite parametreleri söz konusu olduğunda dikkat edilmesi gereken faktörleri ise kısaca tuzluluk, sodyum oranı, eser elementler, bakiye klor, nütrientler ve mikrobiyolojik sağlık riskleri olarak saymak mümkündür. Bakteriler konusunda aritilmiş atıksuların sulamada kullanılmasında dikkat edilecek en önemli parametreler toplam koliform ve fekal koliform miktarlarıdır. Ayrıca sulama suyunun kalitesi söz konusu olduğunda sprinkler sulama yönteminin kullanılması ile aritilmiş atıksuda bulunabilen mikroorganizmalar aerosoller vasıtasıyla bitkilere taşınır. Sulama yapılırken bu konuların da dikkate alınması gerekmektedir.

4.1.1.3 Tuzluluk

Tuzluluk daha önceden de belirtildiği üzere sulamada kullanıma uygunluğun belirlenmesindeki en önemli parametrelerdendir. Tuzluluğa karşı tolerans bitkiden bitkiye değişir. Tuz konsantrasyonu yüksek olan su ile sulama yapıldığında tuzlar toprakta birikip bitkilere zarar verebilir. Bu nedenle tuzluluğu yüksek olan su ile sulama yapılması söz konusu olduğunda tuzluluğa karşı toleransı yüksek bitkiler seçilmelidir. Tuzlulukta en önemli iyonlar sodyum, klorür ve bor iyonlarıdır. Tuzluluk arttıkça toprağın ozmotik potansiyeli düşer. Bu bitkilerin bünyelerine su alma oranlarını düşürür ve bunun sonucunda bitkiler bünyelerine yeterli su alabilmek

için büyük ölçüde enerji harcarlar. Su almak için fazla enerji harcayan bitkiler büyümek için gerek duydukları enerjiye yeterince sahip olamazlar. Bu durum kurak iklim şartlarında yeterli sulama suyu temin edilememesi ve bitkilerin su ihtiyaçlarının artması nedeniyle daha da zordur.

4.1.1.4 Sodyum İçeriği

Sulama suyundaki sodyum içeriği önemli bir parametredir. Çünkü yüksek seviyede sodyum ve düşük tuzluluk toprağın fiziksel şartlarının zayıflamasına neden olur. Bu da permeabiliteyi düşürür.

Topraktaki sodyumun etkisi SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) ile anlatılır. SAR değeri topraktaki sodyumun kalsiyuma oranıdır. SAR değerinin ölçümü ile sulama suyunun sulamaya uygunluğu belirlenir. Yüksek SAR değeri yüksek tuzluluğun işaretidir. Toprakta sodyumun kalsiyuma oranı 3:1 değerini aştığında toprak agregaları dağılma eğilimi gösterir. Toprak agregalarının dağılması ile toprak partikülleri giderek küçülür ve bu da toprak porlarının küçülmesine neden olur. Toprak porlarının küçülmesi sonucu toprak gözeneklerinde bitkilerin büyümesi için gerekli ve yeterli oranda su tutulamaz. Yani suyun infiltrasyon oranı düşer. Eğer sodyum konsantrasyonu yüksek arıtılmış atıksular ile sulama yapılması planlanıyor ise toprağın alkalinitesi ayarlanarak kalsiyum oranı dengelenmelidir. Şekil 4.1'de SAR oranının yüksek olduğu sodyumlu topraklarda, sodyumun toprağa olan etkisi gösterilmektedir [11]. Şekilden de görüleceği üzere sodyum oranının yüksek olduğu topraklarda toprak tanecikleri kuruyup, çatlayarak birbirinden ayrılma eğilimi göstermektedirler. Olusan bu yapı sonucu çamurlasan toprak sulansa dahi su üst yüzeyden alt kısma geçememektedir. Bu nedenle bitkilerin büyümesi için gerekli su toprağa geçemediğinden bitkilere ulaşmamakta ve ürün oluşumu düşmektedir.



Şekil 4.1 Yüksek Sodyumlu Topraklar [11].

4.1.1.5 Eser Elementler

Sulama suyunda eser elementler dikkat edilmesi gereken konulardandır. Eser elementlerden en önemlileri kadmiyum, bakır, molibden, nikel ve çinkodur. Eser elementler pH'i düşük topraklarda aktif ve toksik olduklarından düşük pH'li topraklarda eser elementlere özel önem gösterilmelidir.

4.1.1.6 Bakiye Klor

1 mg/L'den düşük serbest bakiye klor bitkiler için zararlı değildir, ancak hassas bitkiler 0.05 mg/L'den düşük seviyelerde bile zarar görebilir. Bazı bitkiler bünyelerinde kloru biriktirebilir ancak bu da sodyum gibi yaprakların yanmasına neden olur. 5 mg/L'den yüksek konsantrasyondaki klor çoğu bitkiye zarar verir.

4.1.1.7 Nütrientler

Sulamada bitki büyümesi açısından en önemli nütrientler azot, fosfor, potasyum, çinko, bor ve sülfürdür. Bu sayılanlardan bitki büyümesindeki en önemli rol azotundur. Bitkilerin büyümesi için sulama suyunda yeterli miktarda azot bulunmalıdır. Fakat asiri miktarda bulunması durumunda ise bitkilerin büyümesi ve olgunlaşması gecikir. Asiri miktarda fosfor bitkiler için olumsuz etki yaratmaz ancak yüzey sularına karışırsa olumsuz etki oluşturur [11].

4.1.1.8 Endokrin Bozucular

Son yıllarda arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı söz konusu olduğunda endokrin bozucular en dikkat çekici dezavantajlardan biri olarak sayılmaktadır. Endokrin bozucular atıksuda bulunan hormonlar vasıtasıyla alıcı ortama ulaşırlar. İnsanlar üzerine bilinen herhangi bir zararlı etkileri olmamalarına rağmen su ortamında yüksek konsantrasyonda bulunmaları dişi balık oranının artmasına neden olmaktadır.

4.1.2 Fayda – Maliyet Analizi

Aritilmiş atıksular ile sulama yapılması planlanırken bu konunun mali açıdan uygun olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu nedenle bu proje yapılmadan önce bir maliyet ve fayda analizi yapılır. Çünkü yeterli yağış alan ve temiz su kaynakları yeterli olan bölgelerde suyu arıtıp sonra sulamada kullanmak ekonomik açıdan uygun

olmayabilir. Böyle bir masraf gereksiz olabilir. Ancak su sikintisi çeken bölgelerde çok miktarda su gerektiren tarım için aritilmiş atıksu kullanılması daha uygun olur. Bu nedenle yeniden kullanım planlanırken bir maliyet analizi yapmak gerekir.

Shuval ve arkadaşları [19] risk değerlendirme ve maliyet analizi üzerine çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında WHO Rehberlerinde verilen değerler ve EPA tarafından verilen değer kıyaslanarak ekonomik olup olmadığı araştırılmıştır. WHO rehberinde verilen 1000 fekal koliform/100 mL atıksu ile USEPA rehberinde verilen sayılmayan yani mevcut olmayan fekal koliform/100 mL değerlerinin maliyet analizleri yapılmıştır. Bu çalışmaya göre WHO rehberinde belirtilen değeri yakalamak için gerekli aritma maliyeti konu (olay) başına 125 Amerikan Dolarıdır. Burada belirtilen konu (olay) çalışmada su şekilde açıklanmıştır: 1 milyon nüfuslu bir şehirde 4 hastalıktan birini önleme durumu (olayı) yani yılda 61 olay olarak ifade edilmektedir. Bu 4 hastalık unsuru ise hepatit A, rotavirüs bulması, kolera ve tifodur. Çalışmada USEPA rehberindeki değeri sağlamak için gerekli ek maliyet (WHO rehberindeki masrafin üzerine gelecek ek maliyet) yani atıksu aritimidaki yıllık harcama yaklaşık olay başına 450,000 Amerikan Doları'dır. Bu miktarda paraların gelişmekte olan ülkelere getireceği yük oldukça ağırdır. USEPA rehberinde belirtilen sıfır FC /100 mL bulunması, biyolojik oksijen ihtiyacının 10 mg/L'den esit veya küçük olması, kum filtrasyonu, kimyasal dezenfeksiyon gibi işlemler ve değerler ayrıca makalede de belirtildiği üzere siki bir mühendislik gerektirmektedir. Peki bu kadar siki bir rehber gerekli midir? Bu sorunun üzerine risk değerlendirme modelleri oluşturulmaya çalışılmıştır [20].

Shuval ve arkadaşlarının çalışmasında anlattığı risk değerlendirme modeli Haas ve arkadaşları tarafından 1993 yılında hazırlanmıştır. Bu modelleme metodunda olasılık hesabı yapılmaktadır. Bu modellemede verilen esitlik şu şekilde verilmektedir [20]:

$$P_I = 1 - [1 + N/N_{50} (2^{1/a} - 1)]^{-a} \quad (1)$$

P_I = İçme suyundaki patojenlerin yenmesi sonucu bulasma riski

N = Yenen Patojenlerin Sayısı

N_{50} = Maruz kalan nüfusun %50'sine bulasan patojen sayısı

a = N_{50} ve P_I arasındaki oranın eğim parametresi

Fakat bu formülün arkasından patojenleri yiyen herkesin hasta olmayacağı yüzünden bir tahmin yapılmaktadır ve buradan da diğer bir eşitlik oluşturulmaktadır.

$$P_D = P_{D:I} \times P_I \quad (2)$$

P_D = Patojenin bulduğu insanın hasta olma riski

$P_{D:I}$ = Patojenin bulduğu insanın klinik salgın oluşturma olasılığı

Bu tahminin doğruluğu da verilen iki örnek olay ile de kanıtlanmaya çalışılmaktadır. İki örnekten biri Jerusalem, İsrail’de; diğeri ise ABD’de Santiago’da görülmüştür. Rehberler kısaca Tablo 4.1 de şu şekilde kıyaslanmıştır [19].

Tablo 4.1 WHO ve EPA Rehberlerinin Getireceği Maliyetlerin Kıyaslanması [19]

		US \$
WHO Rehberi	1000 FC/100 mL (stabilizasyon havuzlarında)	0.125/m ³
	veya yıllık maliyet/kisi (tahmini tüketim/kisi) 100 m ³ /kisi/yıl	12.50/kisi
USEPA/USAID Rehberi	0 FC/100 mL	0.40/m ³
	veya yıllık maliyet/kisi (tahmini tüketim/kisi) 100 m ³ /kisi/yıl	40.00/kisi

4.1.3 Mikrobiyolojik Açıdan Sağlık Riskleri

Aritilmiş atıksuların tarımda yeniden kullanılmasını kısıtlayan en önemli etken, atıksu ile sulamanın sağlık sorunlarına neden olabileceği endişesidir. Atıksular genelde, patojenik mikroorganizmaları bünyelerinde ihtiva ederler. Çünkü modern arıtma yöntemleri (örneğin aktif çamur sistemi) patojenik mikroorganizmaların giderileceği düşünülerek dizayn edilmezler. Bu patojenik mikroorganizmalar ancak dezenfeksiyon ile giderilirler ki bu da gelişmekte olan ülkeler için ilave maliyet

anlamına gelir. Dezenfeksiyon yapılmayan atıksularda bakteri, protozoa, helmint, virüs gibi canlılar hayatta kalabilirler. Atıksuda bulunan patolojik canlılar ve hastalık oluşturma dereceleri Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Bu patojen canlılar atıksudan giderilmeden tarımda sulama maksatlı kullanıldıklarında yiyeceklerle insana bulularak hastalık meydana getirirler. Özellikle pismeden yenen yiyecekler bu açıdan büyük tehlike oluşturur. Ayrıca atıksu ile sulanan arazide çalışan işçiler de diğer arazilerde çalışan işçilere oranla daha fazla risk altında çalışmaktadırlar. Riskli bölgelerde çalışanlar dört grupta incelenebilir.

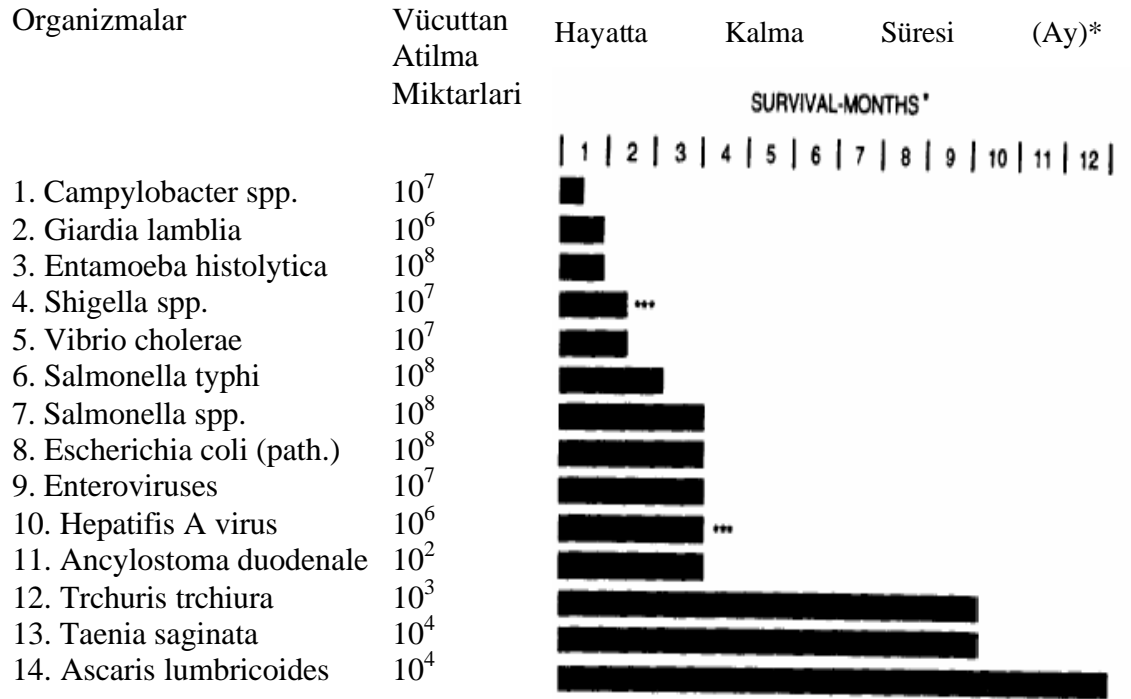
- Tarım arazisinde çalışan işçiler ve aileleri,
- Mahsul toplayıcılar
- Tüketiciler (mahsul, et ve süt)
- Atıksular ile sulama yapılan arazilerin çevresinde yaşayan insanlar

Tablo 4.2 Atıksu İle Sulama Yoluyla Gelen Patojenik Organizmaların Hastalık Oluşturma Etkileri ve Epidemiyolojik Özellikleri [15].

Patojen	Çevredeki Dayanıklılığı	Minimum Bulasıcı Doz	Bagisiklilik	Rastlantısal Bulasma 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
Protozoa	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

Tablo 4.2 incelendiğinde helmintlere ve protozoaya özel önem gösterilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Çünkü helmintler ortamda uzun süre hayatta kalabilirler. Protozoa çevrede kısa süre hayatta kalmasına rağmen düşük konsantrasyonlarda bile bulasıcılığı yüksektir. Aynı şekilde helmintler ve virüsler de düşük dozda

bulasicilikleri yüksektir. Helminthler disinda sayilan tüm patojenler insanlara evlerinde bulunabilen yiyecekler vasitasi ile bulasabilmektedir. Helminthler ise toprakla temas söz konusu oldugunda bulasiciligi yüksektir. Bu nedenle helminthlere tarim isçilerinin, çiftçilerin toprak ile birebir temasinda özel önem göstermek gerekmektedir. Çünkü helminthler toprakta gelisme göstermekte ve saklanmaktadirlar. Bu yüzden sulama kriterleri olusturulurken temas söz konusu oldugunda helminthler açısından sinirlamalar getirilmesi gerekmektedir. Revize edilen rehberlerde helminthlere yönelik sinirlamalar sikilastirilmistir. Bagisiklikleri kiyaslandiginda ise virüslerin bagisikliginin yüksek oldugu gözlenmektedir. Helminth ve protozoanın bagisikliklerinin düşük oldugu gözlenmektedir. Bu nedenle verimli bir aritma ile bu problemin asilabilecegi söylenebilir.



Sekil 4.2 Atıksu ile Ortama Geçen Organizmaların Hayatta Kalma Süreleri [15].

* 20 °30°C de bulasici evre tahmini ortalama yasam süresi

** Tipik ortalama organizma sayisi/gm diski

*** Yaklasik sekli

Sekil 4.2’de insanların metabolizmaları sonucu ortama atılan patojenler ve bu patojenlerin hayatta kalma süreleri gösterilmektedir. Sekil incelendiğinde Giardia, Salmonella, E.Coli, Vibrio kolera gibi patojenlerin vücuttan oldukça yüksek dozda ortama verildikleri gözlenmektedir. Buna rağmen hayatta kalma süreleri 12, 13 ve 14 numaralı patojenlere kıyasla daha düşüktür. Ancak bu patojenlerin de vücuttan atılma miktarları Shigella gibi patojenlere kıyasla oldukça düşüktür. Bu nedenle yeniden kullanım alanındaki ön plandaki ülkelerde Shigella, Salmonella, Giardia, Vibrio kolera gibi patojenlere karşı kısıtlama getirme eğilimi giderek artmaktadır.

4.1.3.1 Nematod Yumurtalarının Giderilmesi

Nematod yumurtalarının miktarı büyük ölçüde durultma işlemiyle azaltılır. Yumurtalar yavaş yavaş dibe çökeceği için, atıksuyun havuzda çok uzun süreyle bekletilmesi gerekir. Yumurta miktarının azalma oranı A, bekletme süresi t_s ile, aşağıdaki oranlarda bağlantılıdır.

$$A(\%) = 100 [1 - 0.41 \exp(0.0085T^2 - 0.49T)] \quad (3)$$

Görüldüğü gibi, 500 adet nematod yumurtasını litrede 1’den aza indirmek için genellikle en az 15 gün gerekmektedir. Bu sürede yumurta miktarı kontrol edilmelidir [21].

4.1.4 Toksikolojik Açısından Sağlık Riskleri

Evsel atıksular genellikle insan sağlığı açısından toksik seviyede kimyasal içermezler. Ancak evsel atıksulara endüstriyel atıksuların bulması söz konusu olduğunda toksik maddeler insanlara zarar veren seviyelere ulaşabilir. Toksik madde ihtiva eden atıksular ile sulama yapıldığında bu maddeler bitkiler vasıtasıyla besin zincirine katılıp insan bünyesinde birikebilirler. Örneğin Cd, evsel atıksularda toksik seviyede bulunmaz. Ancak bitkilerde birikerek insanlara ve hayvanlara zarar verici seviyelere ulaşabilir. Bitkilerde birikmeye benzer şekilde hayvanlarda biriken toksik maddeler de et veya sütün tüketilmesi vasıtasıyla besin zincirine katılarak insanlarda toksik seviyelere ulaşabilirler.

4.1.5 Sosyokültürel Konular

Yeniden kullanım ile ilgili bir projenin hayata geçirilmesinden önce sosyokültürel açıdan engellerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Öncelikle halkın çoğunluğunun atıksuların aritildikten sonra yeniden kullanılacağı fikrini kabul etmeleri gerekmektedir. Temiz kaynakların korunması bunun gerekliliğinin kabulü proje başlangıcında asılması gereken en önemli engellerden biridir. Halkın kabulü olmaksızın, uygulanamayacak bir proje için arıtma, tasfiye, ishale masrafları yapmanın uygun olmayacağı açıktır.

Halkın atıksuların aritildikten sonra yeniden kullanımı konusuna karşı yaklaşımı bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu konuda gelenekler, din ve tarımda uygulama yöntemlerine ön plana çıkmaktadır. Örneğin İslam Dini'ne mensup ülkelerde arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılması daha zor kabul gören bir konudur. Böyle olmasına rağmen kuraklık ve su kıtlığı nedeniyle Orta Doğu'da yer alan pek çok İslam ülkesinde sulama amaçlı yeniden kullanım oldukça yaygın bir yöntemdir. Hatta Ürdün yeniden kullanım konusunda öncü ülkeler arasında yer almaktadır.

4.1.6 Zirai Konular

Aritilmiş atıksuların tarımda yeniden kullanılmasının yararları öncelikle gerekli miktarda su elde edilmesi ve nütrient ihtiyacının karşılanması yönündedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde arıtılmış atıksular ile sulama yapılması tarımda üretimin önemli ölçüde artmasını sağlar.

4.2 Tarımda Yeniden Kullanım İle İlgili Kriter, Rehber ve Standartlar

Su kalite kriterleri genellikle suyun tasarlanan hedefe uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan bir dizi bilimsel dayanağı olan limitlerden ve/veya anlatımsal ifadelerden oluşmaktadır. Bunlar suyun kullanımındaki en uygun (en güvenli) şartları tanımlayan önerilerdir. Su kalite kriterleri bu önerilerin pratikte nasıl uygulanacağı konusunu dikkate almaz. Diğer taraftan su kalite standartları kabul edilebilir su kalitesi tanımı içeren (nümerik limitler formunda ve/veya anlatımsal tanımlar formunda); yasal olarak uygulanabilir yönetmeliklerdir ve su kalite hedefine ulaşmak için uygulama

plani içermelidirler. Standartlar su kalite kriterlerine dayanabilmelerine rağmen; su kalite kriterlerinin nümerik limitleri ve tanımları ile uyusmak zorunda değildirler. Çünkü bir su kalite standardı sağlanabilir olmalıdır. Kriterler ideal şartları tanımlamaktadır.

Kriter ve standartları formüle etmek için aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekmektedir:

- Hedeflerin Saptanması- önerilen kriterin (ya da yönetmeliğin) gayeleri tanımlanmalıdır.
- Varsayımların saptanması- Önerilen kriterin (ya da yönetmeliğin) uygulanma noktası ve etkili noktası belirlenmelidir.
- Yaklaşımların seçilmesi- Hedeflere ulaşılmadık stratejiler üzerinde karar verilmelidir.
- Son ürünlerin değerlendirilmesi- önerilerin pratik ve uygulanabilirliğinin hesaplanması gerekmektedir.
- Halkın kabulü konusunun gözden geçirilmesi- Önerilere halkın yaklaşımlarının kabul edilebilir olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir [22].

Tarımda yeniden kullanımın önemini anılması ve arıtılmı atıksuların tarımda yeniden kullanılmasının artması ile birlikte pek çok ülkede bu konuda uygulama yöntemlerine yönelik rehberler hazırlanmıştır. Bunlara örnek olarak FAO, WHO ve EPA gösterilebilir.

4.3 US EPA Rehberi (2004)

EPA 2004 yılı Aralık ayında yeniden kullanım üzerine hazırladığı rehberi güncellemiştir. Hazırlanan bu rehberin amacı, yeniden kullanım rehberini sunmak ve özetlemek, yeniden kullanım uygulama alanları ve faydaları ile ilgili yönetmelikleri düzenleyen kuruluslara bilgi desteği oluşturmaktır.

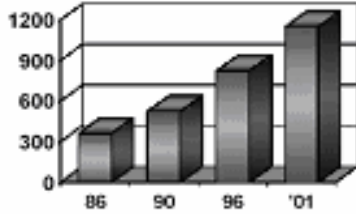
Bu rehberde suyun iyileştirilmesi ve içilemeyen suların yeniden kullanılması için tüm dünyada bilinen ve uygulanan geleneksel su ve atıksu arıtma teknolojilerine

ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Ancak, herhangi bir işlem görmeden tüketilen sebze ve meyelerin sulanması gibi halkı doğrudan etkileyen uygulamalarda estetik açıdan dikkat etmek gerektiği kadar sağlık açısından da dikkat etmenin ve bu nedenle daha yüksek kalitede arıtılmış su elde etmenin gerekliliği vurgulanmaktadır. EPA, 2004 de belirtildiği üzere dünyada çekilen toplam suyun %40'i tarımda kullanılmaktadır. Bu oranın azaltılması amacıyla arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılması uygulamasına gidilmiş ve Florida eyaletinde yeniden kullanım amacıyla arıtılan atıksuların yaklaşık %19'u tarımda kullanılmaktadır. Kaliforniya eyaletinde ise arıtılmış atıksuların yaklaşık %48'i sulama amaçlı kullanılmaktadır [15].

EPA, 2004 tarafından hazırlanan rehberlerde sulama suyundaki kalite parametreleri anlatılırken dikkat edilmesi gereken parametrelerin tuzluluk, sodyum, eser elementler, asiri bakiye klor, ve besinler olduğu anlatılmaktadır. Hazırlanan rehberde verilen öneriler Tablo 4.3'de verilmektedir. Birleşmiş Milletler-Çevre Koruma Ajansı suların yeniden kullanılmasına ilişkin hazırladığı rehberi 2004 yılında yeniden revize etmiştir. Rehberde Fekal ve Toplam Koliform parametreleri bulunmaktadır. Son hazırlanan rehberde göre Toplam Koliform parametresi Kaliforniya Standardında herhangi yenmeyen ürünler için 23/100 mL değerini aşmamalıdır. Florida Standardında ise Fekal Koliform miktarı 200/100 mL değerini aşmamalıdır. İkinci arıtmanın ardından filtrasyon ve dezenfeksiyon yapılmalıdır. Tablodan da görüleceği üzere ağır metaller sınırlamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Sınırlamalarda uzun dönemli ve kısa dönemli kullanıma ait sınırlama değerlerinin değiştiği gözlenmektedir. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı söz konusu olduğunda ise tuzluluk belirtisi olan TÇM ve Serbest Bakiye Klor Parametreleri dikkati çekmektedir. Ayrıca BOI, AKM ya da mikrobiyolojik parametreler yer almamaktadır. Bu parametreler eyalet bazında sınırlanmıştır. Farklı eyaletlerde farklı limitler yer almaktadır. Özellikle Kaliforniya ve Florida gibi eyaletlerde yeniden kullanım konusuna özel önem gösterildiğinden bu eyaletlerde sınırlamalar oldukça sıkıdır. Ayrıca gerekli arıtma yöntemleri açısından da eyaletler arasındaki limitler farklılık göstermektedir.

4.4 Florida Standardi (2004)

Florida 16 milyon nüfusu ile ABD'nin en yoğun dördüncü ve Kaliforniya'dan sonra aritilmiş atıksu kullanan ikinci büyük eyalettir. Aritilmiş atıksu kullanımı 1986'dan beri hızlı bir şekilde artmıştır (Şekil 4.3) [23].



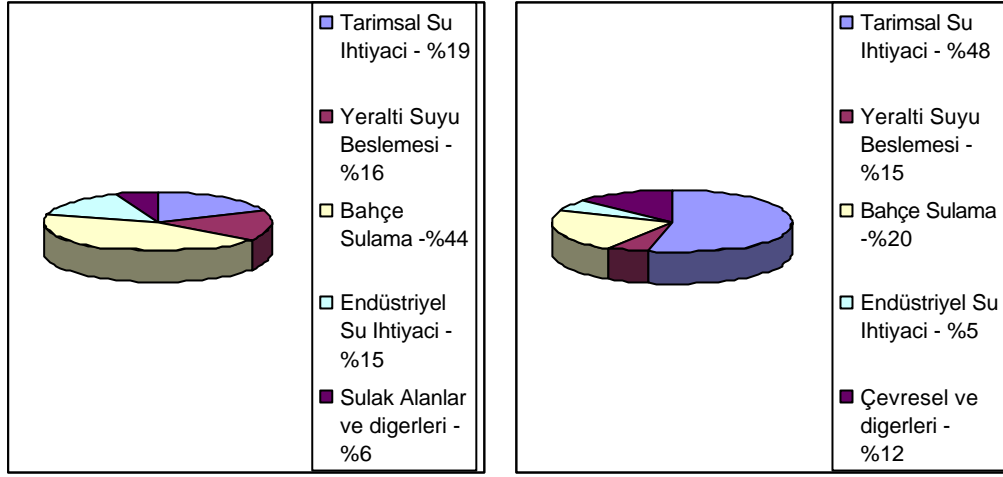
Şekil 4.3. Florida'da 1986'dan Beri Günde Milyon Galon Aritilmiş Su Kapasitesi Artışı [23]

Tablo 4.3 Sulamada Kullanılacak Aritilmiş Atıksu İçeriklerinin Limitleri [14]

Bileşen	Uzun Dönemli Kullanım (mg/L)	Kısa Dönemli Kullanım (mg/L)	Açıklamalar
Alüminyum	5.0	20	Asidik topraklarda üretkenliği etkileyebilir ancak pH 5.5 ile 8.0 arasında iyonlar toprakta çöker ve toksisite elimine olur.
Arsenik	0.10	2.0	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, Sudan otları için 12 mg/L pirinç için ise 0.05 mg/L'den azdır.
Berylium	0.10	0.5	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, kıvırcık lahana için 5 mg/L çalı fasulyesi için ise 0.5 mg/L kadardır.
Bor	0.75	2.0	Bitki büyümesi için önemlidir, nütrient olarak ondalıklı mg/L oranda optimum verim elde edilmiştir. Pek çok hassas bitkiye 1 mg/L de toksiktir (ör. Limon). Genellikle aritilmiş atıksuda topraktaki eksikliği karşılayacak miktarda bulunur. Otların çoğu nispeten 2.0 ila 10 mg/L kadar tolere edebilir.
Kadmiyum	0.01	0.05	Fasulyelere, pancarlara, salgamlara, nütrient solüsyonunda 0.1 mg/L kadar düşük konsantrasyonlarda bile toksiktir. Korumaya limitler önerilir.
Krom	0.1	1.0	Genellikle bitki büyümesi için gerekli olarak bilinmez. Bitkilere bilinen toksisitesi konusunda bilgi eksikliğinden koruyucu limitler önerilir.
Kobalt	0.05	5.0	Nütrient solüsyonunda Domatese 0.1 mg/L de toksiktir. Nötr ve alkali toprakta inaktif olmaya eğilimlidir.
Bakır	0.2	5.0	Nütrient solüsyonunda pek çok bitkiye 0.1 ila 1.0 mg/L arasında toksiktir.
Florür	1.0	15.0	Nötr ve alkali topraklarda inaktiftir.

Tablo 4.3 Devami

Bileşen	Uzun Dönemli Kullanım (mg/L)	Kısa Dönemli Kullanım (mg/L)	Açıklamalar
Demir	5.0	20.0	Havalandırılmış topraklarda bitkilere toksik değildir. Ancak toprağın asidifikasyonuna ve gerekli fosfor ve molibdenin kaybına katkıda bulunur.
Kursun	5.0	10.0	Yüksek konsantrasyonlarda bitki hücre büyümesini inhibe eder.
Lityum	2.5	2.5	Çoğu bitkide 5 mg/L konsantrasyona kadar tolere edilebilir, toprakta hareketlidir. Limona düşük dozlarda bile toksiktir, önerilen limit 0.075 mg/L dir.
Mangan	0.2	10.0	Asidik topraklarda çoğu bitkiye onda birkaç ya da birkaç mg/L oranında bile toksiktir.
Molibden	0.01	0.05	Su ve toprakta normal konsantrasyonlarda bitkilere toksik değildir. Hayvanlara yemler yüksek oranda molibden içeren yerlerde büyüdüyse toksiktir.
Nikel	0.2	2.0	Birçok bitkiye 0.5 -1.0 mg/L arasında toksiktir;alkali ve nötr pH li topraklarda toksisitesi azalır
Selenyum	0.02	0.02	Düşük konsantrasyonlarda bitkilere toksiktir ve yemler düşük seviyelerde selenyum içeren topraklarda büyüdüyse hayvanlara toksiktir.
Kalay, Tungsten, & Titanyum	-	-	Bitkiler tarafından etkili şekilde bitki dışında tutulur, özel tolerans seviyeleri bilinmemektedir.
Vanadyum	0.1	1.0	Çoğu bitkilere nispeten düşük konsantrasyonlarda toksiktir.
Çinko	2.0	10.0	Bitkilere toksisite büyük oranda degiskendir, artan pH da (6 ya da üzeri) ve ince yapılı ya da organik topraklarda toksisite azalır.
Bileşen	Önerilen Limit		Açıklamalar
pH	6.0		pH'in bitki büyümesindeki çoğu etkisi doğrudan değildir (ör. Ağır metallerin yukarıda tanımlanan toksisitesi pH etkileri).
TÇM	500 - 2,000 mg/L		500 mg/L nin altında genellikle bilinen zararlı etkileri yoktur. 500 ila 1,000 mg/L arasında sulama suyundaki TÇM hassas bitkileri etkileyebilir. 1,000 ila 2,000 mg/L arasında TÇM seviyeleri pek çok mahsulü etkileyebilir ve dikkatli yönetim uygulamaları izlemelidir. 2,000 mg/L nin altında su sadece geçirgen topraklardaki tolere edebilen bitkilerde düzenli olarak kullanılabilir.
Serbest Bakiye Klorür	<1 mg/L		5 mg/L den yüksek konsantrasyonlar çoğu bitki için şiddetli hasarlara neden olur. Bazı hassas bitkiler 0.05 mg/L den az konsantrasyonlarda bile zarar görebilir.



Florida

Kaliforniya

Sekil 4.4 Su Kullanım Oranları

4.5 Kaliforniya Standartı (2004)

Bugün Kaliforniya’da yılda 700 milyon m³ su geri kazanılmaktadır. Bu değer 2030 yılında 1800 milyon m³’e çıkması beklenmektedir. 700 milyon m³ arıtılan su bölgede üretilen atıksuyun yaklaşık %10 kadardır. Tarımda sulamada, yeraltısuyunun beslenmesi, endüstriyel soğutmada, tuvalet sifonunda arıtılmış atıksular kullanılmaktadır. Kaliforniya’da minimum arıtma genellikle ikincil arıtmadır. İnsanlarla direkt temas olacak kullanımlarda üçüncül arıtma gerekmektedir [24].

Tablo 4.4’te Kaliforniya ve Florida’da arıtılmış atıksu ile sulama kriterlerinin karşılaştırmalı tablosu gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere Kaliforniya yeniden kullanım kriterleri Florida’ya göre oldukça sıkıdır. Florida’da ikincil arıtma zorunlu tutulurken, Kaliforniya’da üçüncül arıtmayı bile gerektiren durumlardan söz edilmektedir. Florida sulama kriterlerinde mikrobiyolojik parametre olarak fekal koliform belirtilirken, Kaliforniya kriterlerinde Toplam koliform değerlerine ilişkin kısıtlamalar belirtilmiştir. Kaliforniya’da üçüncül arıtma yapılması zorunlu atıksular için bir numunedeki maksimum toplam koliform değerinin 100 mL’de 240’i aşmaması istenmektedir. Florida’da ise 30 günlük analizlerin %75’inde fekal koliform değerinin sayılamayacak kadar az yani hiç olmaması istenmektedir. Bu değerler oldukça sıkı değerlerdir. Tablodan da görüleceği üzere sulama yapılacak

ürünün cinsine göre sulamada sınırlandırmalar farklılık göstermektedir. Soyulmadan yenen ürünlerin sulama değerleri ile halkın girişinin kısıtlı olduğu yerlerde uygulanabilecek sulama değerleri birbirinden ayrılmıştır. Halkın girişinin kısıtlı olduğu yerlerde sınırlandırmalar daha serbestken, halkın direkt temasının olabileceği durumlarda sınırlandırmalar daha sikiştir. Hatta bu sınırlamalar Kaliforniya'da daha da ileri götürülerek bitkinin yenen bölümleri ile temasın olup olmadığı durumlar olmak üzere ayrılmıştır. Bitkinin yenen bölümleri ile temasın olabileceği durumlarda üçüncül arıtma ve dezenfeksiyon gerekirken, temasın olmayacağı durumlarda ikincil arıtma ve dezenfeksiyona izin verilmektedir. Hatta yenen kısımlar ile hiçbir temasın olmadığı ve tüketim öncesi patojen giderimi yani pastörize edilmesi durumunda sadece ikincil arıtma bile yeterli görülmektedir. Florida'da BOI, AKM, pH ve Bakiye Klor için bir sınırlandırma olmasına rağmen Kaliforniya'da böyle bir sınırlama yoktur. Kaliforniya'da ise bulanıklık ile ilgili sınırlama olmasına rağmen aynı sınırlama Florida'da gözlenmemektedir.

Tablo 4.4 Florida ve Kaliforniya Yeniden Kullanım Değerleri

Eyaletler/Parametreler	Florida	Kaliforniya		
		Dezenfekte Edilmiş üçüncül Arıtma Suyu	Dezenfekte Edilmiş İkincil Arıtma Sulari 2.2	Dezenfekte Edilmemiş İkincil Arıtma Sulari
Istenen Arıtma	İkincil Arıtma, filtrasyon ve yüksek seviyede dezenfeksiyon	Oksidasyon, koagülasyon (membran filtrasyon varsa veya bulanıklık değerleri karşılanıyorsa gerek yok), filtrasyon, dezenfeksiyon	Oksidasyon ve Dezenfeksiyon	Oksidasyon
Bulanıklık (24 Saatlik)		2 NTU (Koagüle edilmiş ve doğal topraktan veya filtre yatağından geçirilmiş atıksular için)	Membrandan geçirilmiş atıksular için	
Bulanıklık (24 Saatlik zamanın % 5 inden fazlasında)		5 NTU	0,2	
Bulanıklık (Anlık)		10 NTU	0,5	
Fekal Koliform (Tekli numunede maksimum)	25/100 mL			
Fekal Koliform (30 günlük periyodun %75'inde)	Sayılamayan			
Toplam Koliform (7 günlük ortalama)		2.2/100 ml	2.2/100 ml	
Toplam Koliform (30 günlük numunenin 1'inde)		23/100 ml	23/100 ml	
Toplam Koliform (Bir numunede maksimum değer)	Belirtilmemiş	240/100 ml		
Sulama yapılabilir ürünler	Tütün ve narenciye ürünleri hariç soyulmadan, pisirilmeden, termal işlemde geçirilmeden ürünlerin direkt sulanmasına izin verilmeyor.	Arıtılmış atıksuyun bitkinin yeniden bölümleriyle temas ettiği durumlarda sulama yapılabilir.	Bitkinin yeniden bölümleri yer üstünde yetisen ürünlerin sulanmasında ve arıtılmış atıksu ile temas etmediği durumlarda kullanılabilir.	Bitkinin yeniden bölümleriyle atıksuyun temas etmediği ürünler ve tüketim öncesinde patojen giderimi işlemine tabi tutulan ürünlerin, meyve bahçeleri ve bağların sulanmasında kullanılabilir.
	Her tür yenilen ürünlere arıtılmış atıksuyun direkt temasına engel olan indirekt uygulamalarda kullanılabilir.			
	Eğer halkın girişi kısıtlanırsa, arıtılmış atıksu meyve ile direkt temas etmezse ve üretilen meyve insan tüketiminden önce islenirse; narenciye sulama sistemlerinde ikincil arıtma ve temel dezenfeksiyon kullanılabilir.			
BOI ₅	20 mg/L			
AKM	5 mg/L			
Bakiye Klor	Min. 1 mg/L			
pH	6 - 8,5			

Bu tabloda da anlasilacagi üzere ABD eyaletlerinin her birinde ayri sulama kriterleri kullanilmaktadir. Her bir eyaletin kendine has sinirlamalari ve denetim mekanizmalari bulunmaktadir. Yeniden kullanım açisindan en siki sinirlamalarin oldugu iki eyalet Florida ve Kaliforniya'dir. Arizona, Kolarado gibi eyaletlerde daha serbest sinirlamalar mevcuttur. Bunun nedeni olarak yeniden kullanima öncülük eden eyaletlerin basinda Kaliforniya'nin gelmesi gösterilebilir. Kaliforniya'da yeniden kullanım kriterlerini oldukça siki hale getiren Title 22 kriterleri uygulanmaktadir.

4.6 WHO (1989)

WHO (Dünya Saglik Örgütü)'nün hazirladigi rehber gere aritilmis atiksularin tarimda yeniden kullanilmasi ile ilgili parametreler Tablo 4.5'de gösterilmektedir. Bu tabloda sadece mikrobiyolojik parametreler yer alip hem insan hem de çevre sagligini korumak amaciyla hazirlanmistir.

Tablo 4.5. Aritilmis Atiksularin Tarimda Yeniden Kullanilmasinda Önerilen Mikrobiyolojik Kalite Rehberleri^a [25]

Kat.	Yeniden Kullanim Sartlari	Maruz kalan grup	Bagirsak nematodlari ^b (/litre* ^c)	Fekal koliformlar (/100mL** ^c)	Istene Kaliteyi saglamasi beklenen Atiksu Aritma
A	Pismeden Yeneni Ürünler, Spor Sahalari, Umumi Parklari Sulanmasi ^d	Isçiler, Tüketiciler Halk	= 1	=?1000	Istene mikrobiyolojik parametreyi saglayacak iyi dizayn edilmiş bir dizi stabilizasyon havuzlari veya esdeger bir aritma
B	Tahil ürünleri, Endüstriyel Ürünler, Yem, Otlak ve Aaçlari Sulanmasi ^e	Isçiler	= 1	Ayarlanamaz	Stabilizasyon havuzlari 8-10 gün bekletme ya da esdeger helmint giderimi
C	Isçi ve halkin maruz kalmasi gözlenmiyorsa Kategori B deki ürünlerin Yerel Sulamasi	Hiç kimse	Uygulanabilir degil	Uygulanabilir degil	Ön çöktürmeden az olmamak kaydiyla istene sulama teknolojisine göre ön aritma

^a Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler hesaba katilmalidir ve rehberler buna göre modifiye edilmelidir.

^b Ascaris ve Trichuris türleri ve kancali kurtlar için rehber limitleri parazit protozodan korunmaya karsi tasarlanmistir.

^c Sulama dönemi boyunca

^d siki rehber limiti (= 200 fekal koliform/100 mL) halkin direkt temasi olabilecekumumi yerler için uygundur.

^e Meyve aaçlari sulanmasi durumunda sulama meyvelerin toplanmasindan iki hafta önce durdurulmalidir ve hiçbir meyve yerden alınmalidir.

* Aritmetik ortalama

** Geometrik ortalama

Tablo 4.5'ten de anlasilacagi gibi WHO, (Dünya Saglik Örgütü) atiksularin tarimda hem potansiyel kullanimini hem de riskleri göz önünde bulundurmakta. Rehberde patojen indikatör olarak hem Fekal Koliform hem de Bagirsak Nematodlari bulunmaktadır. Bu rehberin amaci; aritilmis atiksu ile çeşitli yollarla temasta bulunarak maruz kalma riski tasiyan insanların (tüketiciler, çiftçiler, sulama bölgesi çevresindeki insanlar) sagligini korumaktır. Istenen mikrobiyolojik kaliteyi saglamak üzere özellikle iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzlarinin kullanilmasi tavsiye edilmektedir. Temasa göre ayirim yapilirken kullanim amacina göre siniflandirma yapilmaktadır. Temasa göre ayirim yapilmakta ancak uygulanacak sulama yöntemine göre herhangi bir kisitlemeden bahsedilmemektedir.

1989 yilindan sonra pek çok ülke WHO rehberlerinden etkilenererek kendi rehberlerini olusturmuşlardır. Bunun yanında yapılan pek çok arastirma ile Blumenthal ve digerleri [19], 2000 yilinda WHO rehberlerini gözden geçirmişler ve yeni önerilerini yayinlamışlardır. Bu önerilerde 3 ana kategori bulunmaktadır. İlk kategoride WHO rehberlerinde olduğu gibi pismeden yenen ürünlerin sulanmasi bulunmaktadır. Ancak burada pismeden yenen ürünler sebzeler ve salata ürünleri olarak birbirinden ayrilmaktadır. Sulama ise; kisitlamali ve kisitlamasiz sulama olarak ikiye ayrilmaktadır. WHO 1989'dan farklı olarak kisitlamasiz sulama yönteminde nematod yumurtalarinin litrede 0.1'den az ve fekal koliformların 100 mL'de 1000'den az olmak üzere herhangi bir sulama yöntemi ile sulanmasina izin verilmektedir. Ancak bütün bunlar yapilirken aritma yöntemlerinin de iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzlari, depo ve aritma rezervuarlarından beslenen ardisik kesikli reaktör veya esdeger bir yöntem ile aritilmasi istenmektedir. Bu aritimin yanında filtrasyon ve dezenfeksiyon yapilmasi da istenmektedir. Kisitlamasiz sulama yapilirken ise yine WHO 1989'dan farklı olarak maruz kalma durumunda 15 yasından küçüklerin dahil olduğu ve olmadığı durumlar ikiye ayrilmaktadır. 15 yasından küçük çocukların maruz kalmadigi durumlarda spray ya da sprinkler sulama yapilirken nematodların litrede 1'den; fekal koliformların ise 100 mL'de 100.000'den az olması istenmektedir. Yine bunun için de iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzlari, depo ve aritma rezervuarlarından beslenen ardisik kesikli reaktör önerilmektedir. Eger ayni grup için karik veya taskin sulama yöntemi uygulanacak ise nematodlar ayni kalmak sarti ile fekal koliformların ise 100 mL'de 1000 den az olması istenir. 15 yasından küçük çocukların maruz kalma durumu görülüyorsa burada da herhangi sulama

metodu ayirt etmeksizin nematodların 0.1'den; fekal koliformların ise 1000'den az olması şartı ile sulama yapılmasına izin verilmektedir. Bu grup için aritma yöntemleri A kategorisinde olduğu gibidir. Eğer maruz kalma durumu oluşmuyor ise ön aritma ve ön çökeltme yapılarak damlatmalı ve bubler sulama yöntemleri kullanımına izin verilmektedir. Öneriler Tablo 4.6'da gösterilmektedir. WHO 1989'da önerilen kriterler arasında sulama yöntemleri bulunmamaktadır. Ayrıca çocuklar için özel bir kriter de gösterilmemektedir. Ancak 1989'dan 2000'li yıllara kadar elde edilen deneyimler sayesinde Blumenthal ve diğerleri bu alanlarda da sınırlamalar getirilmesi gerektiğini düşünmektedirler. Ayrıca yine WHO 1989 kriterlerine göre istenen kalitede arıtılmış atıksu elde etmek için 8 – 10 gün bekletme süreli stabilizasyon havuzları yeterli görülürken bu yaklaşım 2000'li yıllarda değişerek iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzları, rezervuarlardan beslemeli kesikli reaktörlerin kullanımı şekline dönmüştür. Maruz kalan gruba, sulama tekniğine ve sulanacak ürünün cinsine göre sınırlama getirilmesi de yine son yıllarda ortaya çıkan eğilimlerdenidir. İki rehber arasındaki en büyük farklardan biri de nematod yumurtalarının 1989 yılında litrede 1'e kadar da izin verilmesine rağmen, 2000'li yıllarda litrede 0.1'e kadar kısıtlandığı durumların gözlenmesidir.

Blumenthal ve diğerlerinin yaptığı çalışmaların ardından WHO 1989 yılında yayınlanan rehberi revize edilerek Tablo 4.7'de gösterilen değerler ile 2006 yılında yayınlanma aşamasına gelmiştir. WHO rehberinin yapılan bu revize halinde eskisine oranla köklü değişiklikler olduğu gözlenmektedir. 1989 yılında rehberlerde fekal koliform ve nematodlar ön planda iken 2006 yılındaki rehberlerde fekal koliform yerine E.Coli parametresinin yer aldığı dikkati çekmektedir. E. Coli değerlerinin litredeki sayısı ise arıtılmış atıksuyun kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu değer 10^6 gibi oldukça yüksek değerlere kadar çıkmaktadır. Örneğin mekanik tarımın gerçekleştiği kısıtlı alanlarda E.Coli değerinde 10^5 gibi yüksek bir değere bile izin verilebilmektedir. Yenilen kısımları atıksu ile temas etmeyen, yerden yüksekte yetişen bitkilerin sulanması için E. Coli değeri oldukça yüksek bir değere izin verilebilirken toprak altında yetişen ve kök kısmının yenildiği bitkilerin sulanmasında bu değer 10^3 değerlerine kadar düşmektedir. Yani uygulanacak sulama yöntemine göre sınıflandırma yapmanın yani sıra bitkilerin yerden yüksekte, köklerinin yenmesi durumu gibi de sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak burada Blumenthal ve diğerlerinin hazırladığı önerilerde kullanılan 15 yaş altı

ve üstü sınıflandırma bulunmamaktadır. Yine 15 yaş altındakilerin korunması ile ilgili bir ayırım vardır ancak Blumentalin önerilerindeki gibi bir ayırım değildir. Ayrıca bu son revizyonda patojenlerin logaritmik olarak azaltılması ile ilgili de bir sınıflandırma bulunmaktadır. Bu da yeni gelişmelerden biridir.

Tablo 4.6 Tarımda Yeniden Kullanımda Önerilen Mikrobiyolojik Rehberler^a [19].

Kt.	Yeniden Kullanım Sartları	Maruz Kalan Grup	Sulama Tekniği	Bağırsak Nematodları ^b (Litredeki yumurta sayısını aritmetik ortalaması ^c)	Fekal Koliformlar (100 mL deki geometrik ortalama sayısı ^d)	İstenen Mikrobiyolojik Kaliteyi Sağlaması Beklenen Atıksu Arıtma
A	Kısıtlamasız Sulama					İyi dizayn edilmiş Atık Stabilizasyon Havuzları, Atıksu depolarından ve arıtma rezervuarlarından beslenen ardisik kesikli reaktör serisi ya da esdeğer arıtma (ör: çıkış kalitesinin iyileştirilmesi havuzları ya da filtrasyon ve dezenfeksiyon ile desteklenen konvansiyonel ikincil arıtma)
	A1 Pismeden Yenilen Sebze ve Salata Ürünleri İçin, Spor Sahaları, Umumi Parklar	İşçiler, Tüketiciler, Halk	Herhangi	= 0.1	= 10 ³	
B	Kısıtlamalı Sulama					
	Tahıl ürünleri, Endüstriyel Ürünler, Yem, Otlak ve Ağaçlar	B1 İşçiler (ancak 15 yaşından küçük çocuklar dahil değil), yakın çevre halkı	Spray ya da sprinkler	= 1	= 10 ⁵	Bir olgunlaştırma havuzu ya da Atıksu depolarından ve arıtma rezervuarlarından beslenen ardisik kesikli reaktör içeren Atık Stabilizasyon havuzlarında bekletme ya da esdeğer arıtma (ör: çıkış kalitesinin iyileştirilmesi havuzları ya da filtrasyon ile desteklenen konvansiyonel ikincil arıtma)
		B2, B1 gibi	Taskin/ Karık	= 1	= 10 ³	Kategori A daki gibi
		B3 İşçiler, 15 yaşından küçük çocuklar dahil, yakın çevre halkı	Herhangi	= 0.1	= 10 ³	Kategori A daki gibi
C	İşçi ve halkın maruz kalması gözlenmiyorsa Kategori B deki ürünlerin Yerel Sulaması	Hiç kimse	Damlatmalı ya da bubbler	Uygulanamaz	Uygulanamaz	Ön çöktürmeden az olmamak kaydıyla istenen sulama teknolojisine göre ön arıtma

^a Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler hesaba katılmalıdır ve rehberler buna göre modifiye edilmelidir.

^b Ascaris ve Trichuris türleri ve kancalı kurtlar için rehber limitleri parazit protozodan korunmaya karşı tasarlanmıştır.

^c Sulama dönemi boyunca (eğer atıksu istenen sayıda yumurta elde etmeyi sağlayacak şekilde dizayn edilmiş Atık Stabilizasyon Havuzları ve Atık Stabilizasyon Havuzları ile arıtılırsa daha sonradan rutin çıkış kalitesinin izlenmesi gerekmez)

^d Sulama dönemi boyunca fekal koliform hesapları tercihe göre haftalık ya da en azından aylık olarak yapılmalıdır.

Tablo 4.7 Tarımda Aritilmis Atıksu Kullanımı WHO Rehberleri [26].

Sulama Tipi	Helmint yumurtaları için sağlığa dayalı hedef	Aritma ile istenen patojen azaltılması (log birim)	İzleme seviyesi doğrulama (100 mL de E. Coli sayısı)	Notlar
Kisitlamasız	= 1 (litrede) (aritmetik ortalama) ^c	4	= 10 ³	Köklü mahsuller
		3	=10 ⁴	Yapraklı mahsuller
	Yüksekte büyüyen ürünler ^{d,e} Öneri yok	2	=10 ⁵	Yüksekte büyüyen mahsullerin damlatmalı sulanması
	Alçakta büyüyen ürünler ^d =1(litrede aritmetik ortalama)	4	=10 ³	Alçakta büyüyen mahsullerin damlatmalı sulanması
	E	6 ya da 7	=10 ¹ ya da = 10 ⁰	Doğrulama seviyesi yerel yasama ajansına bağlıdır. ^a
Kisitlamalı	F	3	=10 ⁴	İşçi yoğunluklu tarım (yetişkinlerin ve 15 yaş altındakilerin korunması)
	G	2	=10 ⁵	Yüksek oranda mekaniklesmiş tarım
	H	0.5	=10 ⁶	Bir septik tankta patojen giderimi

^a Örneğin ikincil arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon için : BOI₅, <10 mg/L; Bulanıklık, <2 NTU; Bakiye Cl₂ 1 mg/L; pH, 6-9; ve fekal koliformlar 100 mL'de rastlanmayacak. (State of California, 2001).

^b 15 yaş altı çocuklar maruz kaldığında ek sağlık koruma ölçümleri kullanılmalıdır.

^c Sulama mevsimi boyunca devirli aritmetik ortalama hesaplanmalıdır. Ortalama litrede =1 yumurta değeri ara sıra yüksek çıkan değerlere izin verebilmek için numunelerin en az %95'inde sağlanmalıdır (yani > 10 yumurta/litre ile). Bazı atıksu arıtma prosesleri ile (örneğin atık stabilizasyon havuzları) litrede =1 yumurta değerini sağlamak için hidrolik bekletme süreleri kullanılabilir.

^e Toprakta hiçbir mahsul toplanmamalıdır. (WHO, 2006'ya dayalı).

4.7 FAO (1985)

FAO 1985 yılında sulama ile ilgili bir rehber hazırlamıştır. Bu rehberdeki parametreler Tablo 2.4'de gösterilmiştir. FAO'nun rehberlerinde çok çeşitli sulama suyu kalite parametreleri belirtilmektedir. Bunların basında tuzluluk gelmektedir. Tuzluluk değerlerinin ise EC, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde konsantrasyonu ile anlaşılabileceği belirtilmektedir. Elektriksel iletkenliğin 0.7 ile 3 dS/m arasında olması istenmektedir. Toplam çözünmüş madde konsantrasyonunun ise 450 ile 2000 mg/L arasında değişeceği belirtilmektedir [8]. WHO rehberlerinde daha önce belirtildiği üzere sadece mikrobiyolojik kalite parametreleri yer

almaktadır. Bu nedenle bu parametreler ile ilgili herhangi bir karşılaştırma yapılamamaktadır. EPA rehberinde ise tuzluluk için verilen değerler FAO'da verilen değerlere yakındır.

FAO; kalite parametrelerini belirtirken sulama suyundaki sodyum içeriğine de özel bir önem verilmesi gerektiğini belirtmektedir. Ancak herhangi bir mikrobiyolojik kaliteden bahsedilmemektedir. FAO rehberlerinde SAR parametresine de özel önem gösterilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Sulama yöntemlerine göre parametrelerin sınırlandırılmaları değişmektedir. Bor, sodyum ve klorür değerleri sulama yöntemine göre değişmektedir. Pek çok ülke kendi rehberlerini, standartlarını ya da kriterlerini hazırlarken FAO rehberlerinden etkilenmiştir. Ancak FAO rehberini diğer rehberlerden ayıran en büyük fark; bu rehberin özellikle sulama suyu kalitesini belirtmesidir. Bu rehberlerde kullanılacak sulama suyunun arıtılmış atıksu ya da temiz su olup olmadığı belirtilmemektedir. Yani bu rehber ne tür su olursa olsun sulama suyunun kalitesinde aranan özellikleri belirtmektedir. Aynı kriterlerin hem temiz hem de atıksu için kullanılması çok da doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü arıtılmış atıksularda, endokrin gibi temiz sularda bulunmayan pek çok bileşen bulunabilmektedir. FAO rehberinde 2006 yılına kadar herhangi bir revizyon yapıldığı görülmemektedir.

4.8 Türkiye SKKY Teknik Usuller Tebliği (2004)

2004 yılında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği [27] gözden geçirilerek 2004 yılında Teknik Usuller Tebliği ile yeniden hazırlanmıştır. Teknik Usuller Tebliği'nde Arıtılmış Atıksuların Tarımda Kullanılmasına ilişkin parametreler Bölüm 7 Tablo 4 de bulunmaktadır. Bu parametreler Tablo 4.8'de verilmiştir. Bu tablo hazırlanırken FAO rehberlerinde olduğu gibi sulama suyunun tuzluluğu ve elektriksel iletkenliğine göre sınıflandırma yapılmış ve sulama bes gruba ayrılmıştır. Tabloda verilen sınıflandırmaya göre ilk üç sınıf kullanılabilir durumdaki suyu göstermektedir. IV ve V sınıf suların kullanılması ise önerilmemektedir. Tablo hazırlanırken daha çok FAO rehberlerinden etkilenildiği gözlenmektedir. Ancak FAO rehberlerinde Teknik Usuller Tebliği'nde verilen sınıflama bulunmamaktadır. Her iki kriterde de parametreler büyük ölçüde paralellik göstermektedir ve iki kriter de sulama suyu kriterlerini anlatmaktadır. Ayrıca arıtılmış atıksu ile ilgili parametreleri

içermemektedir. 2004 yılında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği revize edilmesine rağmen Teknik Usuller Tebliğinde herhangi bir revizyon gözlenmemektedir. 2000’li yılların başlarında rehberlerin revizyonu yönünde ciddi çalışmalar olmasına rağmen bu alanda 2006 yılına gelinmesine rağmen önemli bir gelişme kaydedilmemiş olması dikkat çekicidir.

Tablo 4.8. Teknik Usuller Tebliği Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri [27].

Kalite kriterleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil
$EC_{25} \times 10^6$ ($\mu\text{hos/cm}$)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Degisebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
SAR	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/L	> 1.25	1.25-2.5	> 2.5		
mg/L	< 66	66-133	> 133		
Klorür (Cl^-), meq/L	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/L	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710
Sülfat (SO_4^{2-}) meq/L	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/L	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960
Toplam tuz kons. (mg/L)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor kons. (mg/L)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-
Sulama suyu sınıfı*	C_1S_1	C_1S_2 , C_2S_2 , C_2S_1	C_1S_3 , C_3S_3 , C_3S_2 , C_3S_1	C_1S_4 , C_2S_4 , C_3S_4 , C_4S_4 , C_4S_3 , C_4S_2 , C_4S_1	-
NO_3^- veya NH_4^+ mg/L	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Fekal Koliform ** 1/100 mL	0-2	2-20	20-100	100-1000	> 1000
BOI_5 (mg/L)	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM (mg/L)	20	30	45	60	>100
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	<6 veya >9
Sıcaklık	30	30	35	40	>40

* C_n = iletkenlik; S_n = SAR; SKKYTUT Şekil 1’den bulunur

** Bitki türüne göre daha az veya çok olabilir (Bak. SKKYTUT Tablo 8)

Ne tür bitkinin hangi tip sulama ile sulanabileceğine yönelik sınırlamaların olduğu tablo Tablo 4.9’da gösterilmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi değerler WHO rehberlerine benzemektedir ve bu değerlere yakın değerlerdir. Ancak bu tabloda mikrobiyolojik parametrelerin yani sıra sulama metodu da yer almaktadır. Tablo hazırlanırken WHO rehberlerinden etkilenildiği gözlenmektedir. WHO rehberlerinde olduğu gibi mikrobiyolojik parametre sınırlandırmalarında Fekal koliform değeri kullanılmaktadır. Ancak WHO’da yer alan Bağırsak nematodlarına ilişkin bir parametre kullanılmamaktadır.

Tablo 4.9. Teknik Usuller Tebliği Atıksuların Tarımda Kullanılması ile İlgili Esaslar ve Teknik Sınırlamalar [27].

Tarım Türü	Teknik Sınırlamalar
Meyvecilik ve Bağcılık	-Yagmurlama metodu ile sulama yasaktır.
	-Yere düşen meyveler yenmemelidir.
	- Fekal koliform sayısı 1000/100 mL
Elyafli Bitki ve Tohum Üretimi	-Salma veya yagmurlama sulama yapılabilir.
	-Yagmurlama sulamada biyolojik olarak aritilmiş ve klorlanmış atıksular kullanılabilir.
	- Fekal koliform 1000/100 mL
Yem Bitkileri, Yag Bitkileri, Çiğ Yenmeyen Bitkiler ve Çiçekçilik	- Salma sulama, mekanik aritilmiş atıksu

4.9 Rehberlerin Karşılaştırılması

Evsel atıksuların aritildikten sonra sulama amaçlı kullanımı söz konusu olduğunda ülkelerin ekonomik durumu, iklimi, tarımın ülke ekonomisindeki payı gibi faktörler önem kazanmaktadır. Aritilmiş atıksuların yeniden kullanımında ön plana çıkan rehberler FAO, WHO, EPA'nin rehberleridir. Bu rehberler; pek çok ülke kendi kriterlerini ya da rehberlerini oluştururken yol gösterici kaynaklar olarak benimsenmektedir. Ülkemizde de aritilmiş atıksuların yeniden kullanımında özellikle FAO rehberinden etkilendiği gözlenmektedir. Aritilmiş atıksuların sulamada kullanımında ön plana çıkan rehberler ve bu rehberlerin SKKY Teknik Usuller Tebliği ile karşılaştırılması Tablo 4.10'da gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde FAO rehberinde BOI ile ilgili bir sınırlama olmadığı dikkati çekmektedir. Bunun nedeni FAO tarafından hazırlanan rehberlerin aritilmiş atıksu ile sulama yerine temiz su ile sulama parametrelerini içermesidir. Tabloda Teknik Usuller Tebliği kolonunda kullanılan değerler III. sınıfa kadar olan değerlerdir. Bunun nedeni III. sınıfa kadar olan suların kullanılabilir kalitede su olmasıdır. IV ve V. kalite su kullanılması uygun olmadığından tabloda yer verilmemiştir. WHO'da ve Blumenthal'in önerdiği rehberlerde sadece mikrobiyolojik açıdan parametreler bulunduğundan sadece mikrobiyolojik parametreler belirtilmiştir. Diğer rehberler kıyaslandığında genel hatları ile birbirine yakın değerler gözlenmektedir. Ancak BOI parametresi açısından SKKY Teknik Usuller Tebliği'nin değerlerinin EPA'ye göre oldukça yüksek olduğu

söylenbilir. Toplam çözünmüş madde açısından Teknik Usuller Tebliği diğer rehberlere göre oldukça sikiştir. SAR ve Fekal Koliform değeri açısından da aynı şeyi söylemek mümkündür. Klorür, pH ve Bor açısından sınırlamalar birbirine oldukça yakındır. Ancak AKM değeri EPA'de 30 mg/L'nin altında istenirken SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde 45 mg/L'ye kadar sulama yapılmasına izin verilmektedir. SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde diğer rehberlerden farklı olarak sıcaklık ve sülfat parametreleri ile ilgili de sınırlama bulunmaktadır. Mikrobiyolojik açıdan toplam koliform değeri rehberlerin genelinde bulunmamaktadır. Ancak EPA'de eyalet bazında bu parametreye yer verilmektedir. Genel tabloda bu parametre bulunmadığından bu değerle ilgili karşılaştırmaya yer verilmemiştir. EPA rehberinde diğer rehberlerden farklı olarak bulanıklık parametresine yer verilmektedir.

Ülkemizde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 2004 yılında revize edilmiştir. Ancak Teknik Usuller Tebliği 1991 yılındaki hali ile saklanmıştır ve herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu nedenle tabloda 1991 yılındaki değerler kıyaslanmaktadır. Dünya genelinde eskiden beri kullanılan rehberin revize edilmesi yönünde bir eğilim olduğu gözlenmektedir. Ancak Türkiye'de SKKY revize edilmesine rağmen Teknik Usuller Tebliği'nin değiştirilmemesi dikkat çekicidir.

Daha önce de bahsedildiği gibi Türkiye'deki kriterlerde FAO'dan etkilendiği gözlenmektedir. Ancak FAO kriterlerinde kullanılan parametreler sulama suyu kriterleridir. Yani bu parametreler temiz su ile sulama yapıldığında da uygulanan parametrelerdir. Aritilmiş atıksuların sulamada kullanırken aynı parametrelerin sağlanabilmesi oldukça siki mühendislik gerektiren ayrıca maliyetli bir konudur. Bu nedenle ülkemizde Teknik Usuller Tebliği'nin revize edilmesi söz konusu olduğunda bu konuya da dikkat etmek gerekmektedir. Ya da aritilmiş atıksular ile sulama parametreleri belirten ülkelerin rehberlerinden ve deneyimlerinden yararlanmak gerekmektedir.

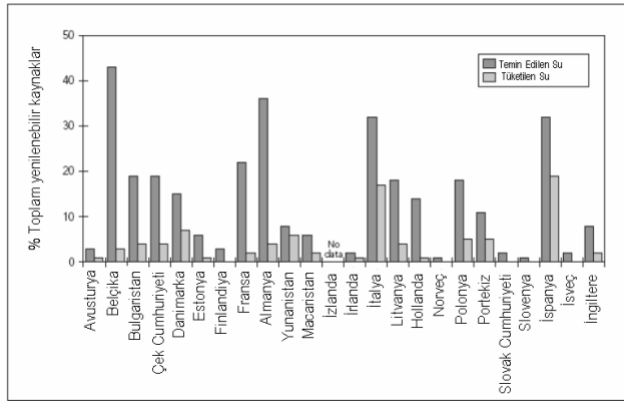
Tablo 4.10 Rehberlerin Karsilastirilmesi

	EPA 2004	FAO 1985	WHO 1989	BLUMENTHAL Önerileri 2000	SKKY TEKNİK USULLER TEBLİĞİ 2004
BOI (mg/L)	10 - 30				0-100
Elektriksel İletkenlik (dS/m)		< 0.7 - > 3			0 - 2
TÇM (mg/L)	500 - 2000	450 - 2000			0 - 1400
AKM (mg/L)	= 30				20-45
SAR		0 - 40			< 10-26
Sodyum (meq/L)		0 - 9			
Klorür (meq/L)		4-10			0 - 12
Bor (mg/L)	0.75 - 2	0.7-3			0 - 2
Nitrat veya NH ₄ (mg/L)		5-30			0 - 30
Sülfat (mg/L)					0 - 575
pH	6-9	6.5 - 8.4			6 – 8.5
Fekal Koliform (fekal koli./100 mL)	0-200		= 1000	= 1000 - 100.000	0 – 100
Bagırsak Nematodları (nematod / l)			= 1	= 0.1-1	
Sıcaklık					30-35
NTU	= 2				

4.10 Avrupa Birliği Ülkelerinde Yeniden Kullanım

Avrupa Birliği ülkelerinde ortalama %21 oranında yenilenebilir temiz su kaynakları sulama için çekilmektedir. Bu suyun çekilmesi Avrupa Birliği ülkelerinde çok yavaş artmaktadır [28]. Bunun nedeni olarak Avrupa Birliği ülkelerinde nüfusun yavaş şekilde büyümesi ve su tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi ile ilgili çalışmaların hızlandırılması, endüstrilerde proseslerin değiştirilmesi gibi faktörler gösterilebilir. Ayrıca su kaynaklarının korunması için suyun fiyatlandırılması, yeniden kullanım ve sızıntı kontrolü su politikasının geliştirilmesinde gerçekleştirilen önemli adımlardan sayılmaktadır. Bununla beraber; Güney Avrupa'da su sıkıntısı çekilmesine ve arıtılmış atıksuların tarımsal faaliyetleri için kullanılmasına rağmen Avrupa Birliği'nde arıtılmış atıksuların kalite parametrelerine ilişkin geliştirilmiş herhangi bir standart ya da rehber henüz mevcut değildir. Ancak bu konuda çalışmalar sürdürülmektedir. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) bu konularda yaptığı çeşitli

çalısmaların sonucuna göre Avrupa Çevre Ajansı'nda su sikintisinin iki sektörden kaynaklandığı belirtilmektedir. Bunlardan biri tarım diğeri ise endüstridir. 1999 yılında Avrupa Çevre Ajansı'nin yaptığı çalısmalara göre Avrupa Birliği ülkelerinde çekilen toplam suyun ortalama %14'ü genel su temini, %30'u tarımda, % 10'u endüstrilerde, %46'si da basta santraller olmak üzere sogutma suyu olarak kullanılmaktadır [28]. Burada dikkati çeken sogutma kulelerinde kullanılan suyun endüstrilerde kullanılan su miktarından ayrı olarak gösterilmesidir. Bu nedeni olarak endüstrilerde kullanılan suyun proses içinde kullanılan su şeklinde ayrılması gösterilebilir. Akdeniz ülkelerinde yapılan tarım en önemli su tüketen sektörlerden biridir. Yunanistan'da sulama için kullanılan su toplam kullanılan suyun % 80'ini, İspanya'da %60'ini, Portekiz'de % 52'sini ve İtalya'da yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'ne aday ülkeler de su ihtiyacına önemli miktarda yük getirmektedirler. Şekil 4.5'de Avrupa ülkelerindeki su tüketimi gösterilmektedir [28]. Şekilden de görüleceği üzere İtalya, İspanya, Yunanistan gibi ülkelerde tüketilen su miktarı diğeri ülkelere göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni bu ülkelerin tarım ülkesi olmasıdır. Özellikle Akdeniz ülkelerinde tarım önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu ülkelerde tüketilen su miktarları diğeri ülkelere kıyasla yüksektir.



Şekil 4.5 Avrupa Ülkelerinde Su Kullanım Oranları [28]

Avrupa Komisyonu'nun yayınladığı kaynaklara göre [28] Avrupa Birliğine giren ülkelerde tarım önemli bir ekonomik sektördür. Tarımda su kullanımı ayrılan toplam suyun yaklaşık % 30'u ve tüketilen suyun % 55'i kadardır. Bununla beraber, Güney Avrupa ülkelerinde (Yunanistan, İtalya, Portekiz ve İspanya) bu yüzdeler tüketimin %73'üne toplam kullanımın da % 62'sine kadar yükselmektedir [29]. Avrupa Komisyonu ve Avrupa Çevre Ajansı'ndan alınan kaynaklarda oranlar birbirinden

farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni oranlar oluşturulurken kullanılan ülkelerin farklı olduğu izlenimi uyanmaktadır. Tarımda en önemli gereksinim sulamadır. Bu Akdeniz ülkelerinde de böyledir ve Yunanistan'da tarımdaki toplam ihtiyaç % 80'i üzerinde, İtalya'da % 60, İspanya'da % 72, Portekiz'de % 59 kadardır [29]. Görüldüğü gibi aynı ülke için de oran belirlenirken iki kaynak arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu da Avrupa Birliği bazında net sonuçlar oluşturacak çalışmaların tam olarak yapılmadığı ya da çeşitli kurumların birbirinden habersiz çalışmalar yaptığı izlenimini oluşturmaktadır. Sulamada kullanılacak suyun hacmi iklime, ekilecek mahsule, sulanacak araziye ve sulama yöntemine bağlıdır. Sulanan araziler toplam tarım alanına oranlandığında oluşan yüzdeler Orta ve Kuzey Avrupa gibi bazı yerlerde sifira kadar yaklaşabilmektedir. Bu oranın Hollanda'da % 60'a kadar çıkması iklimdeki değişiklikleri yansıtmaktadır. Güney Avrupa'daki İspanya'da sulanan alan yüzdesi toplam tarım alanının % 18'i iken; Yunanistan'da % 38'dir [28].

Avrupa Birliği ülkelerinde atıksuların yeniden kullanımı bazı bölgelerde su kaynaklarındaki eksiklikler nedeniyle artmaktadır. Kentsel Atıksu Aritma Direktifi Madde 12'de (91/271/EEC) uygun olan yerlerde aritilmiş atıksuyun yeniden kullanılacağından bahsedilmektedir. Bu yeniden kullanımın en geniş kullanım alanları atıksuda bulunabilen patojenlerin halk ile temasta bulunabileceği mahsullerin sulanması, golf sahaları ve spor alanlarının sulanması uygulamalarıdır. Batı Avrupa ülkelerinde son yıllarda genel su tüketimi % 9 oranında, tarımda %10 oranında, enerjide %14 ve endüstrilerde %28 oranında düşmüştür [28].

Avrupa Birliği tarafından 1991 yılında yayınlanan Kentsel Atıksu Aritma Direktifleri'nde (91/271/EEC) aritilmiş atıksuların, uygun olduğu yerlerde yeniden kullanılacağı belirtilmiştir. Güneybatı ülkelerinde ise tarım için su kullanımı %70 oranı ile en baskın sektördür. Son yıllarda bu ülkelerde tarımda kullanılan su miktarı %5 oranında artış göstermekle birlikte; kentsel ve endüstriyel su tüketimi sabit kalmış, soğutma amaçlı su kullanımı ise %15 kadar düşmüştür [28].

Avrupa Birliği'ne aday ülkeler su tüketiminin artma eğilimine katkıda bulunmaktadır. Türkiye'de yürütülen GAP projesi sulama suyu ihtiyacını %35 oranında arttırmaktadır. Batı Avrupa ülkelerinde, Akdeniz Bölgesinde (Fransa, İspanya, İtalya, Portekiz, Yunanistan) en önemli pay %85 oranı ile sulama için

ayrılmaktadır. Romanya ve Türkiye gibi aday ülkelerde ise %93'lük oran ile en önemli pay sulamadır. Aral Denizi bölgesinde ise %51'lik bir pay sulamaya ayrılmaktadır [28].

Avrupa'da geleneksel olarak sulamanın büyük bir kısmı gravite ile sağlanmaktadır. Bununla beraber gelişen sulama teknolojileri ile sprinkler sulama da sık karşılaşılan sulama yöntemlerindedir. Ancak; sulama yöntemlerinde pompa kullanılması zorunluluğu yüksek enerji maliyetleri nedeniyle çok da sıcak bakılmayan yöntemlerindedir. Örneğin Ermenistan'da sulama için kullanılan enerji maliyeti toplam enerji tüketiminin %65'i kadardır. Şekil 4.5'de Avrupa ülkelerinde su kullanım oranları gösterilmektedir [28]. Şekilden de görüldüğü gibi İspanya, İtalya, Yunanistan, Portekiz gibi ülkelerde su kullanım oranları yüksektir. Bu şekilde dikkati çeken İspanya ve İtalya'da tüketilen su miktarının yukarıda sulama oranı en yüksek ülkelerden biri olarak sayılan Yunanistan'dan fazla olmasıdır. Ancak ülkelerin su tüketim miktarları yüzdeleri ve su tüketim sektörleri yüzdeleri birbirinden farklı olduğundan bu sonucun oluşması normaldir. Yani genel tüketim miktarı ve sektörler arasındaki tüketim miktarlarının paralellik tasması şart değildir. Ayrıca İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın nüfus miktarları da birbirinden farklıdır. Bu şeklin oluşmasında bu faktörün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Avrupa Birliği ülkelerinde genel anlamda yeniden kullanım konusunda hazırlanmış bir rehber veya standart bulunmamaktadır. Ülkelerin kendi başlarına yaptıkları çalışmalar mevcuttur ancak AB bazında bir rehber henüz yoktur. Bu alanda çalışmalar devam etmektedir.

Fransa, İtalya ve İspanya gibi Akdeniz ülkelerinde ülke bazında rehber bulunmaktadır. Fransa 1991 yılında WHO rehberlerindeki benzer bir rehber yayınlamıştır. WHO rehberine ilave olarak sulama teknikleri ve sulama bölgesinden uzaklıklar ile ilgili kısıtlamalar da getirmektedir [30].

4.10.1 İspanya

1990-1995 yıllarında İspanya'da yılda ortalama düşen yağmur miktarı önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum ülkenin rezervuarlarındaki suyun da önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur. Bu olay hem sucul hem de karasal yasağı etkilemiştir. Nehirler

kurum, su kalitesi bozulmuştur. Bu nedenle mevcut durumu rahatlatmak amacıyla yeni kaynakların aranması gibi bazı stratejiler geliştirilmiştir. Yeraltı suyu kaynakları bu sıkıntının azaltılması amacıyla kullanılmış; pek çok yerde kuyu açılmıştır [18b].

4.10.2 İtalya

İtalya'da yılda 2400 Mm³ atıksu arıtılmaktadır. Son yıllarda 4000 ha arazi arıtılmış atıksu ile sulanmaktadır. Mevcut standartlarında fekal koliform, toplam koliform ve nematod yumurtalarına ilişkin kısıtlamalar yer almaktadır [18]. İtalya'da arıtılmış atıksuların kullanımı mikrobiyolojik standartları Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi mikrobiyolojik parametre olarak diğer rehberlerden farklı şekilde Toplam Koliform değeri kullanılmaktadır. Bu rehberde de pismeden yenen ürünler için arıtma seviyesi yüksek olması istenmektedir. İkincil arıtma ve ardından dezenfeksiyon gerekmektedir. Benzer uygulama Florida standartlarında da mevcuttur. Ancak Kaliforniya standartlarında bitkinin yenen bölümleri ile temas olması ve olmaması durumuna göre istenen arıtma seviyesi değişmektedir.

Tablodan da görüleceği üzere bölgeler arasında mikrobiyolojik sınırlama açısından farklılıklar gözlenmektedir. Özellikle Sicilya'da mikrobiyolojik sınırlamalar diğer bölgelere göre oldukça genistir. Ancak toplam koliform parametresi olarak diğer bölgelerden farklı helmint yumurtası ile ilgili de sınırlama mevcuttur.

Belçika, Yunanistan, Portekiz, İsveç, Hollanda, İngiltere arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin rehber veya standart hazırlamayı planlayan ülkeler; Avusturya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, İrlanda ve Lüksembourg'da bu konuda herhangi bir standart veya rehber henüz bulunmayan ülkelerdir [31].

Tablo 4.11 İtalya’da Suların Yeniden Kullanılma Mikrobiyolojik Standartları [31]

Uygulama Seviyesi	Yeniden Kullanım	Toplam Koliform	Aritma
Ulusal	Ham yenen ürünler	< 2/ 100 mL	İkinci aritmayı takiben dezenfeksiyon
	Otlaklar Su ile temas etmeyen mahsuller ve diğer tüm durumlar	< 20 / 100 mL	İkinci aritmayı takiben dezenfeksiyon Ön aritma, ancak mahsullerde istenmeyen kalıntı bırakan kimyasallar bulunmamalıdır.
Puglia Bölgesi	Tüm durumlar	< 10 / 100 mL	-
Emilia Romagna	Ham yenen ürünler ve Otlaklar	< 12 / 100 mL	-
	Aritilmiş atıksu ile temas etmeyen ürünler	< 250 / 100 mL	-
Sicilya	Yenen mahsullerin ve yemlerin aritilmiş atıksu ile direkt teması yasaktır. Geri kalan durumlar	< 3.000 / 100 mL < 1.000 / 100 mL (salmonella bulunmayacak) İhelimint yumurtası / L	-

4.11 Çeşitli Ülkelerin Standartları

4.11.1 Güney Kıbrıs Rum Kesimi

Güney Kıbrıs Rum Kesimi’nde (GKRK) su sıkıntısı önemli sorun oluşturmaktadır. Su sıkıntısını oluşturan faaliyetlerin yanında tarım ve turizm gelmektedir. Son yıllarda yılda düşen ortalama yağmur miktarı oldukça düşmüştür. Bu nedenle su rezervuarları gerçek kapasitelerinin %10’u kadar kapasitede hizmet vermeye çalışmakta; bunun sonucu olarak da yeterli miktarda içme ve kullanma suyu sağlanamamaktadır [18]. GKRK’nde 1989 yılında hazırlanan rehber Tablo 4.12’de gösterilmektedir.

Tablo 4.12’den de görüleceği üzere mikrobiyolojik sınırlamalarda fekal koliform parametresi kullanılmaktadır. Aritma tipleri açısından Kaliforniya standartlarına

benzer bir rehber hazırladığı izlenimi olmaktadır. Ancak fekal koliform açısından değerler oldukça yüksektir. Ancak Kaliforniya standartlarında toplam koliform parametresi ile ilgili sınırlamalar yer almaktadır.

Tablo 4.12 GKRK Yeniden Kullanım Mikrobiyolojik Standartları [18]

Sulama*	Fekal Koliform (sayı/100 mL)	Bağırsak Kurtları	
			Atıksu Aritma İhtiyacı
Sınırlamasız giriş olan 'amenity' alanları	50** 100***	Litredeki Sayısı	İkinci ve üçüncü aritmayı takiben dezenfeksiyon
İnsan tüketimi için olan mahsuller	200** 1.000***	Litredeki Sayısı	İkinci aritmayı ve 1 haftadan fazla depolamayı takiben dezenfeksiyon, ya da üçüncü aritmayı takiben dezenfeksiyon
Sınırlamalı giriş olan 'amenity' alanları	200** 1.000***	Litredeki Sayısı	Toplam 30 günden büyük bekletme süreli Stabilizasyon olgunlaştırma havuzları veya ikinci aritma ve depolama >30 gün
Yem Mahsulleri	1.000** 5.000***	Litredeki Sayısı	İkinci aritmayı ve 1 haftadan fazla depolamayı takiben dezenfeksiyon, ya da üçüncü aritmayı takiben dezenfeksiyon
Endüstriyel Mahsuller	3.000** 10.000***		İkinci aritmayı takiben dezenfeksiyon, Toplam 30 günden büyük bekletme süreli Stabilizasyon olgunlaştırma havuzları veya ikinci aritma ve depolama >30 gün

*Sulamaya sunular için izin verilmez: sebzeler, ticari amaçlı süs bitkileri, yenilebilir kısımlarında madde biriktiren mahsuller ve desarjında insanlara ve hayvanlara toksik olduğu kanıtlananlar

**1 ayda numunenin %80 inde bu değer asılmamalıdır.

***İzin verilen maksimum değer

4.11.2 İsrail

İsrail'deki iklim şartları, ülkenin tarım ülkesi olması, sulama ihtiyacının fazla olması ülkeyi yeniden kullanım konusunda öncü ülkelerden biri haline getirmiştir. Sulamada kullanılacak su 4 gruba ayrılmaktadır. Yeniden kullanım kalite kriterleri Tablo 4.13'de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde en siki kategorinin pismeden yenilen ürünler için olduğu gözlenmektedir. Burada diğer rehberlerden farklı olarak çözümlü oksijen ile ilgili de sınırlama olduğu dikkati çekmektedir. Kriterler incelendiğinde Kaliforniya standartlarına benzer bir rehber hazırladığı düşünülmektedir. Ancak burada Kaliforniya'dan farklı olarak konut alanlarından uzaklıklar ile ilgili de sınırlamalar bulunmaktadır. Kategori A ve B için değerlere bakıldığında BOI parametresinin oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. Hatta koliform açısından bir kısıtlama bile yer almamaktadır. Bu nedenle kriterlere göre

konut alanlarından 300 m kadar uzakta sulama yapılması gerekmektedir. Ancak bu değerler diğer rehberlere kıyasla oldukça yüksektir.

Tablo 4.13 İsrail’de Tarımsal Sulamada Yeniden Kullanılacak Arıtılmış Atıksuların Kalite Kriterleri [18]

Parametre	<u>Kategori A</u>	<u>Kategori B</u>	<u>Kategori C</u>	<u>Kategori D</u>
	Pamuk, seker pancari, Tahil, kuru yem tohumları, ağaçların sulanması	Yesil yemler, zeytin, yerfıstığı, narenciye, muz, badem, kabuklu yemisler vb.	Meyveler, konserve yapılan sebzeler, pismis ve soyulmuş sebzeler, futbol ve golf sahaları	Pismeden yenilen sebzeler dahil Kısıtlamasız ürünler, parklar ve çimenler
<u>Cikis Kalitesi</u>				
Toplam BOI ₅ , mg/L	601	451	35	15
Çözünmüş BOI ₅ , mg/L	-	-	20	10
AKM, mg/L	501	401	30	15
ÇO, mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5
Koliform sayısı/100 mL	-	-	250	1.2 (80%) 2.2 (50%)
Bakiye Klor, mg/L	-	-	0.15	0.5
<u>Zorunlu Arıtma</u>				
Filtrasyon ya da esdeğer arıtma	-	-	-	Istenen
Klorlama, minimum temas süresi,	-	-	60	120
<u>Aralık (m)</u>				
Konut alanlarından	300	250	-	-
Kaldırımlardan	30	25	-	-

1 Stabilizasyon havuzları için en az 15 gün bekleme süreli farklı standartlar ayarlanacaktır.

2 Meyvelerin toplanmasından 2 hafta önce sulama durdurulmalıdır. Yerden hiçbir meyve toplanmamalıdır.

4.11.3 Ürdün

Sürdürülebilir bir su yönetimi sağlamak üzere Ürdün bölgesinde Almanya ve Ürdün ortaklık yapmıştır. Projenin amacı Ürdün vadisindeki temiz su ihtiyacını azaltmaktır. Ürdün vadisindeki çiftçilere çevre ve halk sağlığı yasalarına uygun sulama amaçlı arıtılmış atıksu sağlamaktır.

Su anda orta ve güney Ürdün vadisinde aritilmiş atıksuların çoğu diğer sular ile karıştırılarak 3400 çiftçiye dağıtılmaktadır. Ürdün'deki atıksu karakteristiği diğer ülkelerden farklılık göstermektedir. Belediyenin sağladığı suyun tuzluluğu ortalama 580 ppm TÇM (0.9 dS/m), evsel su tüketimi 70 litre/kisi/gün'dür. Bu nedenle atıksular oldukça yoğun kirlilik ve tuz içeriğine sahiptir. Atıksuların %85'i stabilizasyon havuzlarında arıtılır ve suyun büyük bir kısmı da buharlaşma ile gitmektedir. Bu nedenle suların kirlilik konsantrasyonu daha da artmaktadır. Sonuç olarak temiz suların kullanımına ilişkin rekabet arttıkça endüstriyel ve tarımsal amaçlı su bulmak için aritilmiş atıksuya talep artmaktadır. Bu da sağlık ve çevre açısından uygun arıtma standartları oluşturulmasını zorunlu hale getirmektedir. Amman'da aritilmiş atıksular Zarka Nehrine dökülmektedir. Buradan da Kral Talal Rezervuarına giderek ve diğer yeraltı suları, kuyular ve yüzey suları ile karıştırılarak Orta ve Güney Ürdün Vadisindeki yaklaşık 3400 çiftçiye dağıtılmaktadır [32]. Tablo 4.14'de Ürdün'de 1992 ve 2000 yıllarında su tüketimi gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde 1992'den 2000 yılına kadar geçen 8 yılda su tüketim miktarı yaklaşık %16 oranında artmıştır. Görüldüğü üzere Ürdün'de tarımsal faaliyetlerin yeri toplam su tüketiminde önemli bir yer tutmaktadır. Endüstriyel kullanım yüzdesi ise oldukça düşüktür. Bu da Ürdün'ün bir endüstri ülkesi olmaktan çok bir tarım ülkesi olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.14 Ürdün'deki Su Tüketimi [33]

	1992	2000	%
Kullanım	Yılında Tüketilen Miktar	Yılında Tüketilen Miktar	Toplam Tüketim
	Mm ³ /Yıl	Mm ³ /Yıl	(Ortalama)
Evsel	215	270	23.05
Tarımsal	700	770	72.5
Endüstriyel	35	47	4.0
Toplam	940	1087	

Tablo 4.15'de ise Ürdün'deki en önemli atıksu arıtma tesislerinin ortalama karakteristiği gösterilmektedir. Bu tabloya göre Ürdün'de genel olarak en önemli atıksu arıtma tesislerinde aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemlerinin kullanıldığı söylenebilir. Tablodan görüleceği üzere çıkış kalitesi açısından en iyi sonucu veren sistem aktif çamur sistemidir. Damlatmalı filtre ve havalandırılmalı lagünlerden çıkan atıksuların değerleri oldukça yüksektir. AKM değerlerinin de EPA, SKKY Teknik

Usuller Tebliği ve İsrail'in Kategori C ve B değerlerinden yüksek olduğu gözlenmektedir. Yani bu tesislerden çıkan arıtılmış atıksular ile sayılan rehberlere göre sulama yapılması uygun değildir. 175 mg/L çıkış BOI değeri olan bir tesisten EPA rehberleri ve İsrail kriterlerine uygun bir mikrobiyolojik sonuç çıkmayacağı söylenebilir.

Tablo 4.15 Ürdün'deki En Önemli Atıksu Arıtma Tesislerinin Karakteristiği [34]

Arıtma Tipi	Tesis Sayısı	Kapasite m ³ /gün	Mevcut Arıtma Debisi m ³ /gün	Çıkış Karakteristiği		
				BOI mg/L	KOI mg/L	AKM mg/L
Aktif Çamur	6	50602	17802	21	102	38
Damlatmalı Filtreler	6	84312	185070	175	528	260
Damlatmalı Filtreler	4	10304	14016	57	230	68
Havalandırmalı Lagünler	1	4000	914	107	205	50
Toplam Debi	17	141490	217000			

Tablo 4.16'da Ürdün'de atıksuların yeniden kullanımına ilişkin standartlar gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere pek çok parametre için tek bir tablo hazırlanmıştır. Tabloda hem ağır metaller ile ilgili sınırlamalar, hem mikrobiyolojik parametreler hem de diğer genel sulama parametreleri bir arada gösterilmektedir. Ürdün standartlarında da kullanılacak su kullanım alanına göre farklı sınırlamalara sahiptir. Ancak kullanım amacına göre sınıflandırma yapılırken pısmis sebzeler için değerler belirtilmesine rağmen pısmiden yenen sebzeler için değerleri bulunmadığı dikkati çekmektedir. Ayrıca pısmis sebzeler için belirtilen değerler de diğer rehberlere kıyasla oldukça yüksektir. Örneğin Ürdün ile benzer iklim koşullarına sahip İsrail'de pısmis sebzeler için olması gereken BOI değeri 35 mg/L'dir. Çözünmüş oksijen değeri İsrail'de 0.5 mg/L istenirken, 150 mg/L BOI isteyen Ürdün'de bu değer 2 mg/L'dir. Bu nedenle, değerler arasında bir uyumsuzluk olduğu izlenimi oluşmaktadır. Ayrıca pısmis sebzeler için AKM değeri İsrail'de 30 mg/L istenirken bu değer Ürdün'de 200 mg/L istenmektedir. Mikrobiyolojik açıdan tablo incelendiğinde fekal koliform ve nematod yumurtalarına ilaveten amoeba kistleri ve salmonella parametreleri dikkati çekmektedir. Fekal koliform değeri ise yine pısmis sebzeler için 1000 EMS /100 mL

olarak belirtilmektedir. Bu deger EPA rehberine göre oldukça yüksektir. Buna ragmen nematod yumurtalari pismis sebzeler için litrede 1 yumurtadan az olması istenmektedir. Bu deger WHO 1989’da belirtilen degerle esdegerdir.

Tüm bunların yanında parkların sulanması için gereken degerler pismis sebzeler için uygulanması gereken degerlerden düşüktür. Bu da pismiden yenen degerler için daha dikkatli olunması gerektiği izlenimini olusturmasına ragmen bu konuda sinirlamalar rehberde bulunmamaktadır. Tabloda sulama ile ilgili sinirlamaların yanında akiferin beslenmesi, alıcı su ortamına desarj ile ilgili de sinirlamalar mevcuttur.

Tablo 4.16 Ürdün’de Atıksuların Yeniden Kullanım Standartları [33].

Kalite Parametreleri (mg/L)	Pisen Sebzeler	Kesilen Ağaclar & Endüstriyel Ürünler	Akan veya Biriken Suya desarj	Akiferin Beslenmesi	Balık	Parkların Sulanması	Yemlerin Sulanması
BOI ₅	150	150	50	50	-	50	250
KOI	500	500	200	200	-	200	700
ÇO	2’den fazla	2’den fazla	2’den fazla	2’den fazla	2’den fazla	2’den fazla	1’den fazla
TÇM	2000	2000	2000	1500	2000	2000	2000
AKM	200	200	50	50	25	50	250
pH	6.9-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0
Renk (PCU)	—	—	75	75	—	75	—
FOG	8	8	8	Yok	8	8	12
Fenol	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002
MBAS	50	50	25	15	0.2	15	50
NO ₃ -N	50	50	25	25	-	25	50
NH ₄ -N	—	—	15	15	0.5	50	—
T-N	100	100	50	50	—	100	—
PO ₄ -P	—	—	15	15	—	15	—
Cl ⁻	350	350	350	350	—	350	350
SO ₄ ⁻	1000	1000	1000	1000	—	1000	1000
CO ₃	6	6	6	6	—	6	6
HCO ₃	520	520	520	520	—	520	520
Na ⁺	230	230	230	230	—	230	230
Mg ⁺⁺	60	60	60	60	—	60	60
Ca ⁺⁺	400	400	400	400	—	400	400
SAR	9	9	9	9	—	12	9
Bakiye Cl ₂	0.05	—	—	—	—	0.5	—
Al	5	5	5	1	—	5	5
As	0.1	0.1	0.05	0,05	0,05	0.1	0.1

Tablo 4.16 Devami

Kalite Parametreleri (mg/L)	Pisen Sebzeleler	Kesilen Ağaclar & Endüstriyel Ürünler	Akan veya Biriken Suyu desarj	Akiferin Beslenmesi	Balik	Parkların Sulanması	Yemlerin Sulanması
Be	0.1	0.1	0.1	0.1	1,1	0.1	0.1
Cu	0.2	0.2	0.2	0.2	0.04	0.2	0.2
P	5.0	5.0	2.0	1.0	0.5	5.0	5.0
Fe	2,5	5.0	1.0	1.0	—	3.0	5.0
Li	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	0.2	0.2
Mn	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2
Pb	5.0	5.0	0.1	0.1	0.15	0.1	5.0
Se	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02
Cd	0.01	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01
Zn	2.0	2.0	15	15	0.6	2.0	2.0
CN	0.1	0.1	0.1	0.1	0.005	0.1	0.1
Cr	0.1	0.1	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1
Hg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00005	0.001	0.001
V	0.1	0.1	0.1	0.1	~	0.1	0.1
Co	0.05	0.05	0.05	0.05	—	0.05	0.05
B	1.0	1.0	2.0	1.0	—	3.0	3.0
Mo	0.01	0.01	0.01	0.01	—	0.01	0,01
Toplam Fekal Koliform (EMS/100mL)	1000	—	1000	1000	10000	200	—
Salmonela	—	—	—	—	100000	Hiç	—
Amoeba & Ganba (Kist/L)	1'den az	—	—	—	—	Hiç	—
Nematod (Yumurtalari/L)	1'den az	—	1'den az	—	—	1'den az	1'den az

4.11.4 Kuzey Afrika Ülkeleri

Kuzey Afrika ülkeleri kurak ve yarı kurak iklim kusagında yer almaktadırlar. Gelecekte kişi başına yılda düşen toplam su miktarının düşerek 1985'den 2020 yılına kadarki zaman diliminde kronik noktaya ulaşacağı tahmin edilmektedir. Fas'ta kişi başına yılda düşen suyun 1370 m³'ten 780 m³'e; Cezayir'de 875 m³'ten 430 m³'e; Tunus'ta ise 610 m³'ten 360 m³'e düşerek esik değere ulaşarak krize neden olacağı tahmin edilmektedir. Bu değerler Tablo 4.17'de gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere 2020 yılına kadar kişi başına düşen su miktarlarında %40'in üzerinde düşüş olacağı tahmin edilmektedir. Kuzey Afrika ülkelerinde nüfusun 2020 yılına kadar 83x10⁶ dan 112x10⁶'ya; 2030 yılında ise 202x10⁶'ya ulaşacağı hesaplanmaktadır. Hızlı nüfus artışı, yüksek sıcaklık ve kuraklık şartları, artan

yiyecek ihtiyacı suya olan talebi arttırmaktadır. Fas'ta tüketilen toplam suyun %85'i sulamada kullanılmaktadır. Bu değer Cezayir'de %70'tir. Belirtilen değerlerden de anlaşılacağı gibi tüketilen toplam su miktarında sulamanın önemi büyüktür. Bu nedenle gelecekte yaşanabilecek su krizini mümkün olduğunca az zarar ile atlatabilmek için simdiden önlemlerin alınması gerekmektedir. Tarımda atıksuların aritılarak belli kriterler yerine getirilerek yeniden kullanılması su kaynakları yönetimi açısından oldukça önemli bir yöntemdir [35].

Tablo 4.17 2020 Yılında Kisi Basına Yılda Düşeceği Tahmin Edilen Su Miktarları

Ülkeler	1985 Yılı (m ³)	2020 Yılı (m ³)	Tahmini Düşüş (%)
Fas	1370	780	43
Cezayir	875	430	51
Tunus	610	360	41

4.12 Türkiye'de Su Yönetim Biçimi

Ülkemizde su yönetimini ilgilendiren pek çok organizasyon mevcuttur. Bu sektörde çalışan teknik kurumlar 2 grupta incelenebilir; Planlayıcılar – Denetleyiciler. Türkiye'nin su yönetimi ile ilgili devlet organizasyonları ve sorumlulukları Tablo 4.18'de gösterilmektedir.

Tablo 4.18'den de görüleceği gibi Türkiye'de su yönetimi ile ilgili pek çok kurum vardır. Bu kadar fazla kurumun olması kurumlar arası koordinasyonu güçleştirmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalardan, elde edilen sonuçlardan diğer kurumların haberdar olmadığı gözlenmektedir. Bu durum da bilginin ulaşılabilirliğini zorlaştırmaktadır.

Tablo 4.18 Türkiye’de Mevcut Kurumsal Yapı

Organizasyon	Ana görev ve sorumluluklar
Çevre ve Orman Bakanlığı	Su kaynakları kirlenmesinin önlenmesi, çevre standartları, ruhsatlandırma ve denetleme, Çevresel inceleme ve denetleme yapma, Su havzaları koruma projeleri vb.
Devlet Su İşleri (DSİ)	Su kaynağı araştırma, nehir havzalarının geliştirilmesi, 100.000 in üzerindeki belediyelere su temini vb.
Sağlık Bakanlığı	İçme suyu yasalarının taslakinin hazırlanması içme suyu standartlarının belirlenmesi, yerine getirilmesi ve bu standartların izlenmesi vb
İller Bankası	Su ve atıksu tesislerinin planlanması finanse edilmesi ve inşaatı, 3000 ila 100.000 nüfuslu yerlerin su temini vb.
Devlet Planlama Teskilatı (DPT)	Su kaynakları yatırımlarının (ör. Barajlar, rezervuar ve su temini) ve kirlilik kontrolünün (ör. Kanalizasyon ve kanalizasyon arıtımı) tüm planlanması vb.
Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İşleri İdaresi	Endüstriyel atıksuların desarjının denetlenmesi, su ve atıksu arıtma tesislerinin inşaat, işletme ve bakımı
Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı	Köyler için içme suyu ve atıksu hatlarının sağlanması (<3000), Balık ve Su kültürü yasalarının düzenlenmesi, suya ve kıyı sularına ait tüm kalite konularının kontrolü ve izlenmesinden sorumludur.
Türkiye Elektrik Kurumu	Enerji sağlamak için su kaynaklarının yönetilmesi
Turizm Bakanlığı	Turizm bölgelerinde atıksu altyapılarının inşaatı
İçişleri Bakanlığı	Yerel otoritelerin su yasalarının yerine getirilmesi
Devlet İstatistik Enstitüsü	Resmi istatistiklerin düzenlenmesi

5. TÜRKİYE'DEKİ KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN YENİDEN KULLANIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dünya hızla su krizine doğru sürüklenirken Türkiye'nin bu konuya yaklaşımları çeşitli üniversitelerde yapılan çalışmalar ile değerlendirilmektedir. Bu kapsamda Avrupa Birliği'ne giriş sürecindeki Türkiye'nin durumu; çeşitli fonlar ile desteklenerek incelenmektedir. Avrupa Komisyonu'nun yürüttüğü MEDA (Euro-Mediterranean Regional Program for Local Water Management) projesi programı çerçevesinde Türkiye'de İstanbul Teknik Üniversitesi'nde MEDAWARE Grubu (Akdeniz Ülkelerinde Tarımsal Üretimde Sürdürülebilir Kentsel Atıksu Arıtımı ve Geri Kazanımının Desteklenmesi için Araç ve Kılavuzların Gelistirilmesi) projesi kapsamında Türkiye'de 2003 yılı itibarı ile kamuya ait 129 kentsel atıksu arıtma tesisi incelenerek [36], arıtma tesislerinin bazı teknik, işletim, ekonomik ve sosyal bilgileri ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Seçilen 25 kentsel atıksu arıtma tesisi aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak [37],

- İstanbul, İzmir, Bursa gibi Türkiye'nin nüfus yoğunluğu fazla;
- Antalya, Muğla gibi Türkiye'nin önemli turizm yoğunluğu yüksek,
- Adana, Manisa, Düzce gibi Türkiye'nin önemli tarım yoğunluğu olan şehirlerin arıtma tesisleri desarj profilini ortaya çıkarmak amacıyla seçilmiştir.

Bu çalışmada, giderek önem kazanan su sıkıntısı ile gündeme gelen tarımsal amaçlı yeniden kullanım ile Türkiye'nin seçilen 25 adet kentsel Atıksu arıtma tesislerinin Ülkemizde mevcut SKKY Teknik Usuller Tebliğindeki sulama suyu parametrelerine göre değerlendirilmesini yapmak ve yeniden kullanım potansiyeli açısından değerlendirmek amaçlanmaktadır.

Ek A.1 Tablo da verilen kentsel atıksu arıtma tesislerinin arıtma çıkışı değerleri gösterilmektedir. Ölçülen değerler Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'ndeki parametrelerden seçilmiştir. Bu tablodaki parametreler çeşitli renkler

ile gösterilmektedir. Bu renklendirmede pembe renk AKM, kırmızı renk iletkenlik, yeşil renk SAR, sarı renk sülfat, mavi renk klor, mor renk fekal koliform için kullanılmıştır. Her bir kolon farklı bir arıtma tesisine aittir. Teknik Usuller Tebliği'ne göre IV. sınıf arıtılmış atıksuların ihtiyatla kullanılması ve V. Sınıf arıtılmış atıksuların kullanılmaması önerilmektedir. Bu nedenle IV ve V. sınıfa giren değerler kullanılmaması gerektiği ve yüksek değerler olduğu düşünülerek renklendirilmiştir.

Seçilen tesislerde yıllık debisi oldukça yüksek şehirler bulunmaktadır. İstanbul Pasaköy arıtma tesisinde üçüncül arıtma, diğer tüm tesislerde ise ikincil arıtma yapılmaktadır. Pasaköy arıtma tesisinde üçüncül arıtma (ileri arıtım) ile fosfor ve azot giderilmektedir. EK A.1'deki tablo incelendiğinde arıtmanın yanında dezenfeksiyon da yapılan tesisler; Afyon Merkez, Muğla Bodrum-Bitez, Muğla Bodrum-Göltürbükü, İzmir Karaburun-Iskele, Samsun Ondokuz Mayıs, Muğla Bodrum'dur.

Bursa Inegöl, İstanbul Tuzla, Bodrum Bitez, Bodrum Göltürbükü, Bodrum, Manisa Akhisar ve Alasehir, İzmir Merkez Kentsel Arıtma Tesislerinde ölçülen değerlerin çoğu SKKY Teknik Usuller Tebliği'ne göre yüksek kalmaktadır. Bu nedenle bu tesislerde genel olarak iyi bir arıtım yapılamadığını ve arıtma tesisinin verimli çalışmadığını söylemek mümkündür. Sayılan tesislerin haricinde sadece mikrobiyolojik açıdan kötü çalışan tesisler ise; Afyon Merkez, İzmir Karaburun Iskele, Sakarya, Isparta, Aydın Nazilli, Kütahya Merkez, Manisa Merkez, Antalya Manavgat Kumköy, Samsun 19 Mayıs, İstanbul Silivri ve Adana Yumurtalık tesisleridir. Bu sayılan tesislerden İzmir Karaburun Iskele ve Samsun 19 Mayıs tesislerinde fekal koliform yanında AKM değerinin de yüksek olduğu gözlenmektedir. Buradan çöktürme havuzlarında yeterli bekletme süresi sağlanarak yeterli arıtma sağlanırsa AKM değerinin de iyi duruma geleceği sonucu çıkarılabilir.

Tabloların yüzdeler ile ifade edilmesi gerekirse ilginç sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Fekal Koliform açısından 25 tesisin 22'sinde istenen çıkış kalitesi sağlanamamaktadır. Yani incelenen tesislerin %88'inde mikrobiyolojik açıdan istenen kalite sağlanamamaktadır. Klorür açısından tesislerin %28'inde, Sülfat açısından tesislerin %12'sinde, Sodyum Adsorpsiyon Oranı açısından tesislerin %40'ında, İletkenlik açısından tesislerin %28'inde ve Askıda Kati Madde açısından tesislerin %28'inde istenen çıkış kalitesi sağlanamamaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar

değerlendirildiğinde tesislerde yeterli verim sağlanamadığı, biyolojik arıtmaların yeterli çalışmadığı, yapılan klorlamaların yetersiz olduğu söylenebilir. Bu değerler Tablo 5.1’de özetlenmektedir. Tablodan görüleceği üzere dezenfeksiyon yapılan tesislerin yani 5 tesisin 4’ünde dezenfeksiyon yetersiz kalmaktadır. Mikrobiyolojik parametreler açısından ise tesislerin %88’i yetersizdir. Tablo 5.2’te EK A.1’de de verilen arıtma kademelerinin yüzdeleri yer almaktadır.

Tablo 5.1 Parametrelerin SKKY TUT III. Sınıftan Yüksek Olma Yüzdeleri

Parametreler	%
İletkenlik	28
Fekal Kolform	88
AKM	28
CI	28
Sülfat	12
SAR	40

Tablo 5.2’den de görüldüğü üzere tesislerin büyük çoğunluğunda birinci ve ikinci kademe arıtma prosesleri yer almaktadır. Havalandırma ve Uzun Havalandırma bulunmayan tesislerde Damlatmalı Filtre prosesi kullanılmaktadır. Dengeleme Tankı sadece İzmir Karaburun tesisinde bulunmaktadır. Nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor gideriminin yapılması sıkça karşılaşılan bir durum değildir.

İncelenen tüm tesislerde (25 tesis) biyolojik arıtma yapılmaktadır. Bu tesisler evsel atıksu arıtma tesisleri olduğundan tesisler ağır metaller açısından değerlendirilmemektedir. Çünkü bu tesislere herhangi bir endüstriyel atıksu karışımı olmamaktadır. pH değeri tüm tesis çıkışında istenilen değerlere yakındır. Tesislerin büyük bir genelinde KOI değeri çok yüksek değildir. Bursa Inegöl, Bodrum Bitez, Aydın Nazilli ve Manisa Akhisar’da KOI değerleri diğer tesislere oranla yüksektir.

Tablo 5.2 Aritma Tesislerinin Aritma Kademeleri

Toplam 25 Tesis için	Tesis sayısı	Tesis %
Izgara	25	100
Kum Tutucu	19	76
Ön Çöktürme	15	60
Havalandırma Tanki	13	52
Uzun Havalandırmalı Tank	3	12
İkinci Çöktürme Tanki	19	76
Damlatmalı Filtre	6	24
Çamur Çöktürme	7	28
Dengeleme Tanki	1	4
Çamur Stabilizasyon Tanki	4	16
Çamur Susuzlaştırma	2	8
Çamur Yogunlaştırma	9	36
Çözünmüş Hava Flotasyonu	2	8
Denitrifikasyon Tanki	3	12
Nitrifikasyon Tanki	2	8
Fosfor Giderimi	2	8

Tesislerin aritma kademeleri incelendiğinde birinci ve ikinci kademe aritma prosesleri bulunduğu gözlenmektedir. Ancak dezenfeksiyon her aritma çıkışında uygulanan bir yöntem değildir. Tablo incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- AKM değerlerine bakıldığında 45 mg/L'nin üzerindeki aritılmış atıksuların III. sınıfa girdiği üzerinde kaldığı yani kullanımının uygun olmadığı gözlenmektedir. Bu durumda Bursa, Muğla-Bitez, İzmir Karaburun, Manisa Akhisar, Manisa Alasehir ve Manisa Merkez aritma tesislerinin sulama için uygun olmadığı,
- İletkenlik açısından Bursa, İstanbul Tuzla, Muğla-Bitez, Muğla Bodrum-Göltürkbükü, Manisa Akhisar, İzmir Merkez ve Muğla Bodrum aritma tesislerinin çıkış sularının sulama açısından uygun olmadığı,
- Sodyum Adsorpsiyon Oranı açısından Afyon Merkez, Bursa Inegöl, İstanbul Tuzla, İstanbul Ataköy, Muğla-Bitez, Muğla Bodrum-Göltürkbükü, Manisa Akhisar, Manisa Alasehir, İzmir Merkez ve Muğla Bodrum aritma tesislerinin çıkış sularının sulama açısından uygun olmadığı gözlenmektedir.

- Sülfat açısından tesisler genellikle iyi seviyededir. Yani TUT'ne göre değerlendirildiğinde sulama sınıfı olarak I, II, ve III. sınıfa girmektedirler ki, III. sınıfa kadar aritilmiş atıksuların sulamada kullanımına izin verilmektedir.
- Klorür açısından ise yine Muğla, İzmir, Manisa ve İstanbul'da değerlerin yüksek çıktığı gözlenmektedir. Klorür iyonu tuzluluğu etkilediğinden bu parametreye özellikle dikkat etmek gerekmektedir. Özellikle Ege bölgesinde suların ve toprağın tuzluluğu da göz önüne alındığında bu çıkış değerlerinin hassas bitkilerin sulanmasında kullanımının uygun olmayacağı söylenebilir.
- Mikrobiyolojik açıdan incelendiğinde ise en fazla bu konunun dikkate alınmasının gerekeceği ortaya çıkmaktadır. İstanbul Terkos, Muğla Gölürbükü, Samsun Ondokuz Mayıs, Muğla Bodrum, İzmir Merkez ve Kayseri tesisleri hariç hiçbir tesisin çıkışı sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. Bu tesisler için mevcut duruma ve mevcut sulama kriterlerine göre bu sular ile sulamanın yapılması uygun değildir.

Tablo 5.3'te Seçilen tesislerin TUT'ne göre sulama sınıfları yer almaktadır. Bu tabloya göre sulama sınıfı IV (ihtiyatlı kullanım) ve V (kullanımı zararlı) olan değerler renklendirilerek işaretlenmiştir. Tabloda IV. sınıf sulama suyu mavi; V. sınıf sulama suyu ise kırmızı olarak renklendirilmiştir. İşaretli olan yerlerde aritilmiş atıksuların tarımda sulama amaçlı kullanılması uygun değildir. Genel hatlarıyla tablo incelendiğinde pek çok tesisin istenen sulama sınıfına getirilemediği gözlenmektedir. Bu durum; tesislerin verimli olarak çalışmadığının bir göstergesi olabilir. Bu nedenle tesislerin dizayn değerleri gözden geçirilmelidir. Pek çok tesiste fekal koliform değerinin çok yüksek olduğu gözlenmektedir. Hatta pek çok tesiste fekal koliform değeri litrede 1 milyonun üzerindedir. SAR, İletkenlik, AKM, Cl parametrelerinin de çoğu tesiste yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle sulama amaçlı kullanımları uygun değildir. Ancak sülfat parametresi açısından önemli bir sorun gözlenmemektedir. Özellikle Bor parametresi açısından tesisler genellikle I ve II. Sınıfa girmektedirler. Türkiye'de Bor parametresine özel önem gösterilmesi gerektiği pek çok kaynakta belirtilmektedir. Tesislerde ilk bakışta böyle bir sorun oluşmadığı izlenimi oluşmaktadır. Ancak SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde Tablo 9 Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması olarak bor parametresi için ayrıca bir tabloya işaret edilmektedir. Bu nedenle sulama

yapılması planladığında Bor için bu tabloya bakmak gerekmektedir. SKKY Teknik Usuller Tebliği Tablo 9’da bor için sınıflandırma yapılırken sulanacak bitkiler duyarlıklarına göre ayrılmaktadır. Duyarlı bitkilerden olan ceviz, limon, incir gibi bitkilerin sulanmasında bor konsantrasyonu 0.33 ile 1.00 arasında iken; dayanıklı bitkilerden seker pancarı, soğan, marul ve havuç sulanırken bor konsantrasyonun 1 ile 3 arasında olmasına izin verilemektedir. Oysa genel tabloda (yani SKKY TUT Tablo 4) bor konsantrasyonunun 1.00 ile 2 arasında olmasına izin verilmektedir. (Bor ile ilgili bu değerler verilirken yine III sınıfa kadar olan değerler belirtilmektedir. Çünkü IV ve V. sınıf suların kullanımının uygun olmadığı düşünülmektedir.)

• Afyon Merkez, Bursa Inegöl, İstanbul Tuzla, İstanbul Ataköy, Muğla Bodrum, Muğla Bodrum Bitez, Muğla Bodrum Göltürkbükü, Manisa Akhisar, Manisa Alasehir, İzmir Merkez, İzmir Karaburun Iskelelerdir. Özellikle Ege Bölgesi ve Marmara Bölgesinde arıtma tesisi çıkış sularının tarımda sulama amaçlı kullanılması uygun değildir. Türkiye genelinde bu iki bölge teknik ve ekonomik anlamda ön planda olan gelişmiş bölgelerdendir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda diğer bölgelerde durumu tahmin etmek çok da zor değildir.

Sözü edilen tesislerin dışında Manisa Merkez Atıksu arıtma tesisinde Fekal Koliform ve AKM değerleri yüksektir. Bu durum yeterli işletme koşullarının iyi olmadığını ve dezenfeksiyonun yapılmadığının göstergesidir ki bu tesiste dezenfeksiyon yoktur.

İstanbul Terkos arıtma tesisinde incelenen parametrelerde hiçbir sorun gözlenmemektedir. Bu tesisin arıtılmış atıksuları sulamada kullanıma uygundur. Sayılan tesislerin dışında kalan diğer tesislerde ise Fekal koliform değerleri çok yüksektir. Bu nedenle bu tesislerden çıkan arıtılmış atıksular ile sulama yapılması uygun değildir. Ancak tesislere ilave bir arıtım yapılırsa ya da tesislerin arıtma verimleri artırılırsa ve bunun ardından iyi bir dezenfeksiyon gerçekleştirilirse bu tesislerin arıtılmış atıksuları da sulamada kullanıma uygun hale getirilebilir.

Tablo 5.3 Seçilen Atıksu Aritma Tesislerinin Ulusal Sulama Suyu Kriterlerine Göre Yeniden Kullanımı Açısından Sınıflandırılması

Aritma Tesisi İsimleri	Sulama Suyu Olarak Kullanımın Değerlendirilmesi							
	Hizmet Verdiği Nüfus	SAR	Fekal Koliform	Bor	İletkenlik	Cl ⁻	AKM	SO ₄
Afyon Merkez	150.000	V	V	I	III	II	II	I
Bursa Inegöl	150.000	V	V	I	IV	III	IV	I
Istanbul Terkos	10.000	I	II	I	II	I	II	I
Istanbul Pasaköy	250.000	II	V	II	III	I	I	I
Istanbul Tuzla	1.500.000	V	V	II	V	V	III	III
Istanbul Ataköy	45.000	V	V	I	III	III	I	I
Mugla Bodrum	29.004	V	I	II	V	V	II	II
Mugla Bodrum-Bitez	30.000	V	V	II	V	V	IV	IV
Mugla Bodrum Göltürkbükü	17.500	V	IV	I	IV	IV	I	I
Kütahya Merkez	180.000	I	V	I	III	I	III	I
Manisa Akhisar	83.600	V	V	I	III	III	IV	I
Manisa Alasehir	55.000	V	V	I	III	I	IV	II
Manisa Merkez	250.000	II	V	I	III	I	IV	I
Aydın Nazilli	106.000	III	V	I	III	I	III	II
Antalya Manavgat Kumköy	120.000	II	V	I	III	I	I	I
Antalya Manavgat Titreyengöl	30.000	II	V	I	II	II	I	I
Izmir Merkez	2.500.000	V	I	III	V	IV	I	III
Izmir Karaburun Iskele	1.500	III	V	I	III	III	IV	I
Isparta Merkez	150.000	III	V	I	III	I	II	I
Sakarya	500.000	II	V	I	III	I	I	I
Samsun 19 Mayıs	12.000	III	V	I	III	I	II	I
Düzce Merkez	100.000	II	V	I	II	I	I	I
Istanbul-Silivri	9.000	I	V	I	III	III	II	I
Kayseri-KASKI	800.000	I	IV	I	III	II	II	I
Adana Yumurtalık	1.500	I	V	I	III	II	I	I

(Kırmızı) : SKKY TUT'ne göre V. Sınıfa giren değerler
(Mavi) : SKKY TUT'ne göre IV. Sınıfa giren değerler

Tablo 5.3 incelendiğinde pek çok parametrenin sulama için uygun olmadığı görülmektedir. Bu tesisler;

Toprak tuzluluğunun yüksek olduğu ve kurak iklimin yaşandığı yerlerde iletkenlik değerlerine dikkat etmek gerekmektedir. Bu nedenle iletkenliği yüksek olan artilmiş atıksuların sulamada kullanılması sakıncalıdır. Bu değerler tablodan da görüleceği üzere Ege Bölgesindeki (özellikle Muğla ve İzmir'deki) tesislerde yüksektir. Bu bölgede yaz aylarındaki sıcaklık artışı ve buharlaşma oranının da artması ile sulama suyu ihtiyacı artacağından bu yerler artilmiş atıksu ile sulama yapılmamalıdır. Eğer sulama yapılması mecburiyeti olursa tuz seven bitkilerin yetistirilmesi daha uygun olacaktır.

SAR değeri açısından da tesisler incelendiğinde çıkış değerleri açısından tesislerin yaklaşık % 40'ini sulama açısından uygun değildir. Ancak tablolarda dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise tüm tesislerin bor parametresi açısından çok iyi veya iyi kalitede olduğudur. Türkiye'nin bor açısından çok zengin olduğu ve bu parametreye özel önem verilmesi gerektiği düşünüldüğünde bor açısından bir sorun gözlenmemektedir.

Tablolarda dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise; bir parametre incelenirken kesinlikle sulamada kullanılmaması gereken bir artilmiş atıksuyun, diğer parametre incelenirken çok iyi kalitede olabileceği konusudur. Bu durum göz önüne alındığında sulama yapılırken bitki seçiminin iyi yapılmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Yani bir konuda hassas ya da duyarlı olan bir bitki; diğer bir parametreye oldukça dayanıklı olabilir. Bu nedenle sulamada arazi ve sulama şartlarına göre bitki seçimi ve sulama yöntemi iyi yapılmalıdır.

Değerleri kısaca özetlemek gerekirse aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

- Dezenfeksiyon yapılan 5 tesisin 4'ünde istenen kalitede su elde edilememektedir (yani incelenen tesislerin % 80'inde)
- 25 tesisin 6'sında iletkenlik yüksek (% 24'ünde)
- 25 tesisin 10'unda SAR yüksek (%40'ında)
- 25 tesisin 22'sinde mikrobiyolojik kalite sağlanamıyor (%88'inde)

- 25 tesisin 6'sinde AKM yüksek (%24'ünde)
- 25 tesisin 5'sinde CI yüksek (%20'sinde)
- Bor arıtma tesislerinin çıkışında problem oluşturmamaktadır. Ancak bu tesislerden çıkan arıtılmış sular ile sulama yapılması planlandığında SKKY Teknik Usuller Tebliği Tablo 9'a göre değerlendirme yapmak gerekmektedir,
- Tesislerin çoğunda yeterli arıtım yapılamadığı gözlenmektedir,
- Dezenfeksiyon yapılan tesislerde dezenfeksiyon yetersiz (klorlama verimsiz),
- Tesislerin çoğu mevcut yönetmelige göre sulamada yeniden kullanıma uygun değildir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya’da temiz su kaynaklarının giderek azalması ile arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı gün geçtikçe önemi arttıran bir konu haline gelmektedir. Pek çok ülke karşı karşıya kaldıkları su sıkıntısını aşmak üzere çeşitli su tüketim alanlarında yeniden kullanım yapmaktadır. Ancak arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı gerekli önlemler alınmadığı takdirde çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başında sağlık sorunları gelmektedir. Bu nedenle çevre ve insan sağlığını korumak üzere arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında çeşitli kriter ve standartların oluşturulması zorunlu hale gelmektedir.

Dünya’da pek çok ülke kriter veya standart oluşturma yolunda gelişmeler kaydetmektedir. Son yıllarda kriter ve standartlar oluşturulurken kullanım amacına göre arıtma ve standart, kriter belirleme eğilimindedir. Shuval, Blumenthal ve diğerlerinin yaptığı çalışmalar, WHO 2006 revizyonu, Ürdün standartları hep bu yöndedir. Yani kullanım amacına göre arıtım yapılması için kriter ve standart geliştirilmeye çalışılmaktadır. Dünya bu eğilimde iken bunun paralelinde Türkiye’de aynı eğilim gözlenmemektedir. FAO (1985) Sulama Suyu Kriterlerinden belli bir süre sonra Türkiye’de 1991 yılında yürürlüğe giren SKKY Teknik Usuller Tebliği ile Arıtılmış Atıksuların Tarımda Sulama amaçlı kullanımı konusunda ülkemiz; 1991’den bu yana 2004 yılında SKKY’nin revize edilmesine rağmen Teknik Usuller Tebliğinde herhangi bir revizyon yapmamıştır. Yasal düzenlemelerin eski tarihe dayanması, uygulama ve izleme çalışmaları konusunda herhangi bir hareket gözlenmemesi bu konudaki eksikliği gözler önüne sermektedir. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de revizyonların yapılması gerekmektedir. Aslında bu konuda üniversiteler ve su sektöründe çalışan çeşitli devlet kuruluşlarında yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Avrupa Birliği Direktifi hazırlanırsa bu; Avrupa Birliği’ne girme sürecindeki Türkiye açısından zorlayıcı bir unsur olabilir ve Türkiye bu konudaki çalışmalarını hızlandırabilir.

AB ülkelerinde yasal düzenlemelerle birlikte uygulamaların izlendiği bilinmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin ortak sorunlarından biri de; etkin izleme ve kontrol çalışmalarının, konuya verilen önemin yetersizliğidir. Kontrol ve izleme programlarının uygulamaya geçmemesinin en önemli nedenleri arasında yeterli düzeyde finansman ayrılması, yetişmiş eleman, laboratuvar, alet ve ekipman gibi alt yapı eksikliği gelmektedir. Bu eksiklik ve imkansızlıkların AB üyelik süreci içerisinde muhakkak giderilmesi gerekmektedir. Türkiye gibi coğrafik-jeopolitik olarak önemli ve stratejik bölgede bulunan bir ülkede; sosyal ve ekonomik gelişmelerin hızla tamamlanması, bölge ülkeleriyle günümüzün ve geleceğin önemli problemi olacak su temini probleminin çözümünde derhal uygulamaya geçilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı kapsamında Türkiye’de mevcut 129 Kentsel Atıksu arıtma tesislerinin 25 tanesi SKKY Teknik Usuller Tebliğine göre değerlendirildiğinde pek de iç açıcı sonuçların elde edilemediği gözlenmektedir. İncelenen tesislerin %88’inde yeterli mikrobiyolojik kalite sağlanamamaktadır. Bu oldukça yüksek bir değerdir. Mevcut sınırlamaların oldukça üzerinde sonuçlar olduğu gözlenmektedir. Bu durum; çeşitli sakıncaları da beraberinde getirmektedir. Örneğin; bu tesislerden çıkan arıtılmis atıksular ile sulama yapılması durumunda, sulama yapılan çevre hakkında çeşitli sağlık sorunları görülmesi büyük bir olasılıktır. Çünkü mikrobiyolojik açıdan yeterli kalite sağlanmadığında sudaki patojenler önce toprağa, sonra bitkilere ve dolayısıyla da insanlara geçmektedir. Bunun sonucu olarak kolera, tifo gibi çeşitli salgın hastalıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle sulama yapılması durumunda mikrobiyolojik kaliteye özel önem gösterilmelidir.

Mikrobiyolojik parametrelerin yani sira SAR, İletkenlik ve Klorür iyonu gibi parametrelerin de mevcut sınırlamaların üzerinde olduğu gözlenmektedir. Bilindiği üzere iletkenlik ve klorür iyonlarının artması tuzluluğun bir göstergesidir. Tuzluluğun artması sonucu bitkiler ihtiyaçları olan suyu yeteri kadar alamamaktadır. Bunun yanı sıra tuzluluğa duyarlı bitkilerde çeşitli toksisiteler oluşmaktadır. Tüm bunların ardından bitkilerde yeterli gelişememe, kuruma, ölme gibi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu da ülke için ekonomik anlamda bir kayıptır. Çünkü bitkilerin ölmesi elde edilen ürün miktarını da etkilemektedir. Seçilen tesisler arasında özellikle Ege Bölgesindeki tesislerden çıkan arıtılmis atıksular tuzluluk açısından önemli bir risk

tasimaktadır. Ege bölgesinin iklim sarlari da göz önünde bulundurulduğunda sulama için bir kat daha özen gösterilmesi gerektiği daha net şekilde ortaya çıkmaktadır.

Istanbul Pasaköy aritma tesisinde ileri aritma yapılmasına rağmen burada da istenen mikrobiyolojik kalitenin sağlanamadığı gözlenmektedir. Tesislerden çıkan bu sonuçlar değerlendirildiğinde tesislerin yeterli aritmayı sağlayamadığı ortaya çıkmaktadır.

Klorlama açısından tesisler yeterli verim ile çalışmamaktadır. Aslında pek az tesis çıkışında klorlama işlemi uygulanmaktadır. 25 tesisin 5 tanesinde klorlama bulunmakta; diğerlerinde herhangi bir dezenfeksiyon işlemine rastlanmamaktadır. Yani tesislerin ancak %20'sinde dezenfeksiyon uygulanmaktadır. Bu oldukça yetersizdir. Bu sayının yetersiz olmasının yanı sıra; dezenfeksiyon yapılan tesislerde uygulanan dezenfeksiyon işlemi de yetersizdir. Bu sonuçlar ışığında ve mevcut sınırlamalar çerçevesinde bu tesislerden çıkan aritilmiş atıksular ile sulama yapılması uygun değildir.

Dünya çapında son yıllarda kullanım amacına göre kriterler oluşturulması eğilimi gözlenmektedir. Oluşturulan yeni değerler incelendiğinde bazı kullanımlar için mevcut değerler ile bile yeniden kullanıma izin verilebilmektedir. Örneğin yüksekte büyüyen bitkilerin damlatmalı sulama yöntemi ile sulanması ya da yüksek oranda mekanik tarım yapılması durumunda 100 mililitrede 100.000 E. Coli değerine izin verilmektedir. Alçakta büyüyen ve köklü bitkilerin sulanmasında 100 mililitrede 1000 E.Coli'ye; yapraklı bitkilerin sulanmasında ise 100 mililitrede 10.000 E.Coli'ye izin verilmektedir.

Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere dünyadaki gelişmelerin dikkatlice takip edilmesi ve ülkemizdeki kriterlere de bu gelişmelerin yansıtılması gerekmektedir. Ancak gelişmelerin kriterlere sadece yansıtılması yeterli olmayacaktır. Ülkemizde 1991 yılından beri aritilmiş atıksular ile sulama konusunda kriterler olmasına rağmen uygulamada yetersiz kalındığı, denetim eksikliği olduğu ve hatta atıksuların aritmeden direkt olarak sulamada kullanıldığı gözlenmektedir. Bu nedenle teblig ve kriterlerde revizyonlar yapılırken yeniden kullanım konusunda ön plana çıkan çeşitli ülkelerdeki uygulamalar da gözlenmeli ve ülkemize uygun, pratikte uygulanabilir kriterler oluşturulmalıdır. Uygulanabilir kriterlerin oluşturulmasının yanı sıra bu

kriterlerin uygulanması için çiftçiler ve denetimciler eğitilmeli, bilinçlendirilmelidir. Bu alanda denetim mekanizmaları oluşturulmalı ve bu mekanizmaların düzgün şekilde çalışması sağlanmalıdır.

Diğer yandan DSI'den edinilen bilgilere göre ülkemiz henüz temiz su kaynaklarını tam olarak kullanamamaktadır. Karadeniz, Marmara Bölgeleri, Dicle ve Fırat yörelerinde henüz nehirlerden yeterli kapasitede yararlanılamamaktadır ve bunun asılması için 2040 yılına kadar köklü adımlar ile baraj yapımı çalışmalarını sürdürülmektedir. Örneğin; Marmara Bölgesinde Büyük Melen Projesi bu çalışmalardandır. Ancak bazı bölgelerde (özellikle Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz Bölgelerinde) kurak aylarda su sıkıntısı yaşanmaktadır. Bu nedenle su sıkıntısı değerlendirilirken bölgesel hatta yöresel olarak değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu değerlendirmeler yapılırken bölgenin iklim şartları, toprak özellikleri, tuzluluk, çevre halkı, kültür gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Ülkemizde su ve atıksu konularında çalışan ondan fazla kurum bulunmaktadır. Uygulamada bu kurumların genellikle birbirlerinden kopuk çalışmalar yaptığı gözlenmektedir. Bu sıkıntının asılabilmesi için yöresel bazda su yönetimi yapılması, iletişimin etkili şekilde sağlanabilmesi için yeniden kullanım işleminin tek bir kurumda toplanması önerilmektedir.

Diğer yandan komşu ülkelerde şimdiden su sıkıntılarını ciddi boyutlara ulaştırmıştır. Güney Kıbrıs, Suriye, İsrail, Ürdün gibi ülkeler su yönetimi için gelecek planlarını şimdiden yapmaktadırlar. Suriye ile geçimiste su nedeniyle yaşanan krizler hatırlandığında ülkelerin su sıkıntısı problemlerine ortak çözümler getirmeleri gerektiği, ortak politikaların oluşturulması gerektiği daha net şekilde anlaşılabilmektedir. İleride yeni krizlerin yaşanmaması için bu politikaların bir an önce planlanması gerekmektedir. Kısa yapılması gerekenleri su şekilde sıralamak mümkündür.

- Araziye, toprak şartlarına ve sulama uygulamalarına uygun olarak seçilen bitkiye göre sulama tekniği seçilmelidir.
- Yasa ve standartların oluşturulması konusunda yeterli baskı oluşturulmalıdır.

- Uygun standartların seçimi ve gerekli durumlarda revizyon yapılarak yönetmelikler oluşturulmalıdır.
- Karar mekanizmalarındaki bilgi eksikliklerini giderecek önlemler alınmalıdır.
- Arıtılmış atıksu ile sulama yapan ülkelerin deneyimlerinden faydalanılmalıdır.
- Sulama ile ilgili kurumun gerekli analizleri ve izlemeyi yerine getirmesi ve bu alanda gerekli denetlemeyi sağlaması gerekmektedir.
- Kurumların görev ve sorumlulukları, yetki alanları iyi tanımlanmalıdır.
- Kurumlar arasında iyi bir koordinasyon sağlanmalıdır ve yöresel bazda kurumlar oluşturulmalıdır.
- Mevcut arıtma tesislerinin verimli şekilde çalışmalarını için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Tuzluluğu yüksek olan yerlerde arıtılmış atıksu ile sulama yapılacak ise arıtılmış atıksuların tuzluluğu kontrol edilmelidir.

Sonuç olarak suyun önemli olduğu dünyamızda ve tarım sektörünün önemli olduğu ülkemizde, kullanılan suların arıtılarak tarımda sulama amaçlı yeniden kullanımı ülkemizin önemli bir açığını kapatacaktır. Bu konuda öncü rehberlerden yararlanmak suretiyle yola çıkılarak uygulanabilir ve izlenebilir parametrelerin de dikkate alınması; mevcut yönetmeliğin revize edilmesi gerekmektedir. Her şeyden önemlisi kullanılan suların arıtıldığı kentsel atıksu arıtma tesislerinin iyi koşullarda çalışıyor olması ve denetimin iyi yapılması bir ön koşul olacaktır. İyi bir denetimin yapılabilmesi için bu konuda eğitilmiş ve bilinçli insanların artması gerekmektedir. Bu konuda gerekli eğitim için desteğin sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı-DSI**, 2005. Akarsularımız, Göllerimiz, Barajlarımız. “DSI Zamanla Yarıyor” 2005.
- [2] **DSI Genel Müdürlüğü** Toprak ve Su Kaynakları, 2005
<http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm>
- [3] **Devlet İstatistik Enstitüsü** - Genel Nüfus Sayımlarına göre nüfus, yıllık nüfus artış hızı, yüzölçümü ve nüfus yoğunluğu, 2000 Genel Nüfus Sayımı Kesin Sonuçları, 2000.
http://www.die.gov.tr/nufus_sayimi/2000tablo1.xls
- [4] **Su Dünyası Dergisi Türkiye'de ve Dünyada İçme Suyu Kullanımı ve Arıtma Teknolojisi** http://www.su-dunyasi.com.tr/aralik2003_5/icme_suyu.htm Aralık 2003 / 5. sayı
Dergi İçerik **2003**
- [5] **Devlet İstatistik Enstitüsü** - Genel Tarım Alanları.
<http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/TARIM/290502/290502y.html>
- [6] **KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü**, 2005.
<http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/MAKALE/makale002.htm>.
- [7] **North Dakota State University** Soil, Water and Plant Characteristics Important to Irrigation, 1996
<http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ageng/irrigate/eb66w.htm#soil>
- [8] **KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü**, 2005.
www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/7.htm - 20k

- [9] **KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü**, 2005.
www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/6.htm
- [10] **FAO** (1985). Water quality for Agriculture, 1985: Recommendations of the
FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) for
the quality of water used for irrigation purposes.
<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm>
- [11] **KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü**, 2005.
www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/3.htm
- [12] **KHGM, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü**, 2005.
www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/10.htm -
- [13] **Karajeh, F., Mills, Richard A., BenJemaa, F., Prillwitz Marsha**, 2004.
Issues Confronting Water Recycling In California. California
Department of Water Resources P. O. Box 942836, Sacramento, CA
94236-0001, USA.
- [14] **EPA.**, 2004. Guidelines for Water Reuse US Environmental Protection Agency.
EPA/625/R-04/108 September, 2004.
- [15] **Khoury, Nadim; Kalbermatten, John M.; Bartone, Carl R.**; 1994. Reuse of
Wastewater in Agriculture: A Guide for Planners UNDP-World Bank
Water and Sanitation Program The World Bank Washington, DC.
- [16] **Kretschmer, N.; Ribbe, L. ve Gaese, H.**; 2002. Wastewater Reuse for
Agriculture. Technology Ressource Management & Development -
Scientific Contributions for Sustainable Development, Vol. 2
- [17] **Arceivala, Soli J.**, 2002. Çevre kirliligi kontrolünde atıksu aritimi. Türkçeye
çevirenler Ali Hakan Balman, Vahap Balman 2002.
- [18] **Lallana C., Krinner W., CEDEX T. Estrela**, 2001. Sustainable water use in
Europe Part 2: Demand management S. Nixon, Water Research
Centre J. Leonard, J. M. Berland, IOW ETC/IW Leader: T. J. Lack
http://www.tt.fh-koeln.de/d/itt/publications/subject_bundles.htm

- [18b] **Lallana C., Krinner W., CEDEX T. Estrela,** 1999. Sustainable water use in Europe Part 1: Sectoral use of Water S. Nixon, Water Research Centre J. Leonard, J. M. Berland, IOW ETC/IW Leader: T. J. Lack
- [19]. **Blumenthal, Ursula J; Mara, D. Duncan; Peasey, Anne; -Palacios, Guillermo Ruiz; Stott, Rebecca;** 2000. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. World Health Organization 2000 Bulletin of the World Health Organization, 2000, 78
- [20] **Fattal, Badri; Lampert, Yael ve Shuval, Hillel;** 1997. A Fresh Look at Microbial Guidelines for Wastewater Irrigation in Agriculture: A Risk-assessment and Cost - effectiveness Approach. http://www.idrc.ca/en/ev-68331-201-1-DO_TOPIC.html
- [21] **GAP Nihai Rapor,** 2003. GAP Bölgesinde Kentsel Atıksuyun Aritilmesi ve Sulamada Tekrar Kullanılması II. Asama Siverek Pilot Projesi Fizibilite Çalışması Nihai Rapor
- [22] **Chang, Andrew C; Pan, Genxing; Page, Albert L.; ve Asano, Takashi;** 1992. Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Water and Sewage Sludge Applications in Agriculture. World Health Organization
- [23] **Water Recycling in Australia - May 2004.**
<http://www.atse.org.au/index.php?sectionid=600>.
- [24] **Karajeh, Fawzi; Mills, Richard A.; BenJemaa, Fethi; Prillwitz; Marsha,** 2004. Issues Confronting Water Recycling In California. California Department of Water Resources P. O. Box 942836, Sacramento, CA 94236-0001, USA California State Water Resources Control Board P. O. Box 944212, Sacramento, CA 94244-2120, USA
- [25] **WHO,** 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Tech. Report Series No. 77, WHO; Geneva, Switzerland

- [26] **Water And Wastewater Reuse**, An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management United Nations Environment Programme 2003.
- [27] **Su Kirliligi Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği**, 2004.
- [28] **EEA, Water Stres**, 2000. <http://reports.eea.eu.int/92-9157-202-0/en/3.5.pdf>
- [29] **EC, The Environmental Impacts of the Irrigation in the European Union**, 2000. A report to the Environment Directorate of the European Commission by the Institute for European Environmental Policy, London in Association with the Polytechnical University of Madrid and the University of Athens, March 2000.
<http://europa.eu.int/comm/environment/agriculture/pdf/irrigation.pdf>
- [30] **Angelakis, A.N.** 2003. Wastewater Recycling Practices in Mediterranean Region. National Foundation for Agricultural Research, Iraklio, Greece. Izmir-Turkey September 25-26 2003.
- [31] **Angelakis, A.N., Bontoux L., and Lazarova V.,** 2003. Challenges and perspectives for water recycling and reuse in EU countries. Water Science and Technology: Water Supply Vol 3 No 4 pp 59–68 © IWA Publishing 2003.
- [32] **Zielgelmayer, Thomas**, 2004. Reclaimed Water Project (RWP). P.O. Box 926238, Amman 11190, HK of Jordan, German Technical Cooperation (GTZ)
- [33] **JS/893/1995**. <http://www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/jordan.htm>
- [34] <http://www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/jordan.htm> 2004
- [35] **Lahlou, Abdelhadi** 2004. Water And Wastewater Purification In North Africa. International Expert Zankat Rhamna, Rabat, Morocco.
- [36] **Arslan- Alaton, I., Eremektar, G., Tanik, A., Gurel, M., Ovez, S., Orhon, D.** (2004). Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries-

MEDAWARE, EC, Euro-Mediterranean Partnership, Task 2, Turkey Report, January 2004.

- [37] **Arslan-Alaton, I., Eremektar, G., Tanik, A., Gurel, M., Ovez, S., Orhon, D.** (2004). Development of Tools and Guidelines for the Promotion of the Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries-MEDAWARE, EC, Euro-Mediterranean Partnership, Task 3, Turkey Report, January 2004.

EKLER

Tablo 1. Türkiye’de Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin SKKY Teknik Usuller Tebliği’ne Göre Değerlendirilmesi

	Teknik Usuller Tebliği	Afyon Merkez	Bursa Inegöl	Istanbul Terkos	Istanbul Pasaköy	Istanbul Tuzla
Çıkış Debisi (m³/yıl)		7.300.000	23.360.000	1.095.000	23.725.000	82.125.000
Hizmet Verdigi Nüfus		150.000	150.000	10.000	250.000	1.500.000
pH	6-9	7,8	8,15	7,2	6,6	7,4
AKM (mg/L)	20-100	30	50	25	15	35
İletkenlik	0-3000	1.650	2.200	620	825	9.250
SAR	<10-26	41,9	119,4	8	17,9	164,9
Sülfat (mg/L)	0-960	145	160	105	105	535
Cl⁻ (mg/L)	0-710	202	325	45	95	2.390
Fekal Koliform	0-1000	43.200	14.500	5	3.500	12.000
Bor (mg/L)	0-2	0,4	0,22	0,14	0,57	0,7
Arıtma Tipi		B	B	B	I	B
Arıtma Kademesi		I+KT+ÖÇT+HT+İÇT+KL+ÇÇ	I+UHT+İÇT+BFP	I+HT+İÇT+BF P	I+KT+PRT+NT+DT+İÇT + ÇHF+ÇS	I+KT+ÖÇT+HT+İÇT+ ÇY+ÇHF+ ÇS

Tablo 1 (Devami)

	Teknik Usuller Tebliği	Istanbul Ataköy	Mugla Bodrum-Bitez	Düzce Merkez	Mugla Bodrum Göltürkbükü	Izmir Karaburun Iskele
Çıkış Debisi (m³/yıl)		1.905.665	1.241.000	87.600.000	109.500	87.600
Hizmet Verdigi Nüfus		45.000	30.000	100.000	17.500	1.500
pH	6-9	7,3	7,7	7,35	6,8	7,65
AKM (mg/L)	20-100	20	50	10	15	60
İletkenlik	0-3000	1.700	13.000	700	2.500	1.650
SAR	<10-26	50,1	168,9	16,7	64,9	24,9
Sülfat (mg/L)	0-960	150	684	50	125	65
Cl⁻ (mg/L)	0-710	410	3.740	98	690	260
Fekal Koliform	0-1000	5.000	9.600	27.000	300	17.000
Bor (mg/L)	0-2	0,5	0,65	0,47	0,5	0,25
Aritma Tipi		B	B	B	B	B
Aritma Kademesi		I+KT+ÖÇT+D F+İÇT+ÇÇ+B FP	I+HT+ İÇT+ÇY+ BFP+KL	I+KT+ÖÇT+D F+İÇT+ ÇY+ÇÇ+BFP	I+KT+ HT+İÇT+ ÇY+BFP+ KL+ KTF	I+DeT+HT+ İÇT+KL+ÇY

Tablo 1 (Devami)

	Teknik Usuller Tebliği	Sakarya	Isparta Merkez	Aydin Nazilli	Kütahya Merkez	Manisa Merkez
Çıkış Debisi (m³/yıl)		36.500.000	13.870.000	3.942.000	14.892.000	10.585.000
Hizmet Verdigi Nüfus		500.000	150.000	106.000	180.000	250.000
pH	6-9	7,05	7,5	7,78	7,66	7,98
AKM (mg/L)	20-100	15	30	34	10	50
İletkenlik	0-3000	800	1.125	1.764	941	1.119
SAR	<10-26	12,9	23,6	20,6	6,6	11,1
Sülfat (mg/L)	0-960	60	60	223	65	80
Cl⁻ (mg/L)	0-710	97	110	127	44	76
Fekal Koliform	0-1000	26.000	28.800	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶
Bor (mg/L)	0-2	0,28	0,45	0,066	0,043	0,028
Aritma Tipi		B	B	B	B	B
Aritma Kademesi		I+KT+ÖÇT+U HT+İÇT+ ÇY+BFP	I+KT+ ÖÇT+ UHT+İÇT+ ÇY+BFP	I+KT+ÖÇT+ HT+İÇT+ÇÇ +ÇY+ ÇKY	I+KT+ ÖÇT+DF+I ÇT+ÇÇ+ÇK Y	I+KT+ÖÇT+D F+İÇT+ÇÇ+Ç KY

Tablo 1 (Devami)

	Teknik Usuller Tebliği	Manisa Akhisar	Manisa Alasehir	Antalya Manavgat Kumköy	Antalya Manavgat Titreyengöl	Samsun 19 Mayıs
Çıkış Debisi (m³/yıl)		3.504.000	1.024.920	8.030.000	3.914.625	146.000
Hizmet Verdigi Nüfus		83.600	55.000	120.000	30.000	12.000
pH	6-9	7,33	7,4	7,33	7,45	6,9
AKM (mg/L)	20-100	50	60	2	15	55
İletkenlik	0-3000	1.902	1.289	1.074	745	1.319
SAR	10-26	34,7	34,7	16,3	17	18,4
Sülfat (mg/L)	0-960	88	196	112	37	52
Cl⁻ (mg/L)	0-710	472	69	132	195	104
Fekal Koliform	0-1000	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶
Bor (mg/L)	0-2	0,035	0,055	0,042	0,036	0,049
Aritma Tipi		B	B	B	B	B
Aritma Kademesi		I+KT+ÖÇT+D F+İÇT	I+KT+ ÖÇT+DF+I ÇT	I+KT+HT+D T	I+KT+KB	I+KT+ÖÇT+ NT+DT+HT+ İÇT+KL

Tablo 1 (Devami)

	Teknik Usuller Tebliği	Izmir Merkez	Mugla Bodrum	Istanbul Silivri	Kayseri KASKI	Yumurtalik-Adana
Çıkış Debisi (m³/yıl)		144.740.240	2.190.000	492.750	40.150.000	82.855.000
Hizmet Verdiği Nüfus		2.500.000	29.004	9.000	800.000	1.500
pH	6-9	8,03	7,86	6,95	7,4	7,55
AKM (mg/L)	20-100	7	26	25	20	7
İletkenlik	0-3000	8.590	7.380	1.588	900	987
SAR	<10-26	99,1	153,1	5,69	4,92	2,03
Sülfat (mg/L)	0-960	440	308	118	125	106
Cl⁻ (mg/L)	0-710	3.276	2.380	257	182	175
Fekal Koliform	0-1000	0	0	4.600	600	11.000
Bor (mg/L)	0-2	1,18	0,865	<0.05	<0.05	<0.05
Aritma Tipi		B	B	B	B	B
Aritma Kademesi		I+KT+ÖÇT+PRT+HT+ÇST	I+KT+HT+İÇT+BFP+KL	I+UHT+ÇST+KL	I+KT+YT+ÖÇT+HT+ÇST+ÇY+ÇÇ	I+ÖÇT+HT+ÇST+KL

■ Pembe : AKM değeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sınıfa giren değerler

■ Kırmızı : İletkenlik değeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sınıfa giren değerler

- Yesil : SAR degeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sinifa giren degerler
■ Sari : Sülfat degeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sinifa giren degerler
■ Mavi : Klorür degeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sinifa giren degerler
■ Mor : Fekal Koliform degeri SKKY TUT'ne göre IV ve V. sinifa giren degerler

I: Izgara, KT: Kum Tutucu, ÖÇT: Ön Çöktürme Tanki, HT: Havalandırma Tanki, İÇT: İkincil Çöktürme Tanki, DF: Damlatmalı Filtre, DeT: Dengeleme Tanki, KTF: Kum Tutucu Filtre, ÇHF: Çözünmüş Hava Flotasyonu, KL: Klorlama, UHT: Uzun Havalandırma Tanki, BFP: Belt Filtrepress, ÇY: Çamur Yogunlastırma, ÇKY: Çamur Kurutma Yatakları, ÇÇ: Çamur Çürütme, ÇS: Çamur Susuzlastırma, ÇST: Çamur Stabilizasyon Tanki, KB: Karıştırma Bölümü, NT: Nitrifikasyon Tanki, DT: Denitrifikasyon Tanki, PRT: Fosfor Giderim Tanki, YT: Yağ Tutucu, B: Biyolojik Aritma, I: İleri Aritma

ÖZGEÇMİS

01.01.1980 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbulun Pendik ilçesinde tamamladı. Lise öğrenimini İstanbul Fenerbahçe Lisesi'nde bitirerek; 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2002 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak; 2002 yılı sonunda İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programına kaydoldu ve halen burada eğitimini sürdürmektedir.