

**T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI**



**ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA
YENİDEN KULLANIMI – ÜLKEMİZDEN VE DÜNYADAN
BAŞARILI ÖRNEKLER VE TÜRKİYE İÇİN UYGULAMA
ÖNERİLERİ**

ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK UZMANLIK TEZİ

Ece SARAOĞLU

**ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı**

Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

	sayfa
KISALTMALAR.....	iii
TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖZ.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Su Kaynaklarına Genel Bakış.....	1
1.2 Dünyada ve Türkiye’de Su Kullanımı.....	3
1.3 Tarım ve Su Kaynakları.....	7
1.4 Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı	13
1.5 Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanımı	16
1.6 Arıtılmış Atıksu Kalitesi ve Risk Faktörleri.....	19
1.6.1 Tuzluluk.....	21
1.6.2 Özgül İyon Toksisitesi	22
1.6.3 Toprak Geçirgenliği.....	22
1.6.4 Nutrientler	23
1.6.5 Patojenler	23
1.6.6 Kimyasal Maddeler.....	26
1.7 Geri Kazanım İçin Uygun Atıksu Arıtma Yöntemleri	28
1.7.1 İkincil Arıtma.....	29
1.7.2 Üçüncül Arıtma.....	29
1.7.3 Dördüncül Arıtma	30
1.8 Yasal Düzenlemeler	31
1.8.1 Diğer Ülkelerin Mevzuatları	31
1.8.2 Avrupa Birliği Mevzuatı	34
1.8.3 Ulusal Mevzuat	35
2. ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA YENİDEN KULLANIM UYGULAMALARI	37
2.1 Dünyadan Örnekler	37
2.1.1 Arjantin	37

2.1.2 ABD	38
2.1.3 Avustralya	39
2.1.4 Hindistan	43
2.2 Avrupa Birliği Ülkelerinden Örnekler	43
2.2.1 İtalya	47
2.2.2 İspanya	53
2.2.3 Fransa	58
2.2.4 Yunanistan	59
2.2.5 Kıbrıs	63
2.3 Orta Doğu Ülkeleri	64
2.3.1 Tunus	65
2.3.2 İsrail	66
2.3.3 Ürdün	67
2.3.4 İran	75
2.4 Türkiye’den Örnekler	75
2.4.1 MEDAWARE Projesi	76
2.4.2 Ankara	78
2.4.3 İstanbul - Kayseri - Adana	81
2.4.3 İzmir	87
2.4.4 Muğla	88
2.4.5 Afyonkarahisar	89
2.4.6 Adana	90
2.4.7 Konya	91
3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	93
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	104

KISALTMALAR

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKM	Askıda Katı Madde
BM	Birleşmiş Milletler
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CFU	Colony Forming Unit (Koloni Oluşturan Birim)
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel İletkenlik
EMS	En Muhtemel Sayı
E.N.	Eşdeğer Nüfus
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
KAAY	Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PTE	Potansiyel Toksik Elementler
SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TKN	Toplam Khjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
US EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
USGS	ABD Jeolojik Araştırma Kurumu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Bölgelere göre kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı	4
Tablo 2: Türkiye'nin su kaynaklarının potansiyeli	5
Tablo 3: Su zenginliği sınıflandırması	6
Tablo 4: Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımları	8
Tablo 5: Türkiye'de sektörler göre su tüketim miktarları	10
Tablo 6: Atıksulardaki patojenler ve kimyasallar ile ilgili olası riskler	21
Tablo 7: Enterik patojenlerin toprak ortamında hayatta kalmalarını etkileyen etmenler.....	24
Tablo 8: Arıtılmış atıksularda bulunan ve toksisiteye neden olabilen kimyasal maddeler.....	27
Tablo 9: Bazı gıda sektörlerinin atıksu içeriği ve arıtma yöntemleri.....	31
Tablo 10: Bazı ülkelerde atıksuların yeniden kullanımına ilişkin mevcut durum ve yasal düzenlemeler	34
Tablo 11: Güney Avustralya eyaletinin yeniden kullanım için iyileştirilmiş atıksu sınıflandırması ve içme suyu standartları ile karşılaştırması	42
Tablo 12: Arıtılmış atıksuların geri kullanımı için 185/03 sayılı Kanun ile belirlenen kalite standartları	49
Tablo 13: Apulia Bölgesi'nde atıksuları tekrar kullanılabilmesi için potansiyel olarak faydalanılabilir arıtma tesisleri.....	51
Tablo 14: Cartagena ve Campotejar'daki toprakların fiziksel-kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerinin sonuçları	57
Tablo 15: Cartagena ve Campotejar'daki yaprakların mineral analizlerinin sonuçları	58
Tablo 16: Messolongion AAT çıkış suyunun kimyasal özellikleri ve mikrobiyal analiz sonuçları.....	61
Tablo 17: Agrinion AAT çıkış suyunun kimyasal özellikleri.....	62
Tablo 18: Aitolokarnania ilindeki 5 AAT ve temel özellikleri	62
Tablo 19: Aitolokarnania ilindeki her bir bölge için gereken yıllık sulama suyu miktarının, atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları ile karşılanabilirliği.....	63

Tablo 20: İsrail’deki atıksu geri kazanım projelerinden bazıları.	67
Tablo 21: Ürdün’deki atıksu arıtma tesislerine ilişkin bilgiler.	71
Tablo 22: Kral Talal Rezervuarı ve Kral Abdullah Kanalı’nın 1999 yılına ait ortalama su kalitesi verileri	72
Tablo 23: Türkiye’de arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanım örnekleri.....	76
Tablo 24: Ankara Merkezi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun analiz sonuçları	78
Tablo 25: Ankara Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun PTE analiz sonuçları	81
Tablo 26: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkış sularının kalitesi	83
Tablo 27: SKKY Tablo 21’e göre eşdeğer nüfusa bağlı olarak evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları	84
Tablo 28: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularının tarımsal sulama için uygunluğunun değerlendirilmesi.....	86
Tablo 29: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularındaki ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi	87
Tablo 30: Gölterkbükü Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu kalitesi.....	89
Tablo 31: Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu kalitesi	90

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı	2
Şekil 2: Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	5
Şekil 3: Yıllara göre Türkiye'de nüfus ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı. 6	
Şekil 4: Avrupa ülkeleri için su sıkıntısı indeksi	7
Şekil 5: Dünyada sektörlere göre su kullanımı	8
Şekil 6: 2000 yılı itibarıyla dünyanın farklı bölgelerinde tarım sektörü için çekilen tatlı su oranları.....	9
Şekil 7: Atıksuların geri kazanımını içeren entegre su kaynakları uygulamalarındaki tarihsel gelişim süreci.....	17
Şekil 8: Virginia Boru Hattı Projesi ve dağıtım ağı	41
Şekil 9: Bazı AB ülkelerindeki atıksu geri kazanım projeleri, kapasiteleri ve kullanım alanları.....	44
Şekil 10: Bazı AB ülkelerindeki sektörel su kullanımları.....	45
Şekil 11: Bazı Avrupa ülkelerinin su kaynakları kullanım oranları.....	46
Şekil 12: Apulia Bölgesi'nde toprak kullanımı ve atıksu arıtma tesislerinin dağılımı	48
Şekil 13: Apulia bölgesinde çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanılması planlanan çoğu atıksu arıtma tesisi için tasarlanan arıtma şeması.....	52
Şekil 14: Aitolokarnania ili ve araştırma sahaları	60
Şekil 15: As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi'nin konumu	69

ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA YENİDEN KULLANIMI – ÜLKEMİZDEN VE DÜNYADAN BAŞARILI ÖRNEKLER VE TÜRKİYE İÇİN UYGULAMA ÖNERİLERİ

ÖZ

Yeryüzünün büyük bir kısmını kaplayan su, canlılar için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Ancak su kaynaklarının çok küçük bir bölümü kullanılabilir durumda olup, varolan kısıtlı temiz su kaynaklarının miktarı ve kalitesi de nüfus artışı, hızlı kentleşme ve yükselen yaşam standartları, yoğun gübre ve pestisit kullanımına dayanan tarımsal uygulamalar, endüstriyel faaliyetler ve iklim değişikliği gibi nedenlerle ne yazık ki günden güne azalmaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarından çekilen suyun çeşitli amaçlarla kullanımı sonucunda oluşan atıksuyun arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilerek bertarafı, atıksu yönetimi konusunda güncelliğini yitirmiş bir bakış açısı haline gelmektedir. Günümüzde entegre su ve atıksu yönetimi kapsamında farklı yöntemlerle arıtılmış atıksuların çok çeşitli amaçlarla yeniden kullanıma kazandırılmasına ilişkin uygulama örneklerinin ve araştırmaların sayısı giderek artmaktadır. Böylelikle su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanımının sağlanması hedeflenmektedir.

Dünya genelinde en çok su tüketilen sektör tarım olduğundan, arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı kullanılması sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Yeryüzünde sulamalı tarım yapılan birçok arazi arıtılmış, ham veya kısmen seyreltilmiş atıksular ile doğrudan veya dolaylı olarak sulanmaktadır. Arıtılmış atıksuların tarımda kullanımının ekonomik ve çevresel faydalarının yanı sıra, ürün verimliliği üzerinde bilimsel araştırmalarla ortaya koyulmuş olumlu etkileri de bulunmaktadır. Öte yandan, atıksuyun içeriğindeki patojen mikroorganizmalar nedeniyle taşıdığı sağlık riskleri ve kimyasal maddelerin toprak ve ürünler üzerindeki olası olumsuz etkileri de göz önünde bulundurularak, geri kazanım için arıtma teknolojilerinin seçiminde ve sulama uygulamaları esnasında hassasiyet gösterilmesi gerekmektedir.

Atıksuların geri kazanımına ilişkin ulusal düzeydeki yasal düzenlemeler uzun süreden beri mevcut olmasına karşın, ülkemizde arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanım uygulamaları kısıtlı sayıdadır. Geçmişteki yaygın kanının aksine Türkiye su zengini olan bir ülke değildir. İklim değişikliğinin ülkemizin de içerisinde yer aldığı Akdeniz havzası için öngörülen olası etkileri, ülkemizdeki hızlı nüfus artışına ve sanayileşmeye paralel şekilde oluşan atıksu miktarındaki artış ve ülke çapında sayısı artmakta olan atıksu arıtma tesisleri ile birlikte düşünüldüğünde, Türkiye'nin atıksuların geri kazanımı konusunda sahip olduğu büyük bir potansiyelin varlığından söz edilebilir. Sağlam politikalar, uygun planlama ve yönetim stratejileri, yeterli finansal kaynak varlığı ve halkın desteği ile arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada yeniden kullanımı konusundaki potansiyelin performansa çevrilmesi ve bu sayede su kaynaklarımızın sürdürülebilirliğinin sağlanması mümkün olabilecektir.

Bu tez çalışmasında, arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada yeniden kullanımı ile ilgili dünyanın çeşitli bölgelerinden ve Türkiye'den uygulama örneklerine ve bilimsel araştırmalara yer verilerek, ülkemizdeki uygulamaların artmasına ve geliştirilmesine yönelik öneriler getirilmektedir.

REUSE OF TREATED WASTE WATER IN AGRICULTURAL IRRIGATION – SUCCESSFUL EXAMPLES FROM OUR COUNTRY AND THE WORLD AND IMPLEMENTATION SUGGESTIONS FOR TURKEY

ABSTRACT

Water, which covers the majority of the Earth's surface, is essential for all living creatures. Nevertheless, only a small portion of the world's water resources is available for use and the quality and quantity of these scarce resources is unfortunately diminishing as a result of population increase, rapid urbanization, rising living standards, intensive agricultural practices, industrial activities and climate change. In this sense, the disposal of waste water, which is formed by withdrawal and use of water for different purposes, via discharge into receiving bodies after treatment has become an outdated point of view on waste water management. The amount of implementation practices and research about the reuse of treated waste water for various purposes within the scope of integrated water and waste water management has lately increased. It is aimed that the sustainable use of water resources will be ensured in this way.

Since agriculture is the largest water-consuming sector worldwide, the reuse of treated waste water for agricultural irrigation has a huge potential from the point of view of sustainable resource management. Much of the irrigated agricultural land on earth is irrigated directly or indirectly with raw, treated or partially diluted waste water. In addition to the environmental and economic benefits of the reuse of treated waste water in agriculture, a number of scientific studies have shown that waste water reuse also has positive effects on crop yields. However, utmost attention should be paid to the selection of the appropriate treatment technologies and during irrigation practices considering the health risks of the pathogenic microorganisms present in waste water and the unfavourable effects of the chemicals on soil and crops.

Even though the national legislation concerning the reuse of waste water in irrigation has been in force for a long time, the number of implementations is limited. Contrary to the common public opinion in the past, Turkey is not a water rich country. Taking into account the likely effects of climate change on the in the Mediterranean countries, the increase in the amount of waste water production in Turkey due to rapid population increase and industrialization and the rising number of waste water treatment plants across the country, it is worth mentioning that Turkey has a large potential for waste water recycling. With sound policies, proper planning and management strategies, sufficient financial commitments and public support, it can be possible to convert this potential on the reuse of treated waste water in agriculture to performance and attain sustainability of our water resources.

This thesis work includes several examples of practices and scientific studies on the reuse of treated waste water in agricultural irrigation from various regions around the world and from Turkey, and suggestions as to the increase and improvement of implementations in our country are introduced within.

1. GİRİŞ

1.1 Su Kaynaklarına Genel Bakış

Yeryüzünün dörtte üçünü kaplayan su, yaşamın temel öğelerinden biridir. Su, canlı organizmaların yapı taşı olan hücrelerin biyolojik faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için gereken ihtiyaç maddelerinin başında gelir. Ayrıca, yeryüzündeki okyanuslar ve denizler ile irili ufaklı kıta içi su kütleleri (akarsular, göller, göletler, sulak alanlar, bataklıklar, vb.) canlılar için ekolojik açıdan çok önemli bir yaşam ortamı oluşturur. Öte yandan, ilerleyen teknoloji ile içme ve kullanma, enerji üretimi, tarım ve sanayi gibi birçok farklı amaçla yararlanılmakta olan su kaynakları, ülkelerin ekonomik kalkınmasında vazgeçilmez bir yere de sahiptir.

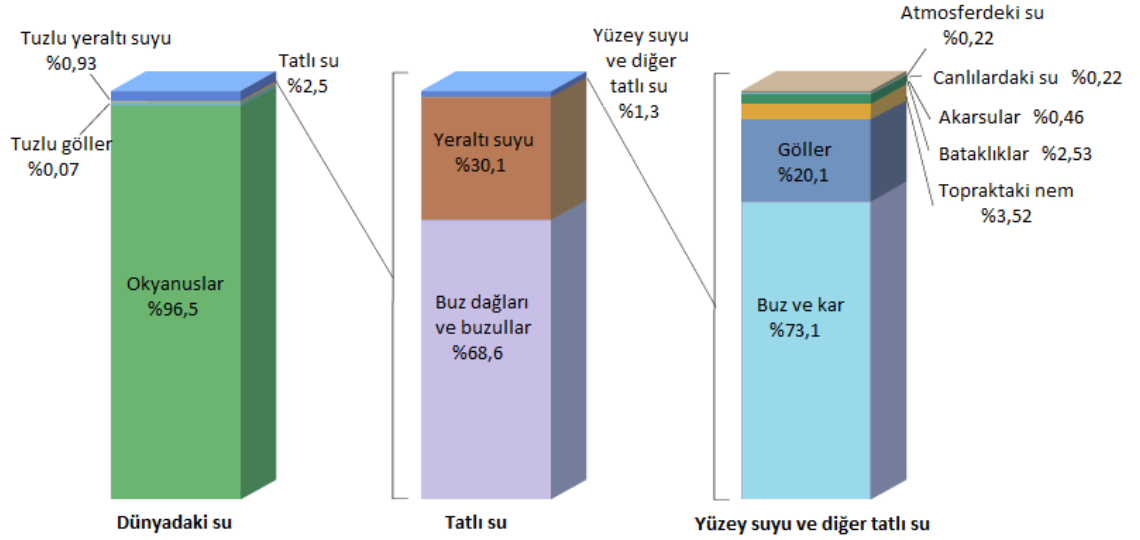
Dünyanın sahip olduğu yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarının toplam miktarının 1,4 milyar m³ olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde bulunan tuzlu su, geriye kalan %2,5'lik kısmı ise tatlı sudur. Tatlı suyun %68,6'sı buzullarda, %30,1'i yeraltında, %0,9'u tiyal tabakasında (kutuplarda sürekli donmuş halde bulunan toprakta) bulunmakta olup, doğrudan kullanılabilir durumda değildir; yalnızca %0,3'ü yüzey sularında ve atmosferde bulunmaktadır. Tatlı suyun yüzey sularında ve atmosferde bulunan bölümünün ise %87'si tatlı su göllerinde ve %2'si akarsularda bulunmakta olup, geri kalanı ise atmosferde, toprakta nem olarak, sulak alanlarda ve bitki ve hayvanların bünyesinde depolanmaktadır (USGS). Dolayısıyla dünyadaki su kaynaklarının ancak çok küçük bir yüzdesi kullanılabilir durumda olup (Şekil 1), su döngüsü içerisinde sürekli yağış, akış ve buharlaşma halindedir.

Canlılar için yaşamsal önem taşıyan ve son derece sınırlı olan temiz ve kullanılabilir su kaynaklarının niteliği ve niceliği;

- Nüfus artışı,
- Hızlı kentleşme ve yükselen yaşam standartları,
- Yoğun tarımsal uygulamaları,

- Sanayileşme,
- Su kaynakları üzerindeki artan kirlilik baskısı,
- İklim değişikliği,

nedeniyle, gün geçtikçe daha da azalmaktadır.



Şekil 1: Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı (USGS'ten uyarlanmıştır).

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve yükselen yaşam standartlarına bağlı olarak su ihtiyacı artmaktadır. 18. yüzyılın son çeyreğinde, Sanayi Devrimi başlangıcında 1 milyar olan dünya nüfusu 1950'li yıllarda 2,5 milyara, 2005 yılı sonunda ise yaklaşık 6,5 milyara ulaşmıştır (Akın ve Akın, 2007). Yapılan tahminlere göre, 2050 yılında dünya nüfusunun 9,3 milyarı bulması beklenmektedir (Özbay ve Kavaklı, 2008). Artan nüfusun beslenme ve diğer ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için geleneksel tarım uygulamaları terk edilerek, daha çok ürün ve verim amacıyla giderek daha fazla miktarda su ve kimyasal madde (gübre ve pestisit) kullanımına dayanan tarım yöntemleri kullanılmaktadır. Tarımsal uygulamalar ve sanayileşme hem yoğun şekilde doğal kaynak kullanımına, hem de oluşan atıksu miktarında artışa neden olmaktadır. Bütün bunların sonucu olarak, su kaynakları üzerindeki kullanım ve kirlilik baskıları giderek artmaktadır.

İklim değişikliği de mevcut su kaynaklarının kalitesini ve miktarını hem doğrudan hem dolaylı olarak tehdit eden bir etken olarak özellikle son yıllarda gündemdeki

yerini korumaktadır. Sanayi Devrimi ile birlikte giderek artan fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma ve şehirleşme sonucunda, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, sera etkisinin şiddetlenmesine ve 1800’lü yılların sonundan bu yana yeryüzünün ortalama sıcaklığının 0,74°C yükselmesine neden olmuştur (UNFCCC). Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanan son raporlara göre (IPCC, 2014):

- Son yıllarda, iklimdeki değişiminin etkileri en şiddetli ve en yaygın olarak doğal sistemler üzerinde gözlemlenmiştir.
- Dünyanın birçok bölgesinde değişen yağış rejimi ve buzulların erimesi hidrolojik sistemleri değiştirmekte, su kaynaklarının niteliğini ve niceliğini etkilemektedir.
- İklim değişikliğinin tatlı su kaynakları ile ilgili riskleri, artan sera gazı konsantrasyonlarına bağlı olarak önemli ölçüde artmaktadır. Su kıtlığı çeken küresel nüfus oranı ve büyük taşkınlardan etkilenme oranı, 21. yüzyılda ısınma seviyesi ile birlikte yükselmektedir.
- 21. yüzyıldaki iklim değişikliğinin yenilenebilir yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarını kurak subtropikal bölgelerin çoğunda önemli ölçüde azaltacağı; bunun da sektörler arasında su için rekabete yol açacağı öngörülmektedir.

1.2 Dünyada ve Türkiye’de Su Kullanımı

Dünyadaki mevcut tatlı su kaynaklarından kişi başına düşen ortalama su miktarı yılda 22,770 m³’e denk gelmektedir (ORSAM). Bu oldukça yüksek bir miktar gibi görünmesine karşın, suyun varlığının ve suya erişimin zamansal ve mekansal açıdan değişken olması nedeniyle su sorunuyla karşılaşmaktadır. Dünya geneline bakıldığında, kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 7.600 m³/yıl’dır (DPT, 2007b). Ancak bu değer ülkelerin gelişmişlik düzeyine, sahip olduğu su kaynaklarına, yer aldığı coğrafyaya ve iklim koşullarına bağlı olarak ülkeden ülkeye, hatta aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında büyük değişiklikler göstermektedir (Tablo 1). Dünyada kişi başına su tüketimi ortalama 800 m³/yıl civarındadır (Atalık, 2006).

Tablo 1: Bölgelere göre kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı (DPT, 2007b).

Ülke / Bölge	Kişi Başına Düşen Su Miktarı (m³/kişi*yıl)
Dünya ortalaması	7.600
Güney Amerika ortalaması	23.000
Afrika ortalaması	7.000
Batı Avrupa ortalaması	5.000
Asya ortalaması	3.000
Türkiye	1.600

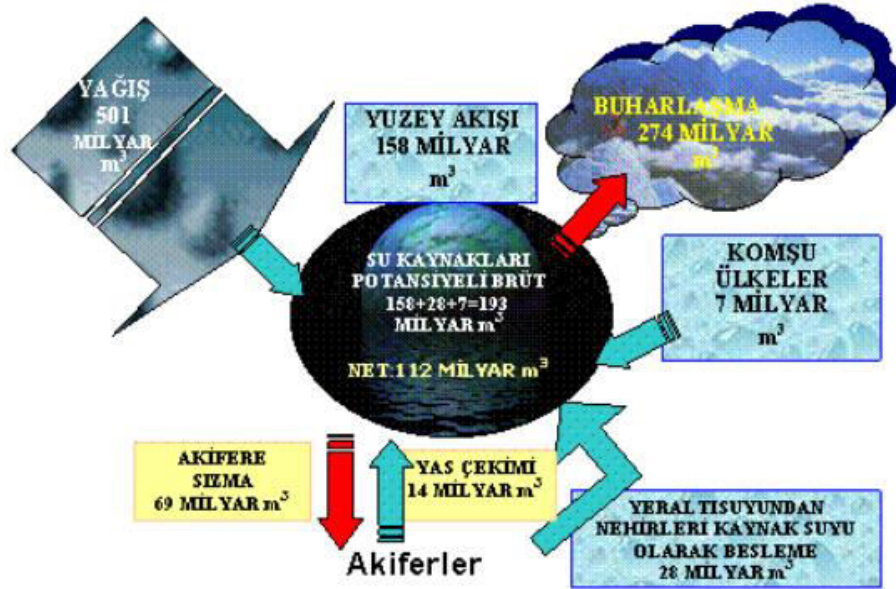
*2007 yılı itibarıyla

Dünya yüzeyine düşen yıllık yağış ortalaması yaklaşık 800 mm/m² iken yarı kurak iklim bölgesinde yer alan Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm/m² olup, bu miktar ülkemiz topraklarına düşen ortalama 501 milyar m³ hacminde suya karşılık gelmektedir. Ancak coğrafi bölgelerimiz arasında görülen iklimsel farklılıklara bağlı olarak, yıllık ortalama yağış miktarı bazı bölgelerde 3.000 mm/m²’yi geçerken, bazı yörelerde ise 250 mm/m²’nin altına düşmektedir. Düşen yağışın 158 milyar m³’ü akarsular vasıtasıyla denizlere ve göllere taşınmaktadır. Yağışın 274 milyar m³’ü yüzeysel sulardan ve bitki örtüsünden buharlaşma yolu ile atmosfere geri dönmektedir. Geriye kalan 69 milyar m³’ü ise yeraltı suyunu oluşturur. Yeraltı suyunun 28 milyar m³’ü kaynak suyu olarak yeniden yüzey sularına karışmaktadır. Bunun yanında, sınıraşan akarsularımız olan Meriç ve Asi nehirleri ile komşu ülkelerden Türkiye’ye yılda ortalama 7 milyar m³ su taşınmaktadır. Yağışla oluşan akışın yüzeysel sulara katılan kısmı (158 milyar m³), yeraltı sularından kaynak suyu şeklinde tekrar yüzeysel sulara katılan miktar (28 milyar m³) ve komşu ülkelerden akarsularla gelen miktarın (7 milyar m³) toplamı, ülkemizin 193 milyar m³’lük brüt su potansiyelini oluşturur. Buna akiferlere inerek yeraltı suyuna katılan 41 milyar m³’lük su hacmi de eklendiğinde, ülkemizin yenilenebilir brüt su potansiyelinin 234 milyar m³’ü bulunduğu görülmektedir. Ülkemiz içindeki akarsulardan gelen miktarın 95 milyar m³’ü, komşu ülkelerden ülkemize gelen akarsularla taşınan miktarın 3 milyar m³’ü olmak üzere, toplam 98 milyar m³ su günümüz koşullarında çeşitli amaçlarla tüketilebilecek potansiyel yüzey suyu miktarıdır. Yapılan hesaplara göre, yıllık çekilebilir yeraltı suyu miktarı 14 milyar m³ olup, bu ikisinin toplamı kullanılabilir toplam su miktarının yılda yaklaşık 112 milyar m³ olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 2 ve Şekil 2). Yıllık su potansiyeli havza bazında büyük değişiklikler göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2013 yılının

sonu itibarıyla Türkiye nüfusu 76 milyonu aşmış olup (TÜİK), bu durumda kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.600 m³'ten azdır.

Tablo 2: Türkiye'nin su kaynaklarının potansiyeli (AAEP, 2008).

Ülkemizin Su Kaynakları Potansiyeli	
Ortalama yıllık yağış	643 mm/yıl
Uzun dönemli yıllık ortalama (milyar m³)	
Yıllık yağış miktarı	501,0
İç su kaynakları	227,4
Dış ülkelere gelen akış	6,9
Yenilenebilir su kaynaklarının toplam yıllık ortalaması	
Buharlaştırma-terleme	273,6
Yeraltına sızma	41,0
Yüzey suları	
Yıllık yüzey akışı miktarı	186,0
Yıllık dış akış miktarı	178,0
Dış ülkelere giden miktar	64,0
Denizlere giden miktar	114,0
Yıllık kullanılabilir yüzey suyu miktarı	98,0
Yeraltı suları	
Yıllık çekilebilir su miktarı	14,0
Toplam kullanılabilir su miktarı (net)	112,0



Şekil 2: Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (AAEP, 2008).

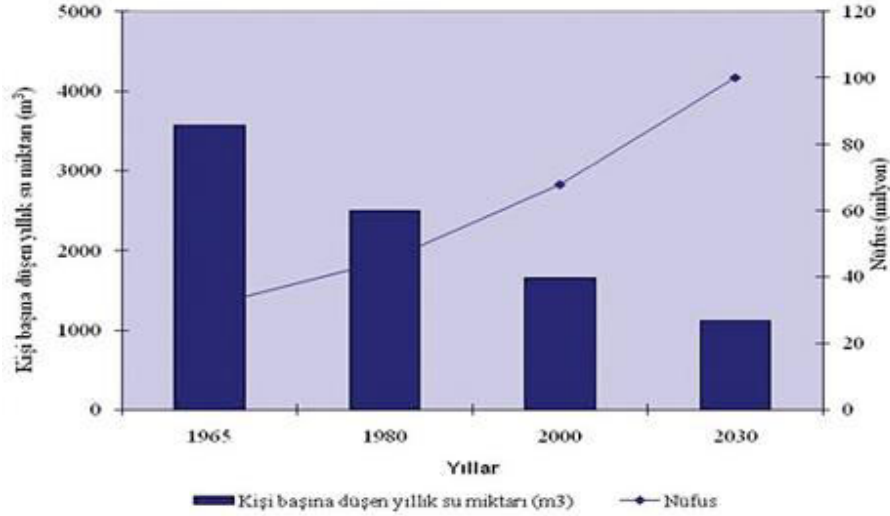
Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı, ülkelerin sahip olduğu su durumuna ilişkin göstergelerden biridir. Yılda kişi başına düşen su miktarına göre ülkelerin su zenginliği açısından sınıflandırması Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, Türkiye kişi

başına yıllık 1.600 m³ civarında kullanılabilir su miktarı ile su azlığı yaşayan bir ülke olarak nitelendirilebilir.

Tablo 3: Su zenginliği sınıflandırması (Aküzüm vd., 2010).

Yıllık Kişi Başına Düşen Kullanılabilir Su Miktarı	Su Durumuna Göre Sınıflandırma
< 1.000 m ³ /kişi*yıl	su fakiri ülke
1.000-3.000 m ³ /kişi*yıl	su azlığı çeken ülke
3.000-10.000 m ³ /kişi*yıl	yeterli su sahibi ülke
> 10.000 m ³ /kişi*yıl	su zengini ülke

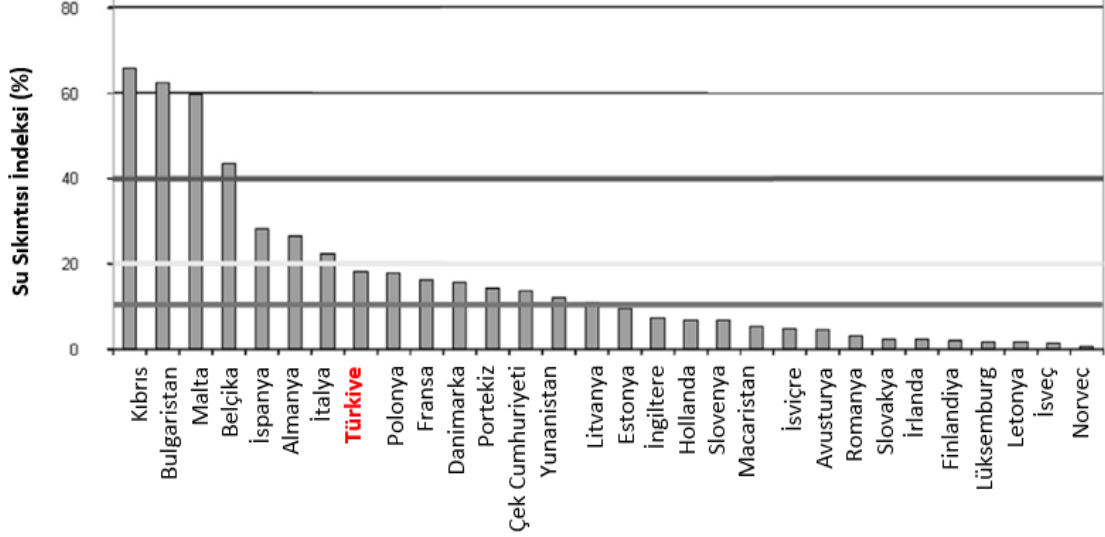
TÜİK tarafından yapılan nüfus projeksiyonlarına göre ülkemizin nüfusu 2030 yılında 100 milyona ulaşacaktır. Bu tahminler çerçevesinde, 2030 yılında, Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.000 m³’e yaklaşacağından, ülkemiz su fakiri olmaya aday bir ülke haline gelecektir (Şekil 3). Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanan bir raporda da, 2030 yılı itibarıyla Türkiye’nin birçok bölgesinde artan seviyede su kısıtı yaşanabileceğine dikkat çekilmiştir (EEA, 2005).



Şekil 3: Yıllara göre Türkiye’de nüfus ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı (Aküzüm vd., 2010).

Ülkelerin su zenginliği durumunu gösteren bir diğer belirteç olan su sıkıntısı indeksi ise bir ülkenin toplam su tüketiminin, o ülkenin mevcut yenilenebilir tatlı su miktarına oranı ile ifade edilmektedir. Bu göstergenin %10’dan daha düşük değerlere sahip olduğu durumlarda ülkelerin su sıkıntısı riski düşüktür. %10-20 arasındaki değerler, su mevcudiyetinin kalkınmayı kısıtlayan bir unsur olabileceğini ve yeterli

su kaynakları sağlayabilmek için ciddi yatırımlara ihtiyaç duyulduğunu; %20'nin üzerindeki değerler ise ülkelerin ise su kıtlığı ile karşı karşıya olduğunu göstermektedir (Bixio vd., 2006). Şekil 4'te görüldüğü gibi, Türkiye'de bu oran %10 ile %20 arasında olduğundan, su kaynaklarının yönetimine hassasiyetle yaklaşılması gerekmektedir.

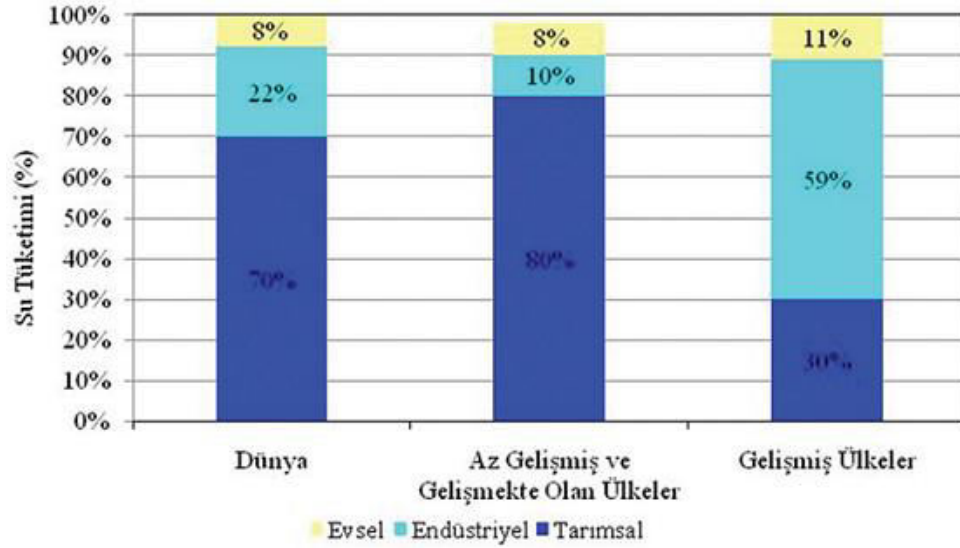


Şekil 4: Avrupa ülkeleri için su sıkıntısı indeksi (Bixio vd., 2006).

Özetle, her iki gösterge de ülkemizin su kaynakları açısından riskli ülkeler arasında yer aldığına işaret etmektedir. Bunun yanında, ülkemizin su kaynakları açısından zengin olduğu yönündeki yanlış algı, özellikle son yıllarda yağışsız geçen mevsimler ve yaşanan kuraklık olayları ile değişmeye başlamıştır.

1.3 Tarım ve Su Kaynakları

Tarım, dünya genelinde en yüksek miktarlarda su tüketilen kullanım şeklidir. Dünyada kullanılan su miktarının sektörlere göre dağılımı Şekil 5'te, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımları ise Tablo 4'te verilmiştir. Dünyadaki yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının %70'i tarımsal sulama, %22'si endüstriyel faaliyetler, %8'i ise içme ve kullanma için tüketilmektedir (Aküzüm vd., 2010). Avrupa'da sektörler itibarıyla su kullanımı ise %33 sulama, %51 sanayi, %16 içme ve kullanma amaçlı olarak dağılmaktadır (DPT, 2007b).



Şekil 5: Dünyada sektörlere göre su kullanımı (Aküzüm vd., 2010).

Tablo 4: Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımları (DPT, 2007b).

SEKTÖR	Dünya	Gelişmiş Ülkeler	Gelişmekte Olan Ülkeler	Az Gelişmiş Ülkeler	Avrupa	Türkiye
Tarım	%67-70	%39	%52	%86	%33	%72-75
Sanayi	%22- 23	%46	%38	%7	%51	%10-12
İçme ve Kullanma	%8- 10	%15	%10	%7	%16	%15-16

2000 yılı itibarıyla tarım sektöründe kullanılan toplam tatlı su miktarının dünyanın farklı bölgelerinde kullanım oranları Şekil 6’da görülmektedir. Dünya üzerindeki işlenebilir tarım arazilerinin toplam yüzölçümü 3,2 milyar hektardır (Atalık, 2006). 20. yüzyılda dünya nüfusu büyük bir artış göstermiş olup, 1,5 milyardan 6 milyarın üzerine çıkmıştır (Özbay ve Kavaklı, 2008). Son yıllarda kişi başına düşen tarım arazisi gelişmiş ülkelerde %14,3 oranında, gelişmekte olan ülkelerde ise %40 oranında azalmıştır. FAO’ya göre kişi başına düşen tarım arazisi yaklaşık 0,23 ha olup, 2050 yılında bu miktar 0,15 ha’a kadar düşecektir. Öte yandan, 1995 yılı itibarıyla dünyadaki sulanan tarım alanlarının toplam yüzölçümü 253 milyon hektar iken, bu miktar 2010 yılında 290 milyon hektara yükselmiş olup, 2025 yılında ise 330 milyon hektara ulaşması beklenmektedir (Atalık, 2006). Hızla artan nüfusu

beslemek için artan tarımsal faaliyetlere bağılı olarak, tarımda kullanılan su miktarı da yaklaşık 5,7 katına çıkmıştır. Tarımsal faaliyetler için arz edilen su miktarının 2025 yılında 3.189 km³/yıl'a, dünya üzerindeki net su tüketiminin ise 1,2 kat artarak 2.152 km³/yıl'a ulaşacağı öngörülmektedir (Özbay ve Kavaklı, 2008).



Şekil 6: 2000 yılı itibarıyla dünyanın farklı bölgelerinde tarım sektörü için çekilen tatlı su oranları (Kretschmer vd., 2006).

Şekil 5'te görüldüğü üzere, dünyadaki su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarım sektöründe kullanılmaktadır. Tarım sektöründe kullanılan suyun toplam su tüketimindeki payı bu denli büyük olduğundan, dünyada su kıtlığının yaşanması, aynı zamanda dünyanın yiyecek kıtlığı ile karşı karşıya kalması anlamına gelmektedir. Günümüzde su azlığı çeken birçok küçük ülke diğer bölgelerden önemli miktarlarda tahıl ithal etmek zorunda kalmaktadır. Yakın gelecekte Çin ve Hindistan gibi büyük ülkelerin de su azlığından benzer şekilde etkilenmesi olası görünmektedir (Kretschmer vd., 2006).

Özellikle son yıllarda ülkemizdeki endüstriyel faaliyetler ivme kazanmış olsa da, Türkiye uzun yıllardan beri bir tarım ülkesi olarak değerlendirilmektedir. Ülkemizde kullanılan su miktarının yıllar içerisinde ve 2023 yılı için öngörülen sektörlere göre dağılımı Tablo 5'te verilmiştir. Ülkemizin sahip olduğu 112 milyar m³ kullanılabilir su potansiyelinin ancak 46 milyar m³'ünden, yani %41'inden faydalanılabilmektedir. Yararlanılan su potansiyelinin 34 milyar m³'ü yani %74'ü tarımda, 7 milyar m³'ü (%15'lik kısmı) içme ve kullanma suyu olarak, 5 milyar m³'ü ise (%11'lik kısmı) sanayide kullanılmaktadır.

Tablo 5: Türkiye’de sektörlere göre su tüketim miktarları (DSİ).

Yıllar	Kullanılan Su		Su Kullanan Sektörler					
			Sulama		İçme ve Kullanma		Sanayi	
	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%	Hacim (milyon m ³)	%
1990	30.600	27	22.016	72	5.141	17	3.443	11
2000	39.300	35	29.300	75	5.800	15	4.200	10
2008	46.000	41	34.000	74	7.000	15	5.000	11
2023	112.000	100	72.000	64	18.000	16	22.000	20

Ülkemizin sahip olduğu 95 milyar m³ yüzey suyu potansiyelinin ancak 27,5 milyar m³’ünden, yani %29’undan yararlanılabilmektedir. Kullanılan yüzey suyu potansiyelinin 20,9 milyar m³’ü yani %76’sı tarımda, 3,85 milyar m³’ü (%14’lük kısmı) içme ve kullanma suyu olarak, 2,75 milyar m³’ü ise (%10’luk kısmı) endüstride kullanılmaktadır (Akın ve Akın, 2007).

Ülkemizin yüzölçümü 78 milyon hektar olup, bu alanın 28 milyon hektarlık bölümü ekilebilir arazilerden oluşturmaktadır. Ülkemiz topraklarının 25,8 milyon hektarlık kısmı ise sulanabilir arazilerden oluşmaktadır. Türkiye’de modern anlamda sulama projelerinin geliştirilmesi, 1950’li yılların başında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Toprak-Su Genel Müdürlüğü gibi kamu kurumlarının kurulması ile önemli bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde ekilebilir araziler limitine 1970’li yıllarda ulaşılmış, bu tarihten itibaren ise tarımsal üretimin arttırılması ancak ülke genelinde geliştirilen modern sulama projeleri ile mümkün olabilmektedir (Atalık, 2006). Türkiye’de ekonomik olarak sulanabilir olan 8,5 milyon hektar arazinin, 2023 yılına kadar tamamının sulanması öngörülmektedir. 2008 yılı itibarıyla bu alanın 5,28 milyon hektarlık kısmı sulanmakta olup; %58’i DSİ tarafından, %23’ü mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından işletmeye açılmıştır. Geriye kalan %19’u olan yaklaşık bir milyon hektar alanda ise halk sulaması yapılmaktadır (Aküzüm vd., 2010).

Yağışlı bölgelerde toprak içerisinde doğal olarak bulunan tuz mineralleri, yağmur suları vasıtasıyla akarsulara ve yeraltı sularına taşınarak, bunlar aracılığıyla da

denizlere ve göllere ulaşmaktadır. Bu nedenle, yağışlı bölgelerin topraklarında genellikle tuz birikimi gerçekleşmez. Sıcak iklime sahip, az yağış alan bölgelerde, tarımsal üretimi ve ürün verimini arttırmak amacıyla kontrolsüzce yapılan sulama faaliyetleri, su içeriğinde doğal olarak bulunan tuzun toprağa geçmesine neden olmaktadır. Fazla miktarda verilen bu sular, aynı zamanda taban suyunu yükselterek, toprak ve taban suyu içerisinde bulunan tuzları da beraberinde yukarı yönlü harekete geçirmektedir. Sıcaklığın etkisiyle beraberindeki tuzları toprak yüzeyine kadar taşıyan ve burada bırakan su, hızla buharlaşmak suretiyle, toprak yüzeyinde tuzlanmaya neden olmaktadır. Toprakların tuzlanması ise tarımsal üretimi sınırlamakta ve verimi düşürmektedir (Atalık, 2006).

Türkiye’de tuzlu, sodyumlu ve borlu topraklar İç Anadolu Bölgesi başta olmak üzere 1,6 milyon hektar alana yayılmış durumdadır. Özellikle batı ve güney bölgelerimizde aşırı sulama sonucu toprak kalitesi bozulmuş, tuzlanma, ürün zararlısı ve hastalık oranları artmış ve verim düşmeye başlamıştır. Çukurova, Gediz, Söke ve Amik Ovaları bu durumun tipik örnekleridir (Atalık, 2006).

Dünya genelinde erozyonla kaybedilen toprak miktarı 24 milyar ton/yıl olup, ülkemizde de her yıl kaybedilen 500 milyon tona yakın verimli toprakla birlikte 9 milyon ton bitki besin maddesi de yitirilmektedir. Erozyona bağlı olarak, yüzey akışları ile taşınan bitki besin maddeleri, gübre ve tarım ilaçları, su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır (Atalık, 2006).

Küresel iklim değişikliğinin tarım üzerindeki mevcut ve olası etkileri birçok defalar raporlanmıştır. IPPC tarafından yayımlanan son raporlara göre, birçok çeşit tarımsal ürünü ve çok sayıda bölgeyi içeren kapsamlı araştırmalar, iklim değişikliğinin ürün verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerinin, olumlu etkilerinden daha yaygın olduğunu ortaya koymuştur. Bu etkiler doğrudan veya dolaylı olarak su kaynakları ile ilişkilidir. İklim değişikliğinin orta enlemlerde ve ekvator kuşağına yakın yarı kurak bölgelerde bulunan su kaynakları üzerinde öngörülen başlıca etkileri, azalan su mevcudiyeti ve artan kuraklıktır (IPCC, 2014).

Akdeniz ikliminin özelliği ılık ve yağışlı kış mevsimleri ile sıcak ve kurak yaz mevsimleri olup, Akdeniz havzasının iklimsel değişikliklere karşı potansiyel olarak hassas bir bölge olduğu vurgulanmaktadır (Beklioglu vd., 2007). Küresel ve bölgesel

iklim modellerinin simülasyon (2071-2100 yılları arasındaki dönem için IPCC'nin A1B senaryosu, 1961-1990 yılları arasındaki dönem ile karşılaştırma) sonuçlarına göre, Akdeniz bölgesinin aldığı yağış miktarında %30'lara varan genel bir düşüş ve hava sıcaklığında, özellikle ılık mevsimlerde, 5°C'ye varan bir artış olması muhtemeldir. Hava sıcaklıklarında yıllar arası değişkenlikler ile aşırı sıcaklık ve kuraklık olaylarının da artacağı öngörülmektedir (Giorgi ve Lionello, 2008).

Akdeniz havzasında hüküm süren iklimin karakteristik özellikleri olan, özellikle yaz aylarında yaşanan kuraklık ve iklim değişikliğiyle belirginleşen düzensiz yağış rejimi, havzada önemli yer tutan tarım alanlarını ve ticari faaliyetlerin önemli bir kısmını oluşturan tarımsal üretimi olumsuz etkilemekte ve bilhassa yaz döneminde sulama için ihtiyaç duyulan su miktarının artmasına neden olmaktadır.

Orta kuşağın yarı kurak bölgesinde ve Akdeniz havzasında yer alan bir ülke olan Türkiye de hiç şüphesiz iklim değişikliğinin potansiyel etkileri açısından risk grubundaki ülkeler arasındadır. Ülkemizin, iklim değişikliğinin özellikle su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi olumsuz yönlerinden etkileneceği öngörülmektedir (Atalık, 2006). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nün 87 üye ülke arasında yapmış olduğu değerlendirme sonuçlarına göre, Türkiye kuraklıktan etkilenen 74 ülke arasında yer almaktadır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

20. yüzyıldaki iklimsel gözlemler değerlendirildiğinde, Türkiye'de, 1901-2000 yılları arasında, yağışlarda ortalama %10 oranında düşüş olduğu ve bu dönem içerisinde her 10 yılda bir sıcaklığın ortalama 0,2°C kadar arttığı belirtilmektedir (IPCC, 2002). IPCC'nin A2 emisyon senaryosuna göre, 2071-2100 yılları arasındaki dönem için Türkiye ile ilgili aşağıdaki öngörülerde bulunmaktadır:

- Samsun-Adana arasında uzanan bir hat çizildiğinde, 1961-1990 yılları arasındaki döneme göre bu hattın batı kısmının 3-4°C, doğu kısmının ise 4-5°C civarında ısınması muhtemeldir.
- 1961-1990 yılları arasındaki dönem ile karşılaştırıldığında, yağış miktarında 0,25 mm/gün'e varan düşüşler yaşanması muhtemeldir.
- Buharlaşmanın ve yaz kuraklıklarının artması muhtemeldir.

- Arazi kullanımında meydana gelecek değişikliklerin erozyonu arttırması muhtemeldir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinin iklim değişikliğinden farklı biçimlerde ve değişik derecelerde etkileneceği öngörülmektedir. Örneğin, sıcaklık artışından daha çok çölleşme tehdidi altındaki kurak ve yarı kurak bölgeler ile yeterli suya sahip olmayan yarı nemli bölgeler (Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri) etkilenecektir (Öztürk, 2002). Yarı kurak iklim kuşağında yer alan ülkemizde, kuraklık ve erozyon sorunlarının iklim değişikliği ile daha da belirgin hale geleceği dikkate alındığında, bilinçsiz sulamanın toprakların tuzlanmasına ve buna bağlı olarak arazi kalitesinde önemli derecede bozulmaya yol açacağı tahmin edilmektedir (Atalık, 2006).

1.4 Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı

Önceki bölümde de bahsedildiği üzere, dünyadaki toplam su miktarının çok küçük bir oranını teşkil eden kullanılabilir su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Birleşmiş Milletler'in tahminlerine göre 2025 yılında 8,1 milyara ulaşması beklenen dünya nüfusunun 2/3'ü orta ila yüksek düzeyde su sıkıntısı çekecek, dünya üzerinde 2,7 milyar kişi su kıtlığı ile karşı karşıya kalacaktır (Kretschmer vd., 2006; UN, 2013). Özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da su kaynakları açısından durum oldukça kritiktir. Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Umman, Katar, Kuveyt, Bahreyn, Yemen, Ürdün, İsrail, Filistin ve Libya'da bulunan bütün su kaynakları tüketilmiş durumda olup, diğer bazı ülkelerde de birkaç yıl içinde tamamen tükenmesi beklenmektedir. Su sıkıntısı Avrupa ve Kuzey Amerika gibi su kaynaklarının bol olduğu ılıman bölgeleri de etkilemekte olup, kuraklık dönemlerinin sıklığı ve süreleri giderek artmaktadır. Söz gelimi Fransa, İtalya, İspanya ve İngiltere'nin birçok bölgesinde birkaç yıl üst üste gelen kuraklıklar nedeniyle bazı nehirler kurumuş ve yeraltı suyu seviyelerinde ciddi düşüşler ortaya çıkmıştır (Lazarova vd., 2001).

Bu nedenle, mevcut su kaynaklarının korunmasının yanında, kullanılan kısmının geri dönüşümünün ve yeniden kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu da atıksu yönetiminin, suyun kullanılıp atıksu haline geldikten sonra çeşitli yöntemlerle

arıtılmasını ve alıcı ortamlara geri verilmesini içeren klasik yaklaşımdan, atıksuyun yeniden kullanılmasına olanak verecek şekilde arıtılmasını ve farklı amaçlarla yeniden değerlendirilmesini sağlayarak alıcı ortamlara deşarjını azaltan yeni bir entegre yaklaşıma evrilmesine yol açmıştır. Bu bağlamda, 2001 yılında, Almanya'nın Bonn kentinde gerçekleştirilen Uluslararası Tatlısu Konferansı'nın "Su – Sürdürülebilir Kalkınma için Anahtar" başlıklı dokümanında yer alan anahtarlardan biri de merkezileşmenin aksine yerinden yönetimi savunmakta ve yerel ölçekte ufak su döngülerinin geliştirilmesine dayanmaktaydı (Kretschmer vd., 2006).

Atıksuların arıtılarak yeniden kullanılmasının başlıca getirileri şöyle sıralanabilir (Polat, 2012):

- Arıtılan atıksu alıcı ortamlara deşarj edilmediği için içsular (göller, göletler, akarsular) ve denizlere ek kirlilik yükü taşınmaz. Dolayısıyla yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının kalitesi bozulmamış olur.
- Mevcut doğal kaynakların yerine arıtılmış atıksu kullanıldığı için temiz su kaynaklarından önemli miktarda tasarruf edilmiş olur.
- Arıtılmış atıksuların içeriğinde nütrientler ve mineraller bulunduğundan, tarımsal sulama amaçlı kullanımda fazladan gübre kullanımının önüne geçilmiş olur.
- Değerli elementlerin ve ısıнын su döngüsü ile geri kazanımı sağlandığından, atıksu iyileştirme maliyetleri azaltılmış ve ekonomik açıdan tasarruf edilmiş olur.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları, içilebilir ve içilemeyen kullanımlar olmak üzere iki temel başlık altında sınıflandırılabilir. Bu iki kullanım şekli kapsamında yer alan çeşitli kullanım alanlarından bazıları şunlardır (Kretschmer vd., 2006; Polat, 2012):

1- İçilebilir nitelikteki kullanımlar

- İleri derecede arıtılmış atıksu ile mevcut içme suyu stoğunun harmanlanması şeklinde, doğrudan içme suyu olarak kullanım
- Arıtılmış atıksuyun alıcı ortama verilmesinden ve doğal süreçlerden geçmesinden sonra dolaylı olarak kullanım

2- İilemeyen nitelikteki kullanımlar

- Tarımsal sulama
- Rekreasyonel alanların (parklar, bahçeler, spor sahaları, golf sahaları, vb.), okul bahçelerinin, tesislerin çevresindeki peyzaj alanlarının, mezarlıkların, yol kenarlarındaki ağaçlandırma alanlarının sulanması
- Kentsel kullanım (örneğin, araç yıkama tesislerinde yıkama suyu veya kamu binaları ile endüstriyel tesislerin tuvaletlerinde sifon suyu olarak)
- Yangın söndürme ve soğutma alışmaları
- Şehirlerde temizlik faaliyetleri
- Endüstriyel kullanım (örneğin, deri endüstrisinde, kağıt sanayinde, tekstil ve boyama fabrikalarında, petrol rafinerilerinde, kimyasal madde üretilen fabrikalarda, metal işleme tesislerinde, enerji santrallerinde proses suyu, buhar soğutma suyu ve kazan besleme suyu olarak, kül sulama ve baca gazı yıkama amaçlı kullanım)
- Yeraltı suyu beslemesi (yeraltı suyunu zenginleştirmek veya kıyı bölgelerinde akiferlere tuzlu su girişini önlemek amaçlı dolaylı kullanım)
- Su ürünleri yetiştiriciliğı
- İnşaatlarda toz kontrolü ve beton yapımı
- Rekreasyonel amaçlarla kullanılan eşme, süs havuzu, vb. yapılar
- Çevresel amaçlı kullanım (gölet ve bataklık oluşturma, akıntı artırma, balıkçılık, yapay kar üretme, vb.)

Atıksuyun doğrudan içme suyu üretiminde kullanılmasına ilişkin uygulamalara bir örnek, Namibya'daki Windhoek Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtılmış atıksuyun %25 oranında doğal kaynak suları ile seyreltilerek kullanılması olup, şu ana kadar insan sağığına herhangi bir olumsuz etkisi raporlanmamıştır (Lazarova vd., 2001; US EPA, 2012).

1.5 Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanımı

Gerek dünyadaki kullanılabilir su kaynaklarının oldukça kısıtlı olması, gerekse tarımsal faaliyetler için yüksek miktarlarda suya ihtiyaç duyulması nedeniyle, geri kazanılmış atıksuların yeniden kullanım alanları arasında tarımsal sulama en büyük potansiyele sahiptir. Şekil 1.5'te görüldüğü üzere, dünyadaki toplam su tüketiminin yaklaşık %70'ini tarımsal amaçlı kullanım oluşturmaktadır. Dolayısıyla, arıtılmış atıksuyun tarımsal sulamada kullanımı, su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin korunmasında önemli bir yere sahiptir.

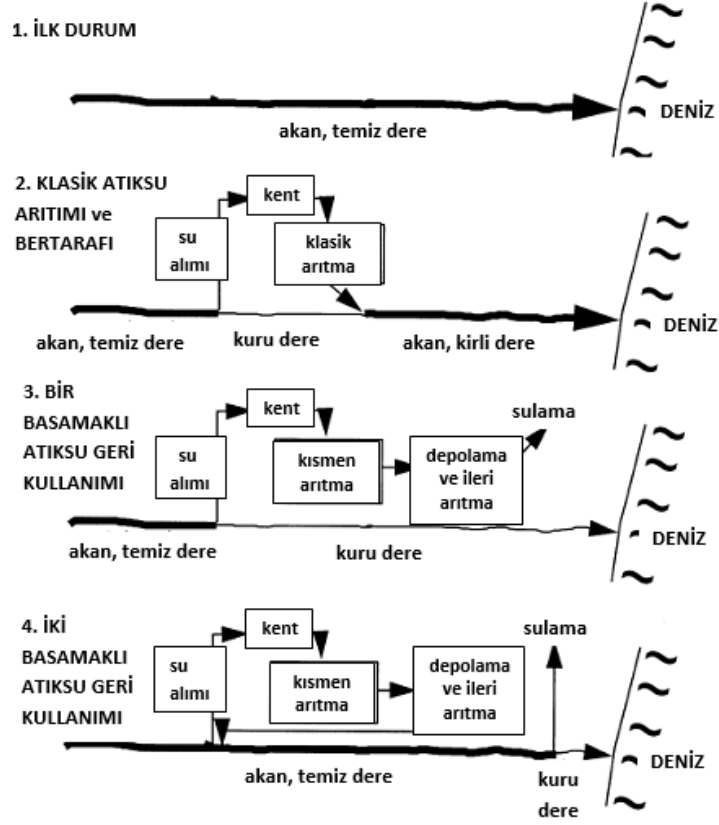
Atıksuların tekrar kullanımı aslında tarihin oldukça eski dönemlerine dayanmakta olup, eski Yunan ve Girit uygarlıklarında (M.Ö. 3000-1000 yılları arasında) atıksuyun sulamada kullanıldığına ilişkin göstergeler mevcuttur. 1950-1960'lı yıllarda, atıksu arıtma teknolojilerinin gelişmesi ve arıtılmış atıksu kalitesinin artması ile batı yarım kürede atıksuların toprağa uygulanması konusuna ilgi artmış, arıtılmış atıksuların yüzeysel sulara deşarjına karşı uygun maliyetli bir alternatif olarak uygulamalar geliştirilmiştir (Kretschmer vd., 2006). Atıksuların geri kazanımını içeren entegre su kaynakları uygulamalarındaki tarihsel gelişim süreci Şekil 7'de özetlenmiştir.

2002 yılında, Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Johannesburg kentinde düzenlenen Birleşmiş Milletler Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde ele alınan hedeflerden biri, 2000 yılında tarıma ayrılan su miktarından daha fazla su kullanmaksızın, tarımda kullanılan suyun verimliliğinin artırılarak, herkes için gıda güvenliğinin sağlanması olarak belirlenmiştir (HRH, 2002).

Arıtılmış atıksuların en yaygın yeniden kullanım alanı tarımsal uygulamalardır. Yeryüzünde sulamalı tarım yapılan, 50 ülkedeki yaklaşık 20 milyon hektar arazi, ham evsel veya endüstriyel atıksular, fiziksel veya biyolojik arıtmadan geçmiş atıksular ve/veya kısmen seyreltilmiş atıksular ile doğrudan veya dolaylı olarak sulanmaktadır. (Kretschmer vd., 2006; Polat, 2012).

Berlin, Londra, Milano ve Paris gibi şehirlerde atıksular yüzyıllar boyunca bir bertaraf şekli olarak tarımda kullanılmıştır. Pakistan'da ulusal sebze üretiminin %26'sı, Hanoi'de ise %80'i atıksu ile sulamadan sağlanmaktadır. Gana'da yaklaşık 11.500 hektar büyüklüğünde arazi akarsular ve nehirlerden çekilen seyreltilmiş

atıksular ile gayriresmi şekilde sulanmakta olup, bu alan ÷lkede resmi olarak sulanan alanların yüzölçümünden daha büyüktür. Meksika’da ise yaklaşık 260.000 hektar alan atıksular ile, çoğunlukla da ham atıksular ile sulanmaktadır. Uygulamaların çoğunda çiftçiler sulama için seyreltilmiş, arıtılmamış veya kısmen arıtılmış atıksu kullanmaktadırlar (Pedrero vd., 2010).



Şekil 7: Atıksuların geri kazanımını içeren entegre su kaynakları uygulamalarındaki tarihsel gelişim süreci (Friedler, 2001’den uyarlanmıştır).

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama amacıyla yeniden kullanımı için yapılan planlamalarda avantajların, dezavantajların ve olası risklerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasının avantajları şunlardır (Kukul vd., 2007; Polat, 2012; Toze, 2004):

- Atıksuyun nütriënt (azot ve fosfor) içeriği nedeniyle fazladan gübre kullanımında tasarruf sağlanabilir ve toprağın verimliliğinin artması ile daha çok ürün alınabilir.
- Su kıtlığı önlenir.

- Atıksu sürekli olduğundan, özellikle mevsimsel kuraklık yaşanan bölgelerde arıtılmış atıksu sulama için daimi ve güvenilir bir kaynak teşkil eder.
- Arıtılmış atıksuyun kullanımı ile iyi kalitedeki yüzeysel su kütlelerine atıksu deşarjı ortadan kalktığından, kısıtlı olan bu temiz su kaynakları korunmuş olur; bu su kaynaklarından içme ve kullanma gibi farklı amaçlarla faydalanılabilir.
- Atıksuda varolan ve birincil ve ikincil arıtma yöntemleri ile giderilemeyen nütrientlerin büyük kısmı arıtılmış atıksuların sulama için yeniden kullanılması ile giderilebildiğinden, maliyetli üçüncül arıtma sistemlerine olan ihtiyaç azalır, arıtma maliyetleri düşer.
- Uygulanan atıksu topraktan sızma ile akiferlerin dolmasını sağlar ve infiltrasyon esnasında doğal bir arıtma işlemine tabi tutulmuş olur.
- Atıksuların sulamada kullanıldığı durumlarda, topraktaki bitki yetiştiriciliği için yararlı olan mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ancak, arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasının bazı dezavantajları ve olumsuz etkileri de olabilmektedir (Kretschmer vd., 2006; Polat, 2012; Toze, 2004):

- Atıksuyun içerdiği bazı maddeler, bitkiler için toksik olabilecek veya çevreye zararlı olabilecek konsantrasyonlarda bulunabilirler.
- Atıksuyun içerdiği patojen mikroorganizmaların sulama ile besinlere bulaşması sonucunda, bu besinleri tüketen insanların ve diğer canlıların sağlığı tehlikeye girmektedir.
- Sulama ürün ihtiyacına bağlı olarak miktarı değişen ve genellikle mevsimsel bir uygulamadır, ancak atıksu sürekli olduğundan atıksu arıtımı yıl boyunca süreklilik gösterir. Bu nedenle, atıksuyun sulamada kullanımı genellikle yalnızca bitkilerin büyüme dönemi ile sınırlı olduğu için sulama ihtiyacının olmadığı dönemlerde ikinci bir deşarj imkanının sağlanması veya çıkış suyunun depolanması gerekmektedir.
- Arıtılmış atıksu sulama sistemlerine zarar verebilmektedir.

1.6 Arıtılmış Atıksu Kalitesi ve Risk Faktörleri

Atıksuların yeniden kullanım seçenekleri, arıtılmış atıksuyun kalitesine ve atıksuyun kullanım alanı ile ilgili çevresel risklere bağlı olarak değerlendirilmektedir. Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksulara ilişkin uygulamalar genel olarak farklılık gösterebilmektedir. Evsel atıksular ilk bakışta daha zararsız görünmekle beraber, içeriğinde bulunan ve kanalizasyona, arıtma sistemine ve arıtmadan geçen atıksuyun nihai kalitesine etkileri dikkate alınmayarak suya bırakılan, farklı konsantrasyonlardaki biyo-bozunabilir ve bozunamayan çeşitli kimyasal maddeler nedeniyle ciddi bir kirletici potansiyele sahiptir. Öte yandan, sanayi tesislerinden kanalizasyon sistemlerine verilen endüstriyel nitelikli atıksular, bu işletmeler birtakım izinlere ve denetim programlarına tabi olduklarından, daha dikkatli izlenmektedir (Kretschmer vd., 2006).

Arıtılmış atıksuyun kalitesi, kullanılan su kaynağının kalitesi, kullanım sırasında suya bırakılan atıkların özellikleri ve atıksuyun arıtma derecesi ile yakından ilişkilidir. Atıksu arıtma tesislerinde rutin olarak ölçülen ve izlenen atıksu kalitesi verileri, genellikle su kirliliği kontrolü açısından önemli olan, atıksuyun bertarafı ve deşarjı ile ilgili BOİ, KOİ, AKM, vb. cinsinden kirlilik parametreleridir. Öte yandan, tarımsal ve peyzaj sulama için önemli olan atıksu özellikleri, toprağın geçirgenliğini ve bitki gelişimini etkileyen belirli kimyasal elementler ve bileşikler olup; bu parametrelerin tamamının atıksu arıtma tesislerindeki rutin izleme programları çerçevesinde izlenip raporlanması söz konusu olmayabilmektedir (Pedrero vd., 2010).

Arıtılmış atıksular kalitesine göre tarımsal sulamada kısıtlı ve kısıtsız kullanım olarak adlandırılabilir. Başlıca iki şekilde uygulanabilmektedir (Kretschmer vd., 2006). Bu iki sulama şeklinin özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Kısıtlı sulama, yalnızca sınırlandırılmış arazilerde sulama yapmak ve belirli ürün çeşitlerini sulamak amacıyla düşük kaliteli çıkış suyunun kullanılmasıdır. Arazinin toprak yapısı, sulanan alanın içme suyu kaynağına yakınlığı, sulama ve hasat yöntemi, gübre uygulamasına bağlı kısıtlamalar getirilmektedir. Bu şekilde sulama basit ve düşük maliyetli olup, genellikle yalnızca alanın ve yetiştirilen ürünlerin iyi tanımlanmış olduğu belirli

yerlerde ve küçük hacimlerde atıksu ile uygulanabilmektedir. Kısıtlı sulama yapılan arazilerde ekilen ürün çeşitleri kontrol edilmeli ve yetiştiriciler düşük kaliteli suyun kullanımı konusunda eğitilmelidirler.

- Kısıtsız sulama ise herhangi bir toprak çeşidinde her tür ürünü yetiştirmek amacıyla tatlı su yerine yüksek kaliteli çıkış suyunun, herhangi bir sınırlama olmaksızın kullanılmasıdır. Bu şekilde pişirilmeden yenen sebzeler de sulanabilmektedir. Kısıtsız sulama için kullanılan su ile temas ve hatta bu suyun yanlışlıkla içilmesi sağlık riski içermemektedir.

Arıtılmış atıksular tarımsal sulamada kontrollü olarak uygulanmadığı takdirde aşağıdaki ana başlıklarda belirtilen riskler ortaya çıkabilmektedir (Kretschmer vd., 2006):

- Atıksuların ağır metal, nitrat ve organik madde içeriği nedeniyle yeraltı sularına olası zararları
- Atıksu ile bulaşan patojenlerin insan sağlığına olası zararları
- Ağır metal birikimi ve asitlenmeye bağlı olarak atıksuların toprak üzerindeki olası zararları

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada yeniden kullanımı ile ilişkilendirilen birçok risk faktörü bulunmaktadır. Bunlardan bazılarının (örneğin, mikrobiyal patojenler) etkileri kısa vadede ortaya çıkarken, ciddiyeti insanlarda, hayvanlarda ve çevresel temas durumunda farklılık gösterebilmektedir. Bazı risk faktörlerinin etkileri (örneğin, toksik kimyasallar ve tuzluluğun topraktaki etkisi) ise daha uzun sürelerde ortaya çıkmakta ve geri kazanılmış atıksuyun sürekli kullanımı sonucunda artmaktadır (Kukul vd., 2007; Toze, 2004). Atıksuların içeriğindeki patojenler ve kimyasal maddelere ilişkin olası riskler Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6: Atıksulardaki patojenler ve kimyasallar ile ilgili olası riskler (Kukul vd., 2007).

	Patojenler	Kimyasallar
Risk faktörleri	Bakteriler Virüsler Helmintler Protozoa	Ağır metaller Nitratlar ve nitritler Organik mikro kirleticiler
Riskin oluşma nedeni	Bir defalık veya tekrarlanan tüketim veya temas	Tekrarlanan tüketim
Risk kaynaklarına maruz kalma yolları	Sebzelerin, midye gibi kabuklu deniz hayvanlarının yenmesi Suyun içilmesi Aerosoller Doğrudan veya dolaylı yollardan suyla temas Vektörler (su civarında yaşayan böcekler vb.)	Çeşitli yiyeceklerin yenmesi Suyun içilmesi
Risk kaynaklarına maruz kalındığında etkilerin ortaya çıkışı	Genellikle çabuk görülür.	Genellikle uzun süre sonra görülür.

1.6.1 Tuzluluk

Tarihsel olarak sulama suyunun kalitesi, içeriğindeki tuzların miktarına ve türlerine göre belirlenmiştir. Tarım ürünlerinin tuzluluğa karşı toleransı ürün çeşidine göre değişiklik göstermekle birlikte, genel olarak sulama için kullanılan atıksuların tuzluluğu arttıkça toprak, su ve mahsul konusunda problemlerle karşılaşma olasılığı artmaktadır. Tuzluluk sorunuyla başa çıkmanın uygulanabilir tek yolu, bitkilerin kök bölgesinde su ve tuzun net aşağı yönlü akışını sağlamaktır. Bu koşullar altında, kök bölgesinin aşağısında su ve tuzun sürekli hareketine imkan veren iyi bir drenaj olması çok önemlidir. İyileştirilmiş atıksuyun sulamada uzun dönemli kullanımı, yeterli drenaj sağlanmadığı takdirde genellikle mümkün olmamaktadır (Pedrero vd., 2010).

Sodyum ve diğer tuzlardan kaynaklı tuzluluk iyileştirilmiş atıksudaki en inatçı problemlerden biri olup, yüksek orandaki tuzluluğun giderimi katyon değişimi ve ters osmoz gibi genellikle pahalı yöntemler ile mümkün olabilmektedir. Ancak bu yöntemler çoğunlukla yalnızca çok yüksek kalitede (örneğin, içme suyu ve

endüstriyel kullanım için düşük TÇM konsantrasyonuna sahip su) elde etmek için kullanılmakta olup; sulama suyu elde etmek için ekonomik açıdan tercih edilen yöntemler değildir. Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun tuz içeriğinin ürünlerin eşik değerini aştığı durumlarda, atıksu tatlı su ile karıştırılarak kullanılabilir. Sulamadan önce veya sulama sırasında gerçekleştirilebilen bu karıştırma işlemi ile çiftçiler için kullanılabilir su hacmi de arttırılabilmektedir.

1.6.2 Özgül İyon Toksisitesi

Atıksudaki belirli bir iyonla ilişkin toksisite, bu iyon bitkiler tarafından alınıp bitkilerde hasara ve rekoltede düşüşe neden olacak şekilde birikme olduğunda ortaya çıkmaktadır. Arıtılmış atıksuda bulunan, bu açıdan en önemli iyonlar sodyum, klorür ve bordur. Bor genellikle evlerde kullanılan deterjanlardan ve endüstriyel tesislerin deşarjlarından kaynaklanmaktadır. Evsel kullanımlar sonucunda, özellikle yumuşatıcıların kullanılması ile atıksulardaki klorür ve sodyum konsantrasyonları da artmaktadır. Hassas bitkiler için, toksisitenin önüne geçilmesi ancak ürünü veya su kaynağını değiştirmekle mümkün olabilmektedir. Bu problem genellikle sıcak iklim koşullarında daha da belirginleşmektedir (Pedrero vd., 2010).

1.6.3 Toprak Geçirgenliği

Bitkiler üzerindeki etkilerine ek olarak, sulama suyundaki sodyum toprak yapısını etkileyerek suyun toprağa sızma hızını düşürebilmekte ve toprağın havalanmasını azaltabilmektedir. İnfiltrasyon hızı çok düştüğü takdirde, ürünlerin düzgün şekilde gelişmesi için yeterli suyu sağlamak olanaksızlaşabilir. Geçirgenlik sorunu genellikle toprağın yüzeyinden ilk birkaç santimetre derinlikte meydana gelmektedir ve bu tabakada veya uygulanan atıksuda bulunan görece yüksek sodyum veya çok düşük kalsiyum içeriği ile ilgilidir. Belirli bir SAR değerinde, infiltrasyon hızı tuzluluk arttıkça artmakta, tuzluluk azaldıkça azalmaktadır. Bu nedenle, toprağın geçirgenliği ile ilgili olası sorunların değerlendirilmesinde SAR ve elektriksel iletkenlik değerleri bir arada kullanılmalıdır. Bazı atıksu geri kazanım projelerinde, arıtılmış atıksuların yüksek sodyum konsantrasyonlarına bağlı olarak yüksek SAR değeri planlamada dikkate alınan önemli bir husus olmaktadır. Sodyum içerikli atıksular ile sulama söz konusu olduğunda, zaman içerisinde toprağın yapısının bozulmasının engellenmesi için kimyasal ve biyolojik iyileştirmelere gereksinim duyulmaktadır. Önemli

miktarlarda kalsit (CaCO_3) içeren kalkerli topraklarda, toprağa asit oluşturu maddelerin eklenmesi ve bitki köklerinde CO_2 seviyelerini arttıran faaliyetler yardımıyla kalsitin bitkilerin kök tabakasında çözünürlüğü arttırılabilir ve bu sayede sodyumun olumsuz etkilerini dengeleyecek miktarda çözünmüş kalsiyum sağlanabilir (Pedrero vd., 2010).

1.6.4 Nütrientler

Atıksularda önemli miktarlarda bulunan nütrientler azot ve fosfor olup, nadiren potasyum, çinko, bor ve kükürt de bulunabilmektedir. Arıtılmış atıksuların içerdiği nütrientler tarımsal ve peyzaj amaçlı sulamada gübre değeri taşımakta; ancak atıksularda bitkilerin ihtiyaç duyduğundan fazla miktarlarda bulundukları durumlarda, bitkilerde aşırı büyüme, gecikmiş veya düzensiz olgunlaşma, kalitede azalma gibi sorunlara neden olmaktadır. İyileştirilmiş atıksudaki nütrientlerin ürünlerin gelişmesi üzerindeki olumsuz etkilerinin engellenmesi amacıyla periyodik izleme yapılması önemlidir. Ayrıca, sulama suyu ve topraktaki azot ve fosfor fazlası sucul ekosistemlerde üretkenliği arttırarak ötrofikasyona neden olabilmektedir. Bu da yayılı kaynaklı kirliliğin ana unsurlarından birini meydana getirmektedir.

1.6.5 Patojenler

İnsanlara etki eden mikrobiyal patojenlerden geri kazanılmış atıksuda en yaygın bulunanları bağırsak kökenlidir. Enterik patojenlerin çevreye yayılması patojenlerle enfekte olmuş canlıların dışkılanması ile, suya geçmesi ise bu dışkıların suya karışması yoluyla, atıksu ile kontaminasyon sonucunda veya toprak yüzeyinden akış ile gerçekleşir (Toze, 2004).

Suda bulunan bazı enterik patojen çeşitleri virüsler, bakteriler, protozoa ve helmintlerdir. Bunların tarımsal topraklarda hayatta kalmaları çeşitli etkenlere göre değişmektedir (Tablo 7). Bu patojenlerin herhangi birinden su kaynaklı bir enfeksiyon oluşma riski, patojen sayısının varlığı ve sudaki dağılımı, enfeksiyon oluşması için maruz kalınması gereken doz, maruz kalan bireyin veya popülasyonun hassasiyeti, sudaki fekal kontaminasyon olasılığı ve maruziyetten önce suyun geçirdiği arıtma düzeyi gibi birtakım etkenlere bağlıdır (Toze, 2004).

Tablo 7: Enterik patojenlerin toprak ortamında hayatta kalmalarını etkileyen etmenler (Kukul vd., 2007).

Toprak etmeni	Bakterilerin hayatta kalma süresi üzerine etkisi
Toprak mikroflorasından-canlı çeşitlerinden kaynaklanan antagonizm	Steril topraklarda hayatta kalma süresi artar.
Nem içeriği	Nemli topraklarda ve çok yağışlı dönemlerde hayatta kalma süresi uzar.
Su tutma kapasitesi	Hayatta kalma süresi kumlu topraklarda, su tutma kapasitesi yüksek topraklardakinden daha kısadır.
Organik madde içeriği	Yeterli organik madde olduğunda hayatta kalma süresi ve üreme olasılığı artar.
pH	Asit topraklarda (pH=3-5) alkali topraklardakinden (pH>8) daha kısadır.
Güneş ışığı	Toprak yüzeyinde hayatta kalma süresi daha kısadır.
Sıcaklık	Hayatta kalma süresi düşük sıcaklıklarda daha uzundur; kışın yaz aylarındakinden daha uzundur.

1.6.5.1 Bakteriler

Geri kazanılmış atıksuda en yaygın bulunan mikrobiyal patojen çeşidi bakterilerdir. Atıksularda çok farklı türlerde bakteriyel patojenler ve fırsatçı patojenler gözlemlenebilmektedir. Bakteriyel patojenlerin çoğu bağırsak kökenli olmakla birlikte, bağırsak kökenli olmayan hastalıklara neden olan bakteriler (örneğin; *Legionella* spp., *Mycobacterium* spp., ve *Leptospira*) de atıksularda saptanmıştır (Toze, 2004).

Bakteriler kendi kendilerine üreyebilen, metabolik olarak aktif mikroorganizmalardır. Teorik olarak doğada kendilerini çoğaltma yetenekleri olmasına rağmen çevresel baskılar çoğalmalarını engellemektedir. Diğer enterik patojenlerde olduğu gibi, bakterilerin de en yaygın bulaşma yolları kontamine olmuş su ve yiyecekler ile insanlar arasında doğrudan temastır. Virüslerden farklı olarak, bakteriyel patojenlerin bir kısmı evcil veya yabani hayvanlar tarafından taşınabilir veya hayvanları enfekte edebilirler.

1.6.5.2 Virüsler

Suda bulunan patojenlerin en küçük boyutta olanı enterik virüslerdir. Bakterilerin aksine, virüsler suda inaktif halde bulunmakta olup, kendi kendilerine çoğalma

yetenekleri yoktur. Zorunlu parazit olan bu patojenler ancak uygun bir konakçı bulduklarında, enfekte olan konakçının hücrelerini kendilerini çoğaltmaya zorlayarak ürerler.

Virüslerin birçoğu ham atıksu gibi fekal kontaminasyona uğramış atıksularda sıklıkla görülebilir, ancak çocuk felci virüsü Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde uygulanan yaygın aşılama sayesinde ortadan kaldırılmıştır. Çoğu enterik virüsün etkilediği konakçı çeşidi sınırlı olup, geri kazanılmış atıksuda bulunan virüsler yalnızca insanlara hastalık bulaştırmaktadır. Söz gelimi, insanların viral enfeksiyonu başka canlılar değil, ancak insan kaynaklı fekal kontaminasyonu olan atıksular ile söz konusu olabilir. Aynı şekilde, insanlara etki eden virüsler hayvanlar için nadiren sorun teşkil etmektedir (Toze, 2004).

1.6.5.3 Protozoa

Enterik protozoan patojenleri zorunlu parazitler olan tek hücreli ökaryotik canlılardır. Konakçı canlı dışında, kist adı verilen pasif evrede bulunurlar. Ham ve geri kazanılmış atıksularda rastlanan protozoanın en yaygın türleri *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis* (eski adı ile *Giardia lamblia*) ve *Cryptosporidium parvum*'dur. Her üç türün kistleri ile kontamine olmuş su veya yiyeceklerin insanlarca tüketilmesi veya insanlar arası temas yoluyla enfeksiyon oluşabilmektedir. *Giardia* ve *Cryptosporidium* patojenlerine birçok ülkede, tatlı sularda ve geçiş sularında çok yaygın olarak rastlanmaktadır. *E. histolytica* ise daha çok tropikal bölgelerde yaygın olmakla birlikte dünyanın her bölgesinde görülmektedir (Toze, 2004). Bakteriyel patojenlerde olduğu gibi, protozoa da çeşitli evcil ve yabani hayvanlar tarafından taşınabilir veya bu hayvanlara hastalık bulaştırabilir.

1.6.5.4 Helmintler

Helmintler (nematodlar ve tenyalar), fekal-oral yolla geçen yaygın bağırsak parazitleridir. Bu parazitik solucanların bir kısmı insanları enfekte edecek duruma gelmeden önce gelişmek için bir ara konakçıya gereksinim duyarlar, ancak ikinci bir konakçı canlıda gelişme evresini de içeren karmaşık bir yaşam döngüsüne sahip olan bu türleri geri kazanılmış atıksularda nadiren bulunur. Atıksularda sıklıkla gözlemlenebilen ve yeniden kullanılan atıksularda ciddi sağlık risklerine neden olan helmintlerden bazıları yuvarlak solucan (*Ascaris lumbricoides*), kancalı kurt

(*Ancylostoma duodenale* veya *Necator americanus*) ve kamçı kurdudur (*Trichuris trichiura*). Bu türlerin ara konakçılara ihtiyaç duymayan basit bir yaşam döngüleri vardır ve fekal-oral yolla enfeksiyona neden olurlar (Toze, 2004).

Dünyada helmint enfeksiyonlarının ana kaynaklarından biri ham veya kısmen arıtılmış atıksuyun ve arıtma çamurunun tarım ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmasıdır. Örneğin, Meksika’da yapılan bir araştırmada, arıtılmamış atıksu ile sulanan tarlalarda çalışan çiftçilerde ve çocuklarında yuvarlak solucan enfeksiyonunun nüfusun geri kalanından daha yaygın olduğu görülmüştür. Özellikle yetişkinlerde enfeksiyon oranlarının atıksuyun arıtma seviyesine bağlı olarak düştüğü belirlenmiştir. Kısmen arıtılmış atıksu ile yetiştirilen havuç, salatalık, marul gibi çiğ tüketilen sebzelerin araştırmada değerlendirilen hiçbir yaş grubunda nüfusun geri kalanından daha fazla enfeksiyona neden olmadığı da ortaya çıkmıştır (Peasey vd., 2000; Toze, 2004).

1.6.6 Kimyasal Maddeler

Atıksuların içeriğinde bulunan kimyasal maddeler, hem insan sağlığı, hem de tarımsal ürünler ve toprak üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Tablo 8). Kimyasal içerikleri yönünden, atıksuların tarımsal alanlarda sulama için kullanılmasında dikkat edilmesi gereken temel sorun, toksik maddelerin toprakta birikmesi ve yıkanarak yüzey ve yeraltı sularına karışmasıdır. Toksik kimyasallar içeren suyun ve/veya ürünlerin bitki ve hayvanlar tarafından uzun süre tüketilmeleri durumunda bu maddeler bitki ve hayvanların bünyesinde depolanarak, dolaylı olarak insan sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir.

Ayrıca, tarımsal sulama amacıyla kullanılan suların içeriğindeki ağır metal ve toksik elementlerin çok düşük konsantrasyonları bile bitkiler için zararlıdır ve bitki gelişimini kısıtlamaktadır. Ağır metallerin bitki bünyesine alınabilirliği asidik toprak koşullarında ($pH < 5,5$) artma eğilimi göstermektedir. Oysa tarımsal yetiştiricilik için sulamanın gerekli olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprakların pH değeri 6,5-8 arasında olup, genellikle hafif alkali topraklardır. Dolayısıyla, bu koşullarda toksik kimyasalların bitkilerce alınımı güçleşmektedir (Kukul vd., 2007).

1.6.6.1 Ağır Metaller ve Eser Organik Maddeler

Atıksuların içeriğindeki ağır metaller yaygın arıtma prosesleri ile kolaylıkla ve etkin şekilde giderilebilmekte olup, ham atıksudaki ağır metal konsantrasyonlarının büyük kısmı arıtma süreçlerinde biyokatı faza geçerek arıtılmış atıksuda çok düşük konsantrasyonlarda kalmaktadır. Dolayısıyla, uygun arıtma yöntemleri ile arıtılmış evsel atıksular tarımsal sulamada kullanıldığında, ağır metaller ciddi bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak arıtılmış atıksu uygun şekilde arıtmadan geçmemiş veya endüstriyel kaynaklardan geliyor ise sulamada kullanımına dikkat etmek gerekmektedir. Tarımsal sulamada kullanılan çıkış sularının içeriğindeki ağır metaller zaman içerisinde toprakta birikmekte ve ürünler sulama ile birlikte topraktan bünyelerine aldıklarında besin zincirine katılmaktadırlar (Toze, 2004).

Tablo 8: Arıtılmış atıksularda bulunan ve toksisiteye neden olabilen kimyasal maddeler (Kukul vd., 2007).

Grup	Kimyasal	Etkileri
İnorganik	Ağır metaller	Metalin özelliğine ve canlılarda birikimine bağlı olarak: kanser, sinir sistemine etkiler
	Bor	Bitkilerde toksisite
	Serbest klor kalıntısı	Sucul yaşamda toksisite
	Nitratlar	Methemoglobinemi (mavi bebek sendromu), kanser
Organik	Organik halojenler	Kanser
	Pestisitler (zirai mücadele ilaçları)	Kanser, teratojenik etki, sinir sistemine etkiler
	Polinükleer aromatik hidrokarbonlar	Kanser

Arıtılmış atıksuların geri kullanımı Japonya, Tunus, İsrail, Mısır ve Çin başta olmak üzere birçok ülkede alışlagelmiş tarımsal uygulamalardan biri olmasına karşın, arıtılmış atıksu kullanımının uzun vadede toprakta ve bitkilerin yenilebilir kısımlarında ağır metallerin, organik kimyasalların ve farmasötik maddelerin birikimi üzerine etkileri henüz yeterli miktarda araştırmaya konu olmamıştır (Kalavrouziotis vd., 2011).

1.6.6.2 Endokrin Bozucular

Endokrin bozucular, isminden de anlaşılacağı üzere, organizmaların endokrin sistemlerinin yapısını ve çalışmasını bozarak bireyler ve gelecek nesilleri için olumsuz etkilere neden olan bileşiklerdir. Endüstriyel veya evsel nitelikli atıksularda bulunan en bilinen endokrin bozucu madde örnekleri doğum kontrol haplarında bulunan östradiol bileşikleri, fito-östrojen, pestisitler, BPA ve nonyl-fenol gibi endüstriyel kimyasallar ve ağır metallerdir. İkincil arıtma ile bu maddelerin önemli bir kısmı atıksulardan uzaklaştırılabilmektedir. Arıtılmış atıksulardaki düşük endokrin bozucu madde konsantrasyonları ve bu bileşiklerin potansiyel kısa yarılanma sürelerine bağlı olarak tarımsal sulamada risk teşkil etmeyeceği belirtilmektedir (Toze, 2004).

1.6.6.3 Farmasötik Bileşikler

Atıksularda bulunan farmasötik olarak aktif olan bileşikler, daha çok hayvanlar ve insanlar için tedavi amaçlı kullanılan ilaçlardır. Bunların en sık rastlananları ibuprofen gibi analjezikler, kafein, antiepileptikler, atorvastatin gibi kolesterol düşürücüler, antibiyotikler ve antidepresanlardır. Bazı bileşikler atıksu arıtımı ve çevresel döngüler sırasında kolaylıkla giderilirken, bazıları daha kalıcı olabilmektedir. Farmasötik bileşikler ile ilgili en önemli endişelerden biri, atıksuların çevreye deşarjına bağlı olarak topraktaki ve sucul mikroorganizmalarda antibiyotiklere karşı direnç gelişmesidir (Toze, 2004).

1.6.6.4 Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

Dezenfeksiyon yan ürünleri, genellikle atıksuyun klorlanması sonucu oluşan yan ürünlerdir. Klorun atıksuda bulunan organik maddeler ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan en yaygın bileşikler olan trihalometanların kanserojen etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle gerekli klor dozunun dikkatle ayarlanması gerekmektedir.

1.7 Geri Kazanım İçin Uygun Atıksu Arıtma Yöntemleri

Yeniden kullanım amaçlı atıksu kalitesinin sağlanması için uygulanan arıtma teknolojileri başlıca üç sınıfta toplanabilir:

1.7.1 İkincil Arıtma

Atıksu geri kazanım planlamalarının üçte birinden fazlası ikincil arıtmaya dayanmaktadır. Ham olarak tüketilen ürünlerin yetiştirilmesinde ikinci derece arıtılmış atıksuların kullanılması uygun değildir. Bu atıksular pişirilmeden tüketilmeyen ürünlerin sulanmasında ve endüstride soğutma suyu olarak kullanılabilir. Neredeyse bütün orta ve büyük ölçekli geri kazanım planlamaları, klasik ikincil arıtma proseslerine takiben ilave teknolojiler kullanılması şeklindedir. Burada membran biyoreaktörlerin (MBR), ayrıca ele alınması gerekmektedir. MBR klasik ikincil arıtma proseslerine ilave arıtma teknolojisi olarak tasarlanmamış olup, daha sıkı çıkış suyu standartlarını sağlayabilmek amacıyla klasik ikincil arıtma proseslerinin yerine kullanılan yegane arıtma prosesidir.

MBR sisteminin atıksuların yeniden kullanımı konusunda, sistemlerde nanofiltrasyon veya ters osmoz işlemleri (dördüncü derece arıtma) öncesinde bir ön arıtma işlemi şeklinde veya Belçika'daki Schilde Atıksu Arıtma Tesisi'nde olduğu gibi çıkış suyunun kısıtlanmamış sulama için doğrudan kullanımına ilişkin olarak önemli beklentiler mevcuttur. Avrupa'da kentsel atıksu arıtımında ilk MBR uygulamaları 1998 yılında başlamıştır. İlk yıllardaki uygulamalar İngiltere, Almanya ve İtalya'daki gibi, küçük ölçekli (<100 m³/sa), merkezi olmayan arıtma tesislerinde olsa da, günümüzde endüstriyel amaçlı geri kazanım için İtalya'daki Empoli Schilde Atıksu Arıtma Tesisi ve tarımsal sulama amaçlı geri kazanım için Fransa'daki Villafranche Atıksu Arıtma Tesisi gibi büyük ve orta ölçekli uygulamalar da mevcuttur (Bixio vd., 2006).

1.7.2 Üçüncül Arıtma

Arıtılmış atıksular için kısıtlanmamış sulama standartlarının sağlanması, klasik ikincil arıtma yöntemlerini takiben filtrasyon ve/veya dezenfeksiyon gibi ilave arıtma işlemlerinin uygulanması ile mümkündür. Avrupa'da, 0 ad/100 mL fekal koliform sınır değerini sağlamak için ikincil arıtma çıkış sularının koagülasyon/flokülasyon, sedimentasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemlerine tabi tutulmasını dayatan Kaliforniya Başlık 22 kriterleri gibi teknoloji temelli yasal düzenlemeler bulunmamaktadır. İspanya, Yunanistan, İtalya, Portekiz ve Kıbrıs gibi Akdeniz havzasında yer alan AB üye ülkelerinde hedeflenen 10 ad/100 mL fekal koliform

sınır değerini sağlamak için en yaygın olarak uygulanan sistem, koagölasyon-flokölasyon ve doğrudan filtrasyonu takip eden dezenfeksiyon işlemidir. Yapay sulak alanlar (ve dezenfeksiyon) da özellikle küçük ölçekli projelerde sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca, Hollanda ve Belçika’da orta ve büyük ölçekli uygulamalar da mevcuttur. Bu sistemler ile arıtılan atıksularda patojen giderimi açısından büyük verim elde edilebilmektedir (Bixio vd., 2006).

Dezenfeksiyon işlemi olarak çoğunlukla klorlama uygulanmakla birlikte, UV kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Klorlama ve UV dışındaki dezenfeksiyon yöntemleri nadiren tercih edilmektedir. Ozon ve perasetik asit ile dezenfeksiyon yapılan tam ölçekli uygulamalara iki örnek olarak, çıkış suyu endüstriyel amaçlı geri kazanım için kullanılan Belçika’da bir atıksu arıtma tesisi ve çıkış suyu tarımsal sulama amaçlı geri kazanım için kullanılan İtalya’da bir diğer atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır (Bixio vd., 2006).

1.7.3 Dördüncöl Arıtma

Mikrobiyal giderim mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon ile de sağlanabilmektedir. Ayrıca, nanofiltrasyon ve ters osmoz işleminden önce mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ile ön arıtma uygulanarak, bu sayede dördüncöl derece arıtma ile içme suyu ve endüstride proses suyu olarak kullanılabilen nitelikte, ileri derecede saf su kalitesinde çıkış suyu elde edilebilmektedir.

Tarımsal sulama uygulamaların çoğunluğu evsel atıksuyun yeniden kullanımına odaklanmakla birlikte, dünyada sanayi için kullanılan suyun toplam su tüketiminin %20’si olduğu göz önüne alındığında, endüstriyel atıksuların sulamada kullanılması konusundaki potansiyelin de büyük olduğu görülecektir. Gıda endüstrisinde oluşan atıksular, ana içeriğinin organik maddeler olması nedeniyle endüstriyel nitelikli atıksular arasında tarımda kullanılmak için en yüksek potansiyele sahiptir. Gıda endüstrisi atıksuları ile yapılan sulamanın toprak, bitkiler ve çeşitli ürünlerin verimleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalar, toprakta zararlı madde birikiminin olmaması ve bazı ürünlerin rekoltesindeki artışlar açısından olumlu sonuçlar ortaya koymuştur (Kretschmer vd., 2006). Gıda endüstrisinde yer alan bazı sektörlerin atıksularının içerdiği maddeler ve atıksuların yeniden kullanılması için tabi tutulduğu arıtma türü Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: Bazı gıda sektörlerinin atıksu içeriği ve arıtma yöntemleri (Kretschmer vd., 2006).

Gıda sektörü	Ön arıtma yöntemi	İçeriğindeki kirletici maddeler	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Konserve	Mekanik arıtma, nötralizasyon, koku giderimi	Tuzlar, organik asitler, deterjanlar, aşındırıcı maddeler	60	10	35
Balık işleme	Mekanik arıtma, yağ ayırımı, seyreltme, klorlama, koku giderimi	Pullar, yağlar, organik asitler, tuz, H ₂ O ₂	500	-	-
Süt ürünleri	Mekanik arıtma	Dezenfektanlar	35	10	20
Şeker	Mekanik arıtma	Stronsiyum, katran, syanik asit	50	10	-
Nişasta	Mekanik arıtma, nötralizasyon, seyreltme	Tuzlar, asitler	300	45	415
Alkollü içki	Mekanik arıtma, nötralizasyon	Alkali, asitler, karbonat, klorlu bileşikler	25	1	20
Patates unu	Mekanik arıtma	(Yok)	550	140	95

1.8 Yasal Düzenlemeler

1.8.1 Diğer Ülkelerin Mevzuatları

Bazı ülkelerde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda kurumsal yapı ve yasal çerçeve ya halen oluşturulmamıştır, ya da zayıf durumdadır veya oldukça genel olan ve çoğunlukla yüksek maliyetli uygulamalar gerektiren uluslararası kriterlere (rehberlere veya yasalara) dayanmaktadır (Kretschmer vd., 2006).

Meksika, ABD, İspanya, İtalya, İsrail, Fransa, Tunus ve Yunanistan gibi bazı ülkelerde, atıksuların sulama amaçlı geri kazanımına ilişkin önerileri ve kullanım amaçlarına göre arıtılmış atıksuların sağlaması gereken kalite kriterlerini içeren, uygun arıtma yöntemlerini belirten ve sulama amacıyla bu suların nasıl kullanılması gerektiğini açıklayan rehber dokümanlar geliştirilmiştir (Toze, 2004; US EPA, 2012).

Mevcut standartlar kökenine göre, WHO, Kaliforniya ve diğerleri olmak üzere üç gruba ayrılabilir. İlk gruptakiler, aşağıda bahsi geçen, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın 1989 tarihli rehberi referans alınarak hazırlanmıştır. ABD'deki resmi düzenlemeler her eyaletin kendine özgü olup, Kaliforniya eyaleti atıksuların iyileştirilmesi ve geri kullanımı konusunda öncü olmuştur. Bu düzenlemelerin başlıcaları Kaliforniya Başlık 22 kriterleri (State of California, 1978) ve EPA'nın 1992 tarihli rehberidir. Diğer ülkeler (Avustralya ve Güney Afrika gibi) ise kendi standartlarını geliştirmeye karar vermişlerdir. Söz konusu standartlar genel olarak atıksular için gereken arıtma seviyesi ile birlikte bakteriyolojik kalite, bulanıklık ve askıda katı maddelere ilişkin sayısal limitlerin belirlenmesine dayanmaktadır. Mikrobiyolojik parametreler arasında, genellikle yalnızca toplam ve fekal koliform gibi fekal indikatörlere ve helmintlere odaklanılmış olup, virüsler ve protozoa gibi diğer patojenlere nadiren bakılmaktadır (Lazarova vd., 2001).

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uluslararası kalite standartları ve rehberlerden en önemlileri şunlardır:

- Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından hazırlanan rehber belirli aralıklarla güncellenerek yayımlanmaktadır. En son 2012 yılında güncellenerek yayımlanan “Suyun Yeniden Kullanımı için Rehber”, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin planlama ve yönetim ile ilgili hususlar, geri kullanım çeşitleri, iyileştirilmiş atıksu kalitesine ilişkin kriterler, eyaletlerdeki yasal düzenlemeler, atıksu arıtma teknolojileri, finansman ve halk katılımı ile ilgili konulara ek olarak küresel deneyimleri ve izleme için önerileri de içeren oldukça kapsamlı bir dokümandır (US EPA, 2012).
- WHO tarafından yayımlanan rehberlerin ilki, 1973 yılında çıkarılan “Atıksuların Yeniden Kullanımı: Atıksu Arıtma Yöntemleri ve Halk Sağlığının Korunması” başlıklı yayındır (WHO, 1973). Bu teknik doküman, tarımda ve su ürünleri yetiştiriciliğinde atıksuların akılcı kullanımı ve halk sağlığının korunması konularında örnek bir kılavuz olmuştur. Salgın hastalıklarla ilgili çalışmaların kapsamlı bir incelemesi ve diğer yeni bilgiler ışığında ikinci baskısı hazırlanarak, 1989 yılında “Atıksuların Tarımda ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kullanımı için Sağlık Kuralları” adlı rehber

yayımlanmıştır. Bu rehber, konuya ilişkin teknik standartların belirlenmesi ve politika üretilmesi açısından çok etkili olmuş; birçok ülke uygulamaları için bu dokümanı benimsemiş veya kendine uyarlamıştır (WHO, 1989). Son olarak 2006 yılında güncellenerek yayımlanan “Atıksu, Siyah Su ve Gri Suyun Güvenli Kullanımı için Rehber” atıksuyun farklı bileşenlerinin tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında kullanımına ilişkin ayrı bölümler halinde hazırlanmıştır. Tarımsal uygulamalar ile ilgili bölümlerde arıtma tipleri, sulama sistemleri ve sulanabilecek ürünlere ilişkin bilgiler yer almaktadır (WHO, 2006).

- Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)’nın yayımladığı “Atıksu Arıtımı ve Tarımda Kullanımı” da konuya ilişkin önemli bir rehber dokümandır. Söz konusu dokümanda tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında arıtılmış atıksuyun ve arıtma çamurunun kullanımına ilişkin hususlar ve uygulama örnekleri açıklanmıştır (FAO, 1992).

2000’li yılların başlarında dünya çapında yalnızca birkaç ülkede (ABD, Avustralya, İsrail, Güney Afrika Cumhuriyeti) atıksuyun tekrar kullanımına ilişkin düzenlemeler tam anlamıyla yapılmış olup, bazı AB ülkelerinde (İspanya, Fransa, İtalya ve Kıbrıs) atıksuyun sulamada kullanımına ilişkin düzenlemeler hazırlanmakta veya revizyon aşamasında idi (Angelakis vd., 2002). Bazı ülkelere atıksuların yeniden kullanımına ilişkin mevcut durum ve yasal düzenlemeler Tablo.10’da özetlenmiştir. ABD ve İspanya gibi birçok ülkede yalnızca bölgesel standartlar mevcuttur. Örneğin, ABD’nin Kaliforniya eyaletinde uygulanan “Atıksu İyileştirme Kriterleri” suyun bakteriyolojik kalitesi haricinde sayısal limitler belirlememiştir. Avrupa ülkelerinin çok azı atıksu iyileştirmesi ve geri kazanımı konusunda rehberlere veya düzenlemelere sahiptir. Bunun nedeni suyu tekrar kullanma ihtiyacı duymamaları ve akarsularının yeterli oranda seyrelme sağlamasıdır.

Tablo 10: Bazı ülkelerde atıksuların yeniden kullanımına ilişkin mevcut durum ve yasal düzenlemeler (Bozdoğan, 2009).

Ülkeler	Kullanılan Atıksuyun Durumu	Kullanım Alanları				Yasal Düzenleme
		Tarımsal	Kentsel	Endüstriyel	Diğer*	
ABD	Aritılmış	+	+	+	+	Var
Arjantin	Aritılmış-Aritilmemiş	+			+	Var
Brezilya	Aritılmış-Aritilmemiş	+				Var
Çin	Aritılmış-Aritilmemiş	+		+		Var
Fransa	Aritılmış	+			+	Var
İngiltere	Aritılmış	+	+	+	+	Var
İsrail	Aritılmış	+	+		+	Var
Japonya	Aritılmış	+	+	+	+	Var
Mısır	Aritılmış	+	+		+	-
Tunus	Aritılmış	+	+			Var
Ürdün	Aritılmış	+			+	Var

* Diğer kullanımlar arasında orman ürünleri yetiştiriciliği, mera sulaması, arıtlarak içme suyuna ekleme, okullarda sifon suyu olarak kullanım, kar eritme, temizleme suyu olarak kullanım, yollar ve otoyollarda bitkilerin sulanması, araba yıkama gibi işlemler bulunmaktadır.

1.8.2 Avrupa Birliği Mevzuatı

Avrupa Birliği mevzuatında atıksuların yeniden kullanımına ilişkin herhangi bir düzenleme mevcut değildir. Konuya ilişkin tek atıf, Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (91/271/EEC)’nin 12. maddesinde yer alan “*Aritılmış atıksuyun, uygun olduğu her koşulda yeniden kullanılması esastır. Bertaraf yöntemlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir.*” ifadesidir. Ancak atıksu geri kazanımı bağlamında “uygun” sözünün resmi bir açıklaması henüz ortaya konmamış durumdadır (Bixio vd., 2006).

AB Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC)’nde, atıksuların tekrar kullanımının tercih edilmesinden özel olarak bahsedilmemektedir, ancak su yönetiminin nitel boyutuna ek olarak, geri kazanımı teşvik edebilecek nicel bir boyut getirilmektedir. Direktifte geçen “*Su kaynakları diğer ekonomik gereklilikleri karşılamaya yeterli nitelikte ve nicelikte olmalıdır.*” ifadesi, genellikle ekonomik nedenlerle bir kaynak teşkil ettiğinden suyun yeniden kullanımına işaret etmektedir (Angelakis vd., 2002).

1.8.3 Ulusal Mevzuat

Ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uygulamalar, 11.08.1983 tarihli ve 18132 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 2872 sayılı Çevre Kanunu’na dayanılarak, 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’ne dayanılarak hazırlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği çerçevesinde yapılmaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin “Atıksuların Boşaltım İlkeleri” başlıklı Beşinci Bölümü’nün “Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanımı” konulu 28. maddesinde *“Sulama suyunun kıt olduğu ve ekonomik değer taşıdığı yörelerde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde verilen sulama suyu kalite kriterlerini sağlayacak derecede arıtılmış atıksuların, sulama suyu olarak kullanılması teşvik edilir. Bu amaçla uygulanacak ön işlemler ve yapılması gereken incelemeler Teknik Usuller Tebliğine göre yapılır. Bir atıksu kütlesinin bu tür kullanımlara uygunluğu, valilikçe il çevre ve orman müdürlüğü, il tarım müdürlüğü ve devlet su işleri bölge müdürlüğünden oluşturulacak komisyonca belirlenir.”* ifadesi yer almaktadır.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’nin “İlkeler ve Esaslar” başlıklı İkinci Bölümü’nün 5. maddesinin (e) bendinde ise, yönetmeliğin uygulanması için öngörülen esaslardan biri *“Uygun şartlarda arıtılmış atıksu yeniden kullanılabilir. Bertaraf yöntemleri çevreye olacak olumsuz etkileri en aza indirecek şekilde belirlenir. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin 28 inci maddesinde yer alan hükümlere tabidir.”* şeklinde belirtilmiştir.

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasına ilişkin yasal düzenlemelerin geçmişi, 07.01.1991 tarihli ve 20748 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği’ne dayanmaktadır. Söz konusu tebliğ yürürlükten kalkmış olup, 20.03.2010 tarihli ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ve günümüzde yürürlükte olan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’nin Yedinci Bölümü “Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri” başlığına ayrılmıştır. Tebliğin bu

bölümü arıtılmış atıksuların sulama için uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametreler, tarımsal sulama sularının sınıflandırılmasına ilişkin kalite kriterleri, atıksu geri kazanımı için arıtma teknolojisini seçimi, arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanım kriterleri ve sulama yöntemlerine ilişkin çeşitli hükümler içermektedir.

Ayrıca, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın "Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Tekrar Kullanılması Hakkında Yönetmelik" adlı mevzuat çalışmasının halihazırda devam ettiği de bilinmektedir.

Ulusal planlama dokümanlarında ise arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013)'nda, "Çevrenin Korunması ve Kentsel Altyapının Geliştirilmesi" başlığındaki 469 no'lu maddede "*Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmeden korunması sağlanacak ve atıksuların arıtıldıktan sonra tarım ve sanayide kullanılması teşvik edilecektir.*" şeklinde yer almaktadır (DPT, 2007).

2. ARITILMIŞ ATIKSULARIN TARIMSAL SULAMADA YENİDEN KULLANIM UYGULAMALARI

Günümüzde atıksuların yeniden kullanımının yaygın olduğu ülkelerin başlıcaları ABD, İsrail, Avustralya, Japonya, Birleşik Arap Emirlikleri ve Batı Avrupa ülkeleridir (Polat, 2013).

İyileştirilmiş atıksuların sulama amaçlı kullanımı Akdeniz ülkelerinin neredeyse tamamında artan şekilde benimsenmiştir. Bu konuda öncü olan İsrail'i Tunus, Kıbrıs ve Ürdün izlemiştir; daha sonra Akdeniz havzasında yer alan Avrupa ülkeleri de atıksuların sulama amacıyla geri kazanımını gündeme almışlardır (Angelakis vd., 2002). Son yıllarda Akdeniz ülkelerinde atıksuyun geri kullanımı, faydalı bir uygulama alanı olmaktadır. Akdeniz havzasında yer alan ülkelerin çoğu (örneğin Kıbrıs, İsrail, İtalya, İspanya, Fransa, Mısır, Tunus, Fas ve Yunanistan) arıtılmış atıksuları tarımda kullanmaktadırlar (Kalavrouziotis vd., 2005). Çin'de yılda yaklaşık 1,33 milyon hektar büyüklüğünde alan kısmen arıtılmış atıksu ile sulanmakta; Meksika'da ise yaklaşık 70.000 ha tarım arazisinin sulaması arıtılmış atıksular ile yapılmaktadır (Kalavrouziotis vd., 2008).

Bu bölümde, öncelikle arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımına ilişkin dünyadaki başarılı uygulamalardan bazıları sıralanmıştır. Bu örnekler Avrupa Birliği üye ülkeleri, Orta Doğu ülkeleri ve dünyanın diğer bölgeleri olarak gruplanmıştır. Daha sonra Türkiye'de konuya ilişkin yürütülen projeler ve araştırmalar ile bazı uygulama örneklerine yer verilmiştir.

2.1 Dünyadan Örnekler

2.1.1 Arjantin

Arjantin'de arıtılmış atıksuyun geniş ölçekte yeniden kullanımı, 20. yüzyılın başlarında ülkenin batısındaki yoğun nüfuslu bölgelerde tarımsal alanların sulanması ile başlamıştır. Ülkede atıksuyun yeniden kullanım uygulamalarının WHO standartlarına uygun olması gerektiği ve oluşan atıksular kentsel atıksu arıtma

tesislerinde uygun sistemlerle bu standartlara göre arıtıldığı halde, bazı bölgelerde hala arıtılmamış veya en düşük seviyede arıtılmış atıksular da sulamada kullanılmaktadır. Nüfusun yalnızca %35'i kanalizasyon sistemine bağlıdır ve toplanan kanalizasyonun bir kısmı uygun arıtmadan geçmektedir. Büyük şehirlerde damlatmalı filtre ve aktif çamur sistemi, kurak alanlarda ise geleneksel stabilizasyon havuzları ile arıtılan atıksular tarımda yeniden kullanılmaktadır. Arjantin'in batı bölgelerinde 3.640 hektar orman arazisi, bağ, zeytinlik, yonca tarlaları ve meyve ağaçları gibi alanlar arıtılmış atıksular ile sulanmaktadır (Bozdoğan, 2009).

Arjantin'deki en büyük atıksu geri kazanım sistemi, ülkenin batısında bulunan, kurak iklime sahip ve su kıtlığı yaşanan, bir milyon nüfuslu Mendoza bölgesinde bulunmaktadır. Toplam 320 hektar alana kurulu Campo Espejo Atıksu Arıtma Tesisi dünyanın en büyük lagün sistemlerinden biri olup; fakültatif ve oksijenli üçlü stabilizasyon havuzlarında yaklaşık 147.000 m³/gün atıksu, WHO'nun kısıtlı sulama suyu standartlarına uygun olarak arıtılmaktadır. 1976 yılında faaliyete geçen tesis 1996 yılında revize edilmiştir. Çıkış suyu iletim sistemleri ile taşınarak 2.700 hektar alanda domates, üzüm, balkabağı, alfalfa, enginar ile çeşitli meyve ve kavak ağaçlarının kısıtlı sulamasında kullanılmaktadır. Bu sayede hafif tuzlu olan topraklar da yıkanmış olmaktadır. Mendoza'da arazi bedellerinin düşük olması nedeniyle stabilizasyon havuzları uygun bir seçenek olarak görülmektedir (US EPA, 2012).

2.1.2 ABD

ABD'de atıksuyun yeniden kullanımına ilişkin uygulamalar giderek artmakta olup, hacimsel olarak en fazla geri kazanılmış atıksu tarımsal sulamada kullanılmaktadır (Kalavrouziotis vd., 2011). Güncel verilere göre geri kazanılan kentsel atıksu miktarı, çekilen toplam su miktarının %1,5'ine denk gelmektedir (Pedrero vd., 2010).

Özellikle Kaliforniya eyaletinde atıksuyun geri kazanımı için gelişmiş teknolojiler kullanılmaktadır. 2009 yılında Kaliforniya'da yaklaşık 825 milyon m³/yıl arıtılmış atıksu geri kazanılmış olup, bu miktarın %29'u tarımsal alanların ve %19'u kentsel yeşil alanların sulanmasında, %23'ü doğal sistemler için, %5'i yeraltı suyunun arttırılmasında, %7'si endüstriyel kullanımda, %7'si rekreasyonel alanlarda ve %8'i deniz suyu girişine karşı hidrolojik bariyer olarak yeniden kullanılmıştır (US EPA, 2012).

Florida eyaletinde, 2001 yılında, 461 kentsel atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atıksuların %19'u tarımsal alanların, %44'ü halka açık yeşil alanların sulanmasında, %16'sı yüzey suyunun arttırılmasında, %15'i endüstriyel uygulamalarda, %6'sı ise sulak alanlar ile diğer alanlarda kullanılmıştır (Bozdoğan, 2009).

Florida eyaletindeki 250.000 nüfuslu St. Petersburg şehrinde, Tampa ve Boca Ciega Körfezleri'ne "sıfır deşarj" hedefleyen büyük ölçekli bir geri kazanım uygulaması hayata geçirilmiştir. Eyalet ve devlet hibeleri ile 15 yıllık bir süre içerisinde, merkezi olmayan bir ileri arıtma sistemi kurulmuştur. İleri ikincil arıtma, filtrasyon ve klorlama ile sürekli olarak bulanıklığın 2 NTU, ortalama fekal koliform konsantrasyonunun 2,2 ad/100 mL olması sağlanmıştır. Bu şekilde, boru çapları küçültülerek toplam kapasitesi 260.000 m³/gün olan dört arıtma tesisini birbirine bağlayan büyük bir dağıtım sistemi inşa edilmiştir. Geri kazanılan atıksu, depolama hacmi bir günlük sulama ihtiyacı kadar (92.000 m³) olan, üstü kapalı rezervuarlardan oluşan bir sistemde depolanmaktadır. Yüzeysel su kaynaklarına "sıfır deşarj" sağlamak için her arıtma tesisinde yapılan derin kuyu enjeksiyon sistemleri alternatif bir bertaraf yöntemi olmuştur (Lazarova vd., 2001).

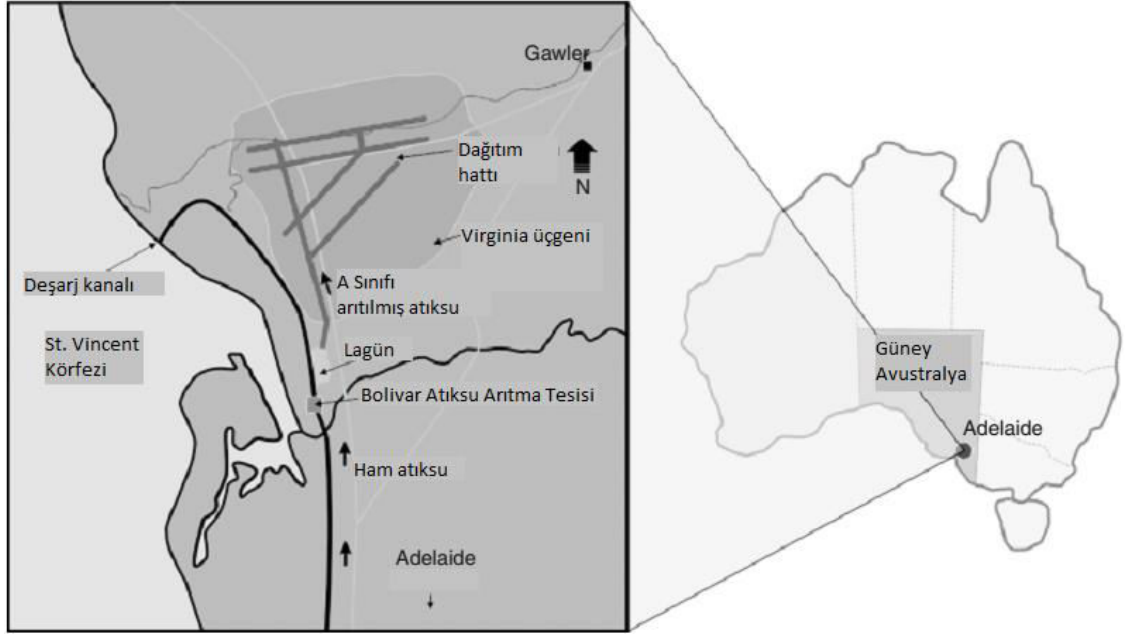
2.1.3 Avustralya

Dünyanın yerleşim olan en kurak kıtası durumundaki Avustralya, günümüzde sahip olduğu su kaynakları üzerindeki en yoğun baskıyı yaşamaktadır. Ülkede tatlı su kaynaklarını en çok tüketen sektör tarım sektörü olup, Avustralya'nın toplam su kullanımının yaklaşık %67'si sulamalı tarım için tüketilmektedir. Bu bağlamda, tarım ve kentsel sulama için kullanılan suyun yerine iyileştirilmiş atıksu kullanılması durumunda, baskı altındaki su kaynaklarının çevresel açıdan iyi duruma getirilmesinin ve mevcut su kaynaklarının daha iyi şekilde tahsis edilmesinin sağlanabileceğinden hareketle, 21. yüzyılın başlarında ülkede su konusunda önemli reformlar yapılmış ve atıksu politikaları oluşturulmuştur. Çevre sağlığı, sürdürülebilirlik ve suyun bulunabilirliği gibi konulara verilen önemin artması ile iyileştirilmiş atıksuların tarım ve kentsel sulamada kullanım oranı yükselmiştir. Bu gelişmeler sayesinde, Avustralya günümüzde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusunda dünyada lider konumdadır (Keremane ve McKay, 2007).

2000-2001 yıllarını kapsayan dönemde, üretilen toplam atıksu hacminin (1.837,2 milyon m³) yaklaşık %27,8'i geri kazanılmıştır. Aynı dönemde, Güney Avustralya'da oluşan toplam atıksu miktarının yaklaşık %18,7'si geri kazanılmıştır. Söz konusu eyalet aynı zamanda ülkede kişi başına en fazla atıksu geri kullanım oranına da sahiptir. Adelaide kentinde, büyükşehir sınırları içerisinde bulunan üç adet atıksu arıtma tesisinden çıkan 77,2 milyar m³/yıl atıksuyun %16'sı geri kazanılmaktadır. Bolivar Atıksu Arıtma Tesisinde ise yıllık arıtılmış atıksu akışının %21'i yeniden kullanılmaktadır. Güney Avustralya'da atıksu geri kullanımı için uygun düzenlemeler ve politikalar mevcut durumdadır. Ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olduğu sürece deniz ortamına her türlü atıksu deşarjına aşamalı olarak son verilmesine ilişkin devlet politikası ve Güney Avustralya hükümetinin Eyalet Su Planı 2000'e iyileştirilmiş atıksuların dahil edilmesi, eyaletin atıksuların geri dönüşümü ile ilgili projelere verdiği önemin birer göstergesidir (Keremane ve McKay, 2007).

Virginia Boru Hattı Projesi (Virginia Pipeline Scheme - VPS), Güney Avustralya eyaletinin başkenti Adelaide'ın Virginia kasabasındaki çiftçilerin sulama ihtiyaçlarına hizmet etmektedir. Bu bölge, yetiştirilen yüksek kaliteli ürünler ile yerel ve ulusal pazarda üne sahip olduğundan, "Güney Avustralya'nın sebze kasesi" olarak anılmaktadır.

Söz konusu sulama projesi, bahçecilik ve çiftçilik yapanları temsil eden Virginia Sulama Birlikleri (VIA) ile Güney Avustralya Su ve Su Ağı Sistemleri Virginia (WRSV) adlı özel bir şirket tarafından ortaklaşa yürütülmektedir. Proje ile 200 km² büyüklüğündeki, "Virginia üçgeni" adı verilen arazide faaliyet gösteren yaklaşık 250 yetiştiriciye ileri derecede arıtılmış atıksu sağlanmaktadır. Projenin ana bileşenleri Bolivar Atıksu Arıtma Tesis, depolama rezervuarı ve 150 km uzunluğunda dağıtım hattıdır (Şekil 8).



Şekil 8: Virginia Boru Hattı Projesi ve dağıtım ağı (Keremane ve McKay, 2007'den uyarlanmıştır).

Virginia'da tarım sektörü tarihsel olarak sulama için yeraltı suyu kaynaklarına dayalı şekilde gelişmiştir. Ancak ürünleri sulamak amacıyla yeraltı suyunun aşırı kullanımı sonucunda, akiferlerdeki su seviyeleri düşmüş ve yeraltı suyu kaynakları ciddi derecede azalmıştır. Yaklaşık 18.000 milyar m³/yıl olan yeraltı suyu çekimi, tahmini sürdürülebilir kullanım limiti olan yaklaşık 8.000-10.000 milyar m³/yıl'ın çok üzerine çıkmıştır. Bu nedenle bazı çiftçiler Bolivar Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkış kanalından aldıkları C Sınıfı suyu pompalayarak kendi iletim hatları ile bahçelerini sulamaya başlamışlar ve bu yeni su kaynağının, ekili dikili alanlarını sulamak için güvenilir bir kaynak olarak potansiyelini fark etmişlerdir. Yetiştiricilerde oluşan bu farkındalık, sosyal, ekonomik ve çevresel faktörlerle desteklenerek Virginia Boru Hattı Projesi'nin geliştirilmesine yol açmıştır (Keremane ve McKay, 2007).

Virginia Boru Hattı Projesi yap-işlet-devret modeliyle gerçekleştirilmiş olup, Avustralya genelinde kendi türündeki en büyük projedir. Bir kamu ajansı olan Güney Avustralya Su Ajansı (SA Water), Çevre İlerleme Programı'nın bir parçası olarak, Bolivar Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan atıksuyun arıtılması için 30 milyon Avustralya Doları değerinde bir filtrasyon/dezenfeksiyon (DAFF) tesisi yapmıştır. Bunun sonucu olarak, alıcı su ortamlarına boşaltılmak yerine ürün yetiştirilen arazileri sulamada kullanılabilecek nitelikte, A Sınıfı iyileştirilmiş atıksu üretilmeye

başlanmıştır. Güney Avustralya eyaletinin yeniden kullanım için iyileştirilmiş atıksu sınıflandırması ve içme suyu standartları ile karşılaştırması Tablo 11’de verilmiş olup; bu tabloya göre, A Sınıfı atıksu ve içme suyu için parametre değerlerine bakıldığında, söz konusu projede atıksuyun çok ileri bir düzeye kadar arıtıldığı ve elde edilen suyun birçok kirlenmiş akarsu kaynağından daha iyi durumda olduğu görülmektedir.

Tablo 11: Güney Avustralya eyaletinin yeniden kullanım için iyileştirilmiş atıksu sınıflandırması ve içme suyu standartları ile karşılaştırması (Keremane ve McKay, 2007).

Sınıf	Arıtma yöntemi	Mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel kriterler	Kullanım şekli
A Sınıfı	Tam ikincil arıtma +filtrasyon +dezenfeksiyon Kalite standartlarını sağlamak için koagülasyon uygulanabilir.	<10 (<i>E. coli</i> /100 mL) ≤2 NTU (bulanıklık) <20 mg/L (BOİ) Kullanıma göre kimyasal kriterler	Kısıtsız tarımsal sulama, halka açık kentsel kullanım, içme suyu harici evsel kullanım
B Sınıfı	Tam ikincil arıtma +dezenfeksiyon	<100 (<i>E. coli</i> /100 mL) <20 mg/L (BOİ) <30 mg/L (AKM) Kullanıma göre kimyasal kriterler	Kısıtlı tarımsal sulama, mera ve yem bitkisi sulama, kısıtlı erişimle kentsel kullanım
C Sınıfı	Ön çöktürme+lagün veya tam ikincil (dezenfeksiyon yalnızca mikrobiyolojik kriterleri sağlamak için gerektiğinde)	<1.000 (<i>E. coli</i> /100 mL) <20 mg/L (BOİ) <30 mg/L (AKM) Kullanıma göre kimyasal kriterler	Kısıtlı tarımsal sulama, mera ve yem bitkisi sulama, kısıtlı erişimle kentsel kullanım
D Sınıfı	Ön çöktürme+lagün veya tam ikincil	<10.000 (<i>E. coli</i> /100 mL) Kullanıma göre kimyasal kriterler	Kısıtlı tarımsal sulama, çimlendirme, ağaçlandırma, besin zinciri dışı su ürünleri yetiştiriciliği
İçme suyu		0 (<i>E.coli</i> /100 mL) ≤1 NTU (Bulanıklık) <5 mg/L (BOİ)	

Bu değerli kaynağın taşıdığı potansiyelin farkına varan Güney Avustralya Su ve Su Ağı Sistemleri Virginia şirketi, Güney Avustralya Su Ajansı ve federal devletten aldığı finansal destek ile, Virginia Sulama Birlikleri’ni temsilen, Virginia’nın tarımsal arazilerinin sulanması için arıtılmış atıksu sağlamak amacıyla oldukça geniş bir iletim sistemi inşa etmiştir. Sonuç olarak, proje ana paydaşların ortak gayreti ile 1999 yılında hizmete girmiş olup, o tarihten günümüze başarılı şekilde işletilmeye ve

bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına önemli katkı sağlamaya devam etmektedir. Bu arada, tarımsal alan sulamasının sürdürülebilirliğini teminen bir Sulama Yönetim Planı hazırlanmıştır. 1999-2000 yıllarında kullanılan iyileştirilmiş atıksu miktarı 6.000 milyar m³ iken, 2004-2005 yıllarında bu miktar 12.100 milyar m³'e yükselmiştir (Keremane ve McKay, 2007). 5 yıllık dönemde kaydedilen 6.100 m³'lük bu artışın nedeni de bölgedeki ürün yetiştiriciliği endüstrisindeki gelişmedir.

2.1.4 Hindistan

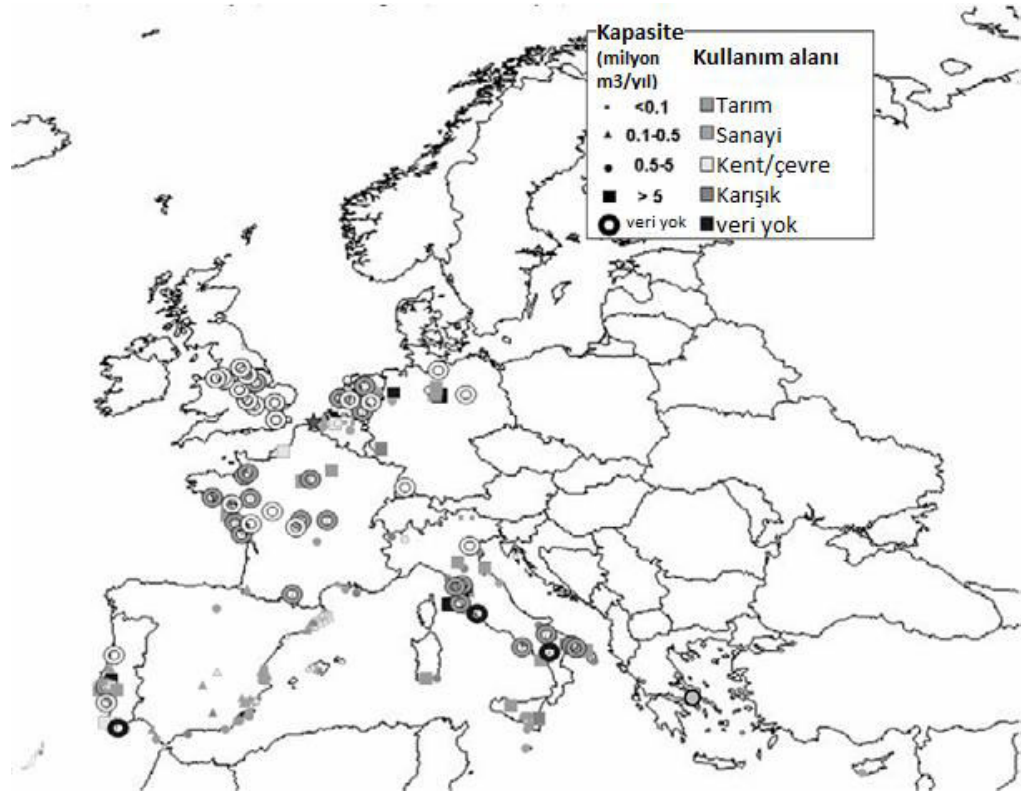
Hindistan'da oluşan evsel atıksuyun %37'si birinci derece, %8'i ikinci derece arıtmadan geçmektedir. Atıksu kullanımına ilişkin bölgesel planlamalar yapılan ülkede, 1983 yılından beri tarım (hububat, sebze-meyve, süs bitkileri) alanları (1985'te 73.000 ha alan) atıksular ile sulanmaktadır. Arıtılmış atıksuyun %25'i sulamada kullanılmakta (Bozdoğan, 2009) olup, 2,6 milyar m³/yıl atıksu, ürünleri sulamak amacıyla kullanılmaktadır (Kalavrouziotis vd., 2008).

2.2 Avrupa Birliği Ülkelerinden Örnekler

Avrupa'da suyun yeniden kullanımı ilerlemekte olan bir alan olup, özellikle 1990'ların başından beri bu alanda birçok proje geliştirilmiştir. Avrupa'nın kuzeyindeki AB ülkelerinin çoğunda (örneğin, İsveç) su kaynakları bol miktarda olduğundan, atıksuyun arıtılarak tekrar kullanılması için en önemli gerekçeleri alıcı ortamın kalitesinin korunması olup, su kaynaklarının desteklenme ihtiyacı bu ülkeler için bir öncelik değildir. Öte yandan, kıtanın güney kesimlerinde yer alan AB ülkelerinde, arıtılmış atıksuyun tekrar kullanılmasının getirdiği ek su kaynakları özellikle tarım (örneğin, tahıl üretimi) ve turizm (örneğin, golf sahalarının sulanması) sektörlerinde birçok yeni projenin uygulanmasını teşvik etmiştir (Angelakis vd., 2002).

Uygulamalar Batı ve Güney Avrupa'nın kıyı bölgelerinde ve adalarında artan bir hızla; Belçika, İngiltere, Almanya gibi Kuzey Avrupa'nın yoğun nüfuslu ülkelerinde ise daha sabit bir hızla çoğalmaktadır. Fransa'ya (Noirmoutier, Porquerolles), İspanya'ya (Balear ve Kanarya adaları) ve İtalya'ya (Sardinya, Sicilya) bağlı adalarda atıksuyun geri kazanımını içeren entegre su kaynakları yönetimine ilişkin birçok iyi örnek mevcuttur (Lazarova vd., 2001).

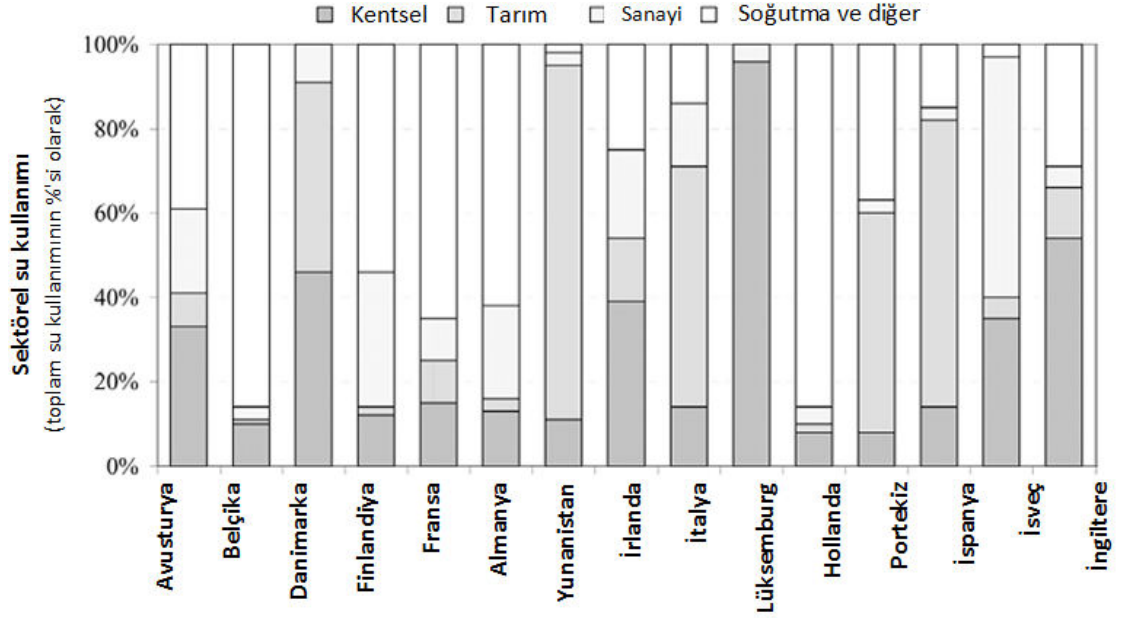
Avrupa Birliği ülkelerini kapsayan bir derleme çalışması, ye ülkelerde 200'un üzerinde atıksu geri kazanım projesinin mevcut olduğunu ortaya koymuştur (Bixio vd., 2006). Belirlenen atıksu geri kazanım projelerinin coğrafı dağılımı ve çıkış suyunun kullanım amaçları şekil 9'da gösterilmektedir. Söz konusu projelerde atıksuların geri kazanım uygulamaları tarımsal, endüstriyel, akifer beslemesi dahil olmak üzere kentsel-rekreasyonel-çevresel kullanımlar ve bu üçünün kombinasyonları olmak üzere dört ana kategoride ele alınmıştır. Projeler leğine göre de çok küçük (<0,1 GL/yıl), küçük (0,1-0,5 GL/yıl), orta (0,5-5 GL/yıl) ve bk lekli (>5 GL/yıl) olmak üzere dört sınıfta incelenmiştir.



şekil 9: Bazı AB lkelerindeki atıksu geri kazanım projeleri, kapasiteleri ve kullanım alanları (Bixio vd., 2006).

şekil 9'da görüldüğü üzere, AB lkelerinde projelerin çoğu yarı kurak bölgelerin kıyı alanları ve adaları ile kuzeydeki yağışlı bölgelerin şehirleşme oranı yüksek alanlarında gerçekleştirilmiştir. İyileştirilmiş atıksuların kullanım alanları Güney ve Kuzey Avrupa'da farklılık göstermektedir. Güney Avrupa'da arıtılmış atıksuların

%44'ü tarımsal sulamada, %37'si ise kentsel ve çevresel uygulamalarda kullanılırken; Kuzey Avrupa'da %51'i kentsel ve çevresel uygulamalarda, %33'ü ise endüstride kullanılmaktadır. Söz konusu çalışmanın sonuçları ülkelerin sektörel su kullanımlarını (Şekil 10) da iyi bir şekilde yansıtmaktadır.



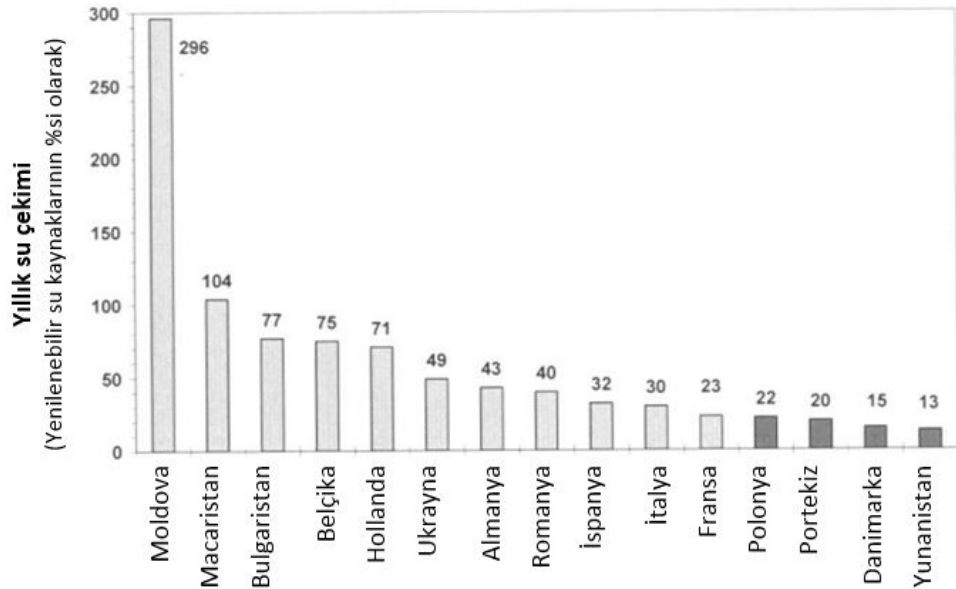
Şekil 10: Bazı AB ülkelerindeki sektörel su kullanımları (Bixio vd., 2006).

AB ülkelerinde suyun yeniden kullanımını ve kamuoyu tarafından kabul görmesini kısıtlayan en önemli etkenlerden biri, AB düzeyinde konuya ilişkin mevzuat eksikliğidir. Avrupa genelinde ve hatta tek bir ülke içerisinde (örneğin, İspanya) hem katı, hem de esnek standartlar bulunabilmekte olup, bu eşitsizlik ele alınması gereken konulardan biridir (Angelakis vd., 2002).

Birleşmiş Milletler'in demografi tahminlerine göre, AB üye ülkelerinin toplam nüfusu 2025 yılına kadar yaklaşık 380 milyonda sabit kalacak ve sonraki 25 yıl içerisinde hafif bir azalma ile 350 milyona düşecektir. Böylece, toplam mevcut tatlı su hacmi $3.000 \text{ m}^3/\text{kişi} \cdot \text{yıl}$ 'a yakın olan AB ülkelerinin sayısının 2000'li yılların başında altı iken, 2025 yılında hala altı olarak kalacağı, ancak 2050 yılında bu sayının dörde ineceği öngörülmektedir (Angelakis ve Bontoux, 2001). Avrupa'da hüküm süren iklim koşullarının küresel iklim değişikliği nedeniyle daha uçlarda yaşanacak mevsimsel farklılıklara ve kuru dönemlerde daha fazla kuraklık olayları, ıslak dönemlerde ise daha fazla taşkın olaylarına doğru evrildiği; uzun vadede giderek

daha çok sayıda içme suyu kaynağının nitratlar, pestisitler, vb. kirleticilerden etkilendiği; hassas alanların korunması amacıyla bu ortamlara atıksu deşarjının azaltılması gerekliliği ve özellikle Akdeniz havzasında sulamanın su tüketimini arttırdığı göz önüne alındığında, atıksuyun yeniden kullanımının AB’de su kaynakları yönetiminin ayrılmaz bir parçası olması gerektiği açıkça görülecektir.

Bazı Avrupa ülkelerinin 21. yüzyılın başındaki su kaynakları kullanım oranları Şekil 11’de verilmiştir. Su kaynakları kullanım oranı, Avrupa Birliği’ne üye olan Almanya, Fransa, Hollanda, Belçika, İtalya, İspanya, Portekiz, Bulgaristan, Polonya, Romanya ve Macaristan’da %20 ila %104 arasında; henüz AB üyesi olmayan Moldova ve Ukrayna’da %49 ila %296 arasında değişmektedir. Söz konusu ülkelerin su kaynakları kullanım oranlarının su kaynaklarının %20’sinden fazla olması, su yönetiminin bu ülkelerin ekonomisinin hayati bir parçası olduğunu ve gelecekte su ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için mevcut su kaynaklarını çok daha verimli yönetmeleri gerektiğini göstermektedir. Ayrıca Avrupa’nın özellikle Bulgaristan, Yunanistan, Fransa, Portekiz ve İngiltere içerisindeki birçok bölgesinde ve adasında, kullanım oranı yerel su kaynaklarının neredeyse %100’üne ulaşmıştır (Angelakis vd., 2002; Lazarova vd., 2001).



Şekil 11: Bazı Avrupa ülkelerinin su kaynakları kullanım oranları (Angelakis vd., 2002).

2.2.1 İtalya

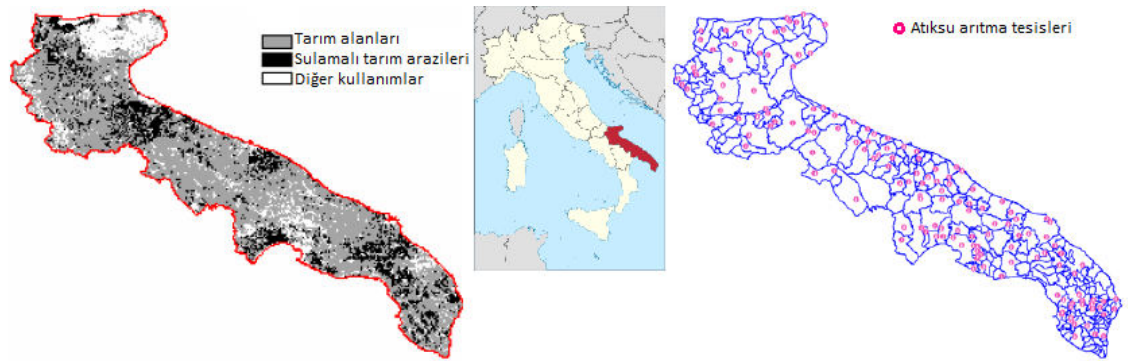
Dünyanın birçok ülkesine benzer şekilde, İtalya'da en fazla su tüketimi olan sektör tarımdır. Ülkenin yıllık su tüketimi yaklaşık 52 milyar m³ olup, bu miktarın neredeyse %50'si tarımsal sulama amacıyla, %20'si endüstride, %20'si içme suyu olarak, kalan %10'u ise diğer amaçlarla kullanılmaktadır (Barbagallo vd., 2001; Lopez ve Vurro, 2008). İtalya'da bölge yönetimlerince su kaynaklarının korunması ve yönetimi için master planlar hazırlanmış olup, arıtılmış atıksuların geri kullanımı bu planlarda önemli bir yere sahiptir. Ülkede yaklaşık 4.000 ha büyüklüğünde tarım alanı, geri kazanılmış atıksular ile sulanmaktadır (Kalavrouziotis vd., 2011).

Ülkenin güney kesimlerinde, özellikle Sicilya ve Sardinya adaları ile Apulia bölgesinde, son zamanlarda yaşanan kuraklık dönemleri ve su kullanımının sürekli artması nedeniyle tarımsal sulama her zamankinden daha sorunlu bir hale gelmiştir. Hem yeraltı suyu kullanılan alanlarda, hem de su dağıtım sistemleri ile donatılmış arazilerde ciddi boyutlarda sulama suyu eksikliği yaşanmaktadır. Su talebinin doğal kaynaklar ile karşılanmasında yaşanan güçlükler, İtalya'da atıksuların alternatif su kaynakları olarak kullanılmasını vazgeçilmez kılmaktadır. Kentsel atıksuların iyileştirilerek kullanılması ile ilgili planlamaların, özellikle ülkenin güneyinde sulama suyu ihtiyacının karşılanmasına fayda sağlayacağı belirtilmiş olup, buranın iç kesimlerinde çiftçilerin zaten uzun zamandan beri, kontrollü olmayan bir şekilde atıksuları sulamada kullandığı bilinmektedir. İtalya'nın kuzey ve iç bölgelerinde ise mevcut su kaynakları genellikle su talebini karşılayabilmekle birlikte, buralarda atıksuyun geri kazanımının özellikle Po nehri havzasında yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesinin kontrolünde önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bilhassa Emilia-Romagna bölgesinin kıyı kesimlerindeki yerleşimlerde atıksuların geri kazanımı, Adriyatik Denizi'nde ötrofikasyonun önlenmesi için teşvik edilmektedir (Barbagallo vd., 2001).

İtalya'nın güney doğusunda yer alan Apulia bölgesi, 20.000 km² yüzölçümüne ve 800 km uzunluğunda kıyı şeridinde sahiptir. 4.500.000 nüfusun yaşadığı bölge, 136 m³/kişi*yıl ile ülkenin en düşük kullanılabilir su kaynakları potansiyelini barındırmaktadır. Ancak bölge ekonomisi su tüketimi yüksek olan başlıca iki faaliyete, yani tarıma ve turizme dayanmaktadır. Apulia bölgesinde toplam 215 adet atıksu arıtma tesisi bulunmakta olup; bunların 173'ü Apulia Su Ajansı (AQP), 29'u

müstakil belediyeler ve 2'si doğrudan Apulia bölgesi tarafından idare edilmektedir. 11 tanesi ise henüz işletmeye alınmamıştır. Apulia Su Ajansı tarafından yönetilen tesisler (Şekil 12) toplam yaklaşık 250 milyon m³/yıl arıtılmış atıksu kapasitesine sahiptir (Lopez ve Vurro, 2008).

Apulia bölgesinin aldığı ortalama yağış 660 mm/yıl ile İtalya ortalamasının altında (980 mm/yıl) olmasına karşın, bölgedeki arazilerin büyük çoğunluğu (%78,8'i) tarımsal amaçlarla kullanılmaktadır. Ancak bölgenin 19.332 km²'lik toplam yüzölçümünün 15.239 km²'sini kaplayan ekili alanların ancak %23,8'inde (3.653 km²'lik alanda) sulamalı tarım yapılmaktadır (Şekil 12). Bu arazilerin sulama suyu ihtiyacı yerel akiferlerden sağlanmaktadır. Apulia Su Ajansı'nın Campania, Lucania ve Molise gibi komşu bölgelerden de su transferi gerçekleştirmesi sayesinde bölgede tarımsal faaliyetler iyi düzeydedir. Ancak tarımsal sulama suyu dağıtımı konusunda büyük konsorsiyumlar tarafından hizmet verilmesine rağmen, 700 m³'lük bir açık mevcuttur. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla bölgedeki çiftçilerce nedereyse tamamı ruhsatlı olan yaklaşık 140.000 kuyu açıldığı tahmin edilmekte olup, bu kuyulardan yüksek miktarlarda yeraltı suyu çekilmesi neticesinde yerel akiferlerin suyunun tükenmesi ve artan tuzlanma problemleri ile karşı karşıya kalmıştır. Özellikle kıyı alanlarında denizden tuzlu su girişi nedeniyle akiferlerin tuzluluk değerlerinde 20,000 µS/cm'lere varan keskin artışlar olmuştur. Bu durumlarla başa çıkabilmek amacıyla, yerel yönetimler su kuyusu açmak konusunda ciddi kısıtlamalara gitmeye ek olarak, kentsel atıksuyun tarımda ve endüstride geri kullanımına ilişkin stratejik planlamalar da yapmışlardır (Lopez ve Vurro, 2008).



Şekil 12: Apulia Bölgesi'nde toprak kullanımı ve atıksu arıtma tesislerinin dağılımı (Lopez ve Vurro, 2008).

Tablo 12: Arıtılmış atıksuların geri kullanımı için 185/03 sayılı Kanun ile belirlenen kalite standartları (Lopez ve Vurro, 2008).

Parametre	Değer
pH	6-9,5
Kaba katı maddeler, mg/L	Yok
AKM, mg/L	10
KOİ, mg/L	100* (50)
BOİ, mg/L	20* (10)
Bor, mg/L	1,0* (2,0)
Klorür, mg/L	250* (500)
Sülfat, mg/L	500
Elektriksel iletkenlik, μ S/cm	3.000
Toplam fosfor, mg/L	10
Toplam azot, mg/L	35
Yağ ve gres, mg/L	10
Aldehitler, mg/L	0,5
Yüzey aktif maddeler	0,5
Klorlu pestisitler	0,0001
<i>E. coli</i> , CFU/100 mL	10
<i>Salmonella</i> , CFU/100 mL	Yok
SAR	10

* Değerler Apulia bölgesinde parantez içerisindeki değerlerle değiştirilmiştir.

Apulia bölgesel master planı başlıca iki ulusal yasaya dayanılarak hazırlanmıştır. Bunlardan biri, Çevre Bakanlığı tarafından 1999 yılında yayımlanan, atıksu arıtımı ve bertarafı ile ilgili düzenlemelerin tümünden revize edildiği 152/99 sayılı Kanun'dur. Diğeri ise, atıksuyun tarımda geri kullanımına ilişkin kalite standartlarının ilk kez net olarak belirlendiği (Tablo 2.2) ve her bölgeye gerekçelendirildiği takdirde bazı parametreleri değiştirme imkanı tanıyan 185/03 sayılı Kanun'dur (Lopez ve Vurro, 2008).

152/99 sayılı Kanun, 91/271/EEC sayılı Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin AB Direktifi ile 91/676/EEC sayılı Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Su Kaynaklarının Korunmasına İlişkin AB Direktifi (Nitrat Direktifi)'ni birleştirmektedir. Bu yasa, su kaynaklarını her türlü kirliliğe karşı korumak için genel hükümleri içermektedir. Bu hükümlerden biri, Apulia bölgesinde sıklıkla karşılaşılan bir uygulama olan atıksuyun toprağın altına deşarjına en kısa zamanda son verilmesini gerektirdiğinden, arıtılmış atıksuların geri kazanımı bu hükmün uygulanabilmesi için uygun alternatiflerden biri olarak görülmektedir. Bu gereklilikler ve su kaynaklarındaki süregelen kıtlık nedeniyle bölgesel yönetim,

kentsel atıksuyun geri kullanımını bölgesel su kaynakları yönetimi konusunda yapılan resmi planlamalara dahil etmek durumunda kalmıştır.

Yerel su kaynaklarının korunması ve yönetimi ile ilgili stratejiyi tümünden ele alan bölgesel master planda, atıksu geri kazanımı programının uygulanması için detaylar (kentsel atıksu arıtma tesisleri, kullanılabilir atıksu hacmi, maliyetler, uygulama takvimi, vb.) da yer almaktadır. Teknolojik, lojistik, ekonomik açılardan ve altyapıdan kaynaklanan nedenlerle, atıksu geri kazanımı planının Apulia Su Ajansı'na bağlı atıksu arıtma tesislerinin tamamını kapsayamayacağı master planda ortaya konmuştur. Söz gelimi, bazı tesislerin kapasitesi düşük, tarım alanlarına çok uzak mesafede, yalnızca ön veya birincil arıtmaya sahip, veya gerekli altyapı sistemlerine (örneğin, atıksu dağıtım şebekeleri, vb.) bağlanamıyor olabilmektedirler. Bunlara benzer tüm tesis özellikleri bir CBS programına aktarılarak, planlamanın ilk basamağında, yakın gelecekte atıksularının tekrar kullanılabilmesi için potansiyel olarak faydalanılabilir arıtma tesisleri belirlenmiştir. Tablo 13'teki toplam geri kazanılabilir atıksu hacminin yaklaşık %50'sinin kullanımı, bölgesel master planın uygulanmasının ilk aşamasında mümkün olacaktır.

Tablo 13'te yer alan atıksu arıtma tesislerinin çoğu, teknolojik açıdan Şekil 13'te gösterilen arıtma şemasına göre tasarlanmış veya işletilmekte olup, yaygın kullanılan seçenekler demir klorür (koagülant olarak), anyonik polielektrolit (floklaştırma işlemine yardımcı olarak), kum+antrasit veya kum (filtrasyon ortamı olarak), ile klor veya UV (dezenfektan olarak)'dir. "Tam arıtma" olarak tanımlanabilecek bu şema oldukça etkili olup, belirli derecede karmaşık olmasına rağmen arıtma verimi açısından çok az risk taşımaktadır.

Tablo 13: Apulia Bölgesi'nde atıksuları tekrar kullanılabilmesi için potansiyel olarak faydalanılabilir arıtma tesisleri (Lopez ve Vurro, 2008).

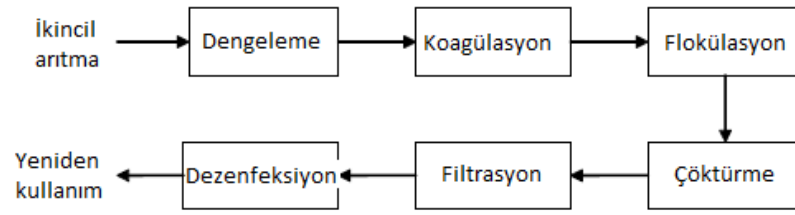
Belediye	AAT özellikleri	AAT kapasitesi (m ³ /gün)	Geri kazanılabilir atıksu hacmi (m ³ /yıl)
Alberobello	#	1.900	340.000
Andria	x, #, ^	13.000	2.600.000
Avetrana	x, #, ^	1.700	310.000
Bari Est	o	78.000	6.000.000
Bari Ovest	x	13.000	3.900.000
Barletta	x, #, ^	17.000	3.400.000
Carpignano Sal.	x	2.500	450.000
Casarano	o, #, ^	3.500	630.000
Castellana Grotte	x, #, ^	1.300	250.000
Castellaneta	#	3.600	648.000
Cerignola	x, #, ^	8.000	1.450.000
Conversano	o	6.000	1.200.000
Corsano	x	2.500	450.000
Fasano Forc.	o, #, ^	3.500	700.000
Foggia	#	30.000	5.500.000
Gallipoli	x, #, ^	17.300	3.200.000
Lecce	o, #, ^	20.000	3.600.000
Lizzano	o	3.300	600.000
Lucera	#, ^	4.400	792.000
Maglie	#, ^	12.000	3.600.000
Margherita di Sav.	o, #, ^	3.000	540.000
Maruggio	o, #, ^	2.700	500.000
Massafra	o	8.000	1.400.000
Mesagne	o, #, ^	14.000	2.500.000
Ostuni	o	5.500	1.100.000
Ruvo-Molfetta	x, #, ^	25.000	4.500.000
S. Ferdinando di P.	#	3.000	540.000
San Severo	x, #, ^	7.000	1.260.000
Sternatia	#	850	150.000
Taranto	o, #, ^	50.000	15.000.000
Bellavista			
Taranto	o	77.000	23.100.000
Gennarini			
Torchiarolo	o	800	160.000
Trinitapoli	#	3.500	630.000
Vieste	x	3.320	560.000
Toplam		446.170	91.560.000

(o) halihazırda verimli ileri (üçüncül) arıtma sistemleri mevcut olan tesisler

(x) ileri (üçüncül) arıtma sistemleri inşaat halinde olan tesisler

(#) yapısal olarak revize edilme ve/veya altyapı çalışmaları ihtiyacı olan tesisler

(^) revizyonu için gereken finansman halihazırda bölgesel, ulusal ve/veya AB kaynakları tarafından garanti altına alınmış olan tesisler



Şekil 13: Apulia bölgesinde çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanılması planlanan çoğu atıksu arıtma tesisi için tasarlanan arıtma şeması (Lopez ve Vurro, 2008).

İtalya'nın güneyinde, Sicilya adası ile Apulia ve Basilicata bölgelerinde yürütülen bir araştırma ve geliştirme projesi kapsamında; membran filtrasyonu, basitleştirilmiş arıtma, atıksu depolama rezervuarları ve yapay sulak alanlar olmak üzere dört farklı arıtma teknolojisinin, kentsel atıksuların tarımsal sulamada kullanılmaya uygun şekilde arıtılmasındaki etkinliğini değerlendirmek amacıyla, dört farklı alanda, arazi ölçeğinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Lopez vd., 2006). Araştırma ile ilgili yayımlanan ilk sonuçlar şu şekildedir:

Membran filtrasyonu: Arıtılmış atıksuların mikrobiyal kalitesi, referans alınan sulama suyundakinden (bölgede sulamada kullanılan yerel kuyu suyundan) daha yüksek çıkmıştır. Sulanan ürünlerde (domates, rezene ve marul) bulunan mikroorganizmalar yalnızca toplam koliform olmuştur. Membran filtrasyonundan geçmiş atıksular, özellikle yaz dönemlerinde, toprakta Na^+ , Ca^{2+} , EC, SAR ve ESP değerlerinde artışa neden olmuştur.

Basitleştirilmiş arıtma: Bu arıtma yönteminde, atıksuların besleyici ve zenginleştirici özelliklerinin korunması, ayrıca biyolojik oksidasyona ve biyolojik arıtma çamurlarının uzaklaştırma, susuzlaştırma ve bertarafına ilişkin maliyetlerin azaltılması amacıyla, organik madde ve azot giderimi için gerçekleştirilen biyolojik proseslerin sisteme kısmen dahil edilmesi esastır. Kentsel atıksulardaki organik madde ve nütrientlerin tarımsal potansiyelinin korunması için biyolojik prosesler atlanarak arıtılan çıkış suyunun üçüncül arıtma sonrasındaki mikrobiyal kalitesi, klasik ikincil arıtmayı takiben üçüncül arıtmaya tabi tutulan atıksulara oranla çok düşük çıkmamıştır. Yağmurla sulanan zeytin ağaçları ile karşılaştırıldığında, “basit” şekilde arıtılmış çıkış suyu ile sulanan zeytin ağaçlarının ürün veriminde %50

oranında artış kaydedilmiştir. Ayrıca bu ağaçlarda yetişen zeytinlerin pazar için önemli sayılan ağırlık gibi birtakım özelliklerinde de gelişmeler gözlemlenmiştir.

Atıksu depolama rezervuarları: Uygun depolama sürelerinden sonra, AKM, BOİ₅, KOİ ve nütrient konsantrasyonları İtalya’da atıksuların tarımsal sulamada kullanımı için yürürlükte olan limitleri yakalamıştır. Patojen indikatörlerinde ortalama 2-3 log ölçeğinde azalma görülmüştür. *Salmonella* ortalama 28,2 EMS/100 mL değerinden 4 EMS/100 mL’ye kadar düşmüştür. Rezervuara giren atıksuda litre başına ortalama 4,1 adet saptanan helmint yumurtalarına çıkış suyunda rastlanmamıştır.

Yapay sulak alanlar: AKM, BOİ₅, KOİ, TN ve TP giderimi için kaydedilen ortalama verimler sırasıyla %85, %65, %75, %42 and %32 olmuştur. Mikroorganizma indikatörlerinde ortalama 2 log ölçeğinde azalma görülmüştür. Giren atıksuda ortalama 12 ad/L olarak saptanan helmint yumurtalarına çıkış suyunda rastlanmamıştır. Giriş suyunda ortalama 3 EMS/100 mL değerinde olan *Salmonella* da çıkış suyunda hiçbir zaman saptanmamıştır.

Bir başka örnek uygulama kapsamında, Sicilya adasının doğusunda bulunan küçük bir yerleşim alanında üçüncül arıtma için kurulan yapay sulak alan ile atıksuların arıtılabilirliği ve tarımsal alanda yeniden kullanım olanakları, beş yıllık bir çalışma ile değerlendirilmiştir. Bu yerleşimin atıksularının arıtılması amacıyla bir yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan oluşturulmuş ve söz konusu sistem, yaklaşık 150 hektar büyüklüğünde zeytinlik alanın sulanmasında yeniden kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Çalışmada AKM, BOİ₅, KOİ, pH, EC, çözünmüş oksijen, TN, TP ve mikrobiyal parametre (toplam koliform, fekal koliform, *E. coli*, fekal Streptokok, *Salmonella* ve helmint yumurtaları) giderimleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, ortalama giderim verimleri AKM için %77-92, BOİ₅ için %37-72, KOİ için %51-79, *E. coli* için %97-99,5 arasında; *Salmonella* ve helmint yumurtaları içinse giderim verimi her zaman %100 olarak bulunmuştur. Ancak toplam örnek sayısının ancak %15’i arıtılmış atıksuların geri kullanımına ilişkin İtalyan mevzuatında yer alan *E. coli* limitine (<50 CFU/100 mL) uygun çıkmıştır (Cirelli vd., 2006).

2.2.2 İspanya

İspanya’nın sahip olduğu su kaynaklarının toplam miktarının 100.000 hm³/yıl civarında olduğu tahmin edilmekte olup, bu miktarın %74’ü yüzey suyu, %26’sı

yeraltı suyudur. Günümüzde ülkedeki toplam su talebinin 35.310 hm³/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Ülkede kentsel, tarım, endüstriyel, soğutma, vb. farklı sektörler için su talebi mevcut olup, tarımsal amaçlar için talep edilen su miktarı, yaklaşık 24.094 hm³/yıl ile aralarında en önemlisidir. Su kaynaklarının bölgeler arasında düzensiz dağılmış olması nedeniyle, mevcut düzenlemelere rağmen ülkenin önemli bir bölümünde ciddi derecede su eksikliği ile karşılaşmaktadır. Ancak 16 nehir havzası içerisinde, yalnızca Segura Havzası'nın su kaynakları potansiyeli talebi karşılayamaz durumdadır (Pedrero vd., 2010). Bu bağlamda, özellikle Segura Havzası gibi su sıkıntısının yaşandığı bazı bölgelerde, atıksuyun tarımsal sulamada geri kullanımı ile daha etkin bir su kaynakları yönetimi sağlanabilmektedir. Ülke genelinde atıksuyun geri kullanımı için planlanmış olan 100'den fazla proje işletmede olup, bunların bir kısmı çiftliklerde tarımsal amaçlı sulamayı, bir kısmı ise golf sahalarının ve park alanlarının sulanmasını kapsamaktadır (Lazarova vd., 2001).

Ülkede atıksu ve su arıtımına ilişkin çeşitli altyapıların geliştirilmesine yönelik ana planlama aracı, 91/271/EEC sayılı Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin AB Direktifi uygulamaları kapsamında hazırlanan 11/95 sayılı Ulusal Atıksu ve Su Arıtımı Planı'na İlişkin Kraliyet Kanun Hükmünde Kararnamesi (1995)'dir. İyileştirilmiş atıksuların kullanımına ilişkin ilk mevzuat taslağı 1996 yılında Çevre Bakanlığı tarafından oluşturulmuştur. Yıllar içerisinde çeşitli komisyonlarda ve forumlarda gerçekleştirilen tartışmaların ardından, bu taslak 1620/2007 sayılı İyileştirilmiş Suyun Geri Kullanımına İlişkin Kraliyet Kanun Hükmünde Kararnamesi (2007)'ne dönüştürülmüş olup, arıtılmış atıksuyun geri kazanımına ilişkin esaslar bu mevzuat ile belirlenmiştir.

İspanya'da tarım sektöründe kullanılan geri kazanılmış atıksu miktarı 2010 yılında 346 hm³/yıl olup, 10/2001 sayılı Ulusal Hidrolojik Plana İlişkin Kraliyet Kanun Hükmünde Kararnamesi (2001) çerçevesinde bu miktarın 2012 yılı itibarıyla 1.100 hm³/yıl'a çıkartılması öngörülmüştür (Kalavrouziotis vd., 2011). Ülkedeki başlıca atıksu geri kazanımı projeleri Akdeniz kıyısındaki bölgelerde ve adalarda yoğunlaşmıştır. İspanya'da arıtılan toplam atıksu miktarının %57'si Valensiya ve Murcia şehirlerinde geri kullanılmakta olup, ulusal düzeyde geri kullanılan toplam suyun %23'ü de Kanarya ve Balear adalarında tüketilmektedir. Mevcut diğer projeler ise ülkenin orta ve kuzey kısımlarında olup, bunlardan ikisi, sırasıyla 5 hm³/yıl ve

11,5 hm³/yıl atıksu geri kazanımı ile Madrid ve Vitoria kentlerinde bulunmaktadır. Segura Havzası mevcut doğal su kaynaklarının su talebini karşılayamadığı tek havza olduğundan, Murcia şehrinde arıtılmış kentsel atıksuyun tarımda kullanımı bilhassa önem taşımaktadır. 2008 yılında, havzadaki 80 atıksu arıtma tesisinde 106 hm³ atıksu arıtılmış olup, 1.600 hektar büyüklüğünde arazi arıtılmış atıksu ile sulanmıştır (Pedrero vd., 2010).

UV ve klorlama işlemlerinin tek başlarına ve bir arada kullanıldıklarında atıksudaki farklı indikatör ve patojen mikroorganizmaların etkisizleştirilmesi konusundaki verimliliklerinin değerlendirilmesi amacıyla, Katalonya bölgesinde yer alan Castell-Platja d'Aro ve Blanes Atıksu Geri Kazanım Tesislerinde, tam ölçekli iki deney gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, her iki tesiste de, hem UV hem de klor kullanılarak yapılan dezenfeksiyon işlemine tabi tutulan iyileştirilmiş atıksuların, daha yüksek dozlarda uygulansa dahi, tek bir dezenfeksiyon işlemi uygulaması ile karşılaştırıldığında, halk sağlığının korunması açısından daha iyi kalitede ve daha güvenilir olduğu belirlenmiştir (Pedrero vd., 2010).

İspanya'dan üretilen başlıca tarım ürünleri arasında olan turunçgillerin yetiştirilmesinde kullanılan arıtılmış atıksuların bu ürünlere etkileri çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Bu araştırmalardan biri, Valensiya bölgesindeki Villareal kentinde, yüzey suyu, yeraltı suyu ve arıtılmış atıksu karışımı ile sulanan bir turunçgil bahçesinde bor toksisitesi olduğunu ortaya koymuştur (Pedrero vd., 2010). Öte yandan, arıtılmış atıksuların Navelina türü portakal ağaçları üzerindeki etkisinin 3 yıl boyunca araştırıldığı bir başka çalışmada, ne büyümeye ne de meyve kalitesine ilişkin parametrelerin atıksuda yüksek seviyelerde bulunan sodyum, klorür ve bordan etkilenmediği ve bu elementlerin yapraklardaki konsantrasyonlarının toksisite seviyelerini aşmadığı belirlenmiştir (Pedrero vd., 2010).

Arıtılmış atıksuların narenciye ağaçları üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir başka araştırmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Pedrero ve Alarcón, 2009). Bu çalışmada, İspanya'nın güney doğusundaki Murcia'da, iki çeşit arıtılmış atıksu ile sulanan iki farklı deney alanı arasında karşılaştırma yapılmıştır. Söz konusu deneysel alanlardan ilki, Murcia'nın güney doğusundaki Cartagena'da bulunan, siltli-tınlı toprak yapısına sahip bir alan olup, ikincil arıtma gerçekleştirilen bir atıksu arıtma tesisinin çıkış suyu ile sulanmaktadır. Diğer deneysel alan ise, Murcia'nın kuzey

doğusundaki Campotejar’da bulunan, siltli-killi toprak yapısına sahip bir alan olup, üçüncül (ileri) arıtma gerçekleştirilen bir atıksu arıtma tesisinden çıkan sular ile sulanmaktadır. Etkilerin belirlenmesi amacıyla toprak ve yaprak analizleri (Tablo 14 ve Tablo 15) ile sulama suyunun kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır. Cartagena’nın arıtılmış atıksuyunda fiziksel parametreler (pH, elektriksel iletkenlik, bulanıklık ve TÇM) Campotejar’inkinden daha yüksek çıkmıştır. Nitratlar, sülfatlar ve AKM ise Campotejar’ın arıtılmış atıksuyunda daha yüksek seviyelerde çıkmıştır. Cartagena’nın toprak örneklerinde yüksek miktarlarda biriken K, Fe ve P ile Ni, Cr ve Pb gibi bazı ağır metaller ağaç yapraklarında da belirlenmiştir. Campotejar’ın toprak örneklerinde ise ileri derecede klorür birikimi yaprak kuru madde içeriğine de yansımıştır. Mikrobiyolojik analizler sonucunda arıtılmış atıksularda ve toprak örneklerinde *E. coli* ve helmint yumurtasına rastlanmamış, ancak Cartagena’nın arıtılmış atıksuyunda bulunan fekal koliform miktarının WHO’nun sağlık standartlarını aştığı görülmüştür. Limon ağaçlarının biyokütle verimi Cartagena’da Campotejar’dan daha fazla olmuştur. Arıtılmış atıksuların uygulanmasından kaynaklanan tuzluluk nedeniyle bitki örtüsünde bazı olumsuz etkiler gözlemlenmiştir. Araştırmada sonuç olarak; Murcia bölgesinde arıtılmış atıksu ile ilgili başlıca problemlerin yüksek tuzluluk ve bor konsantrasyonu olduğu; tuzluluğun doğru yönetimi ile arıtılmış kentsel atıksuların narenciye ağaçlarının sulanması için alternatif bir su kaynağı olarak kullanılabileceği ve iyileştirilmiş atıksuyun kuyu suyu ile karıştırılarak kullanılmasının, atıksuyun tarımsal açıdan kalitesinin artırılması için iyi bir seçenek olabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 14: Cartagena ve Campotejar'daki toprakların fiziksel-kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerinin sonuçları (Pedrero ve Alarcón, 2009).

	Parametre	Campotejar	Cartagena	Önerilen Değer
Kimyasal analizler	Organik madde (%)	1,65 ± 0,23	1,40 ± 0,13	0–1,75
	N (%)	0,12 ± 0,22	0,10 ± 0,02	0,13–0,18
	Na (ppm)	683 ± 25	900 ± 225	0–2.000
	K (ppm)	380 ± 20	358 ± 32	190–300
	Ca (ppm)	1.510 ± 10	1.417 ± 190	0–3.000
	Mg (ppm)	430 ± 4	422 ± 48	300–600
	Fe (ppm)	242 ± 25	237 ± 21	100–400
	B (ppm)	134 ± 34	259 ± 12	2–200
	Mn (ppm)	171 ± 16	278 ± 15	250–1700
	Ni (ppm)	0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,04	0–10
	Cd (ppm)	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,01–7
	Cr (ppm)	0,08 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0–5
	Cu (ppm)	0,85 ± 0,04	1,11 ± 0,01	1–10
	Pb (ppm)	5,23 ± 1,02	3,74 ± 1,69	2–200
	Zn (ppm)	7,20 ± 0,47	3,57 ± 0,12	3–20
	Cl (ppm)	1.110 ± 26	2.231 ± 25	0–3.000
	N (ppm)	210 ± 10	522 ± 42	0–1.000
	S (ppm)	1.320 ± 141	887 ± 167	0–2.000
	pH	7,89 ± 0,18	7,93 ± 0,18	6,5–7,5
	EC (dS/m)	0,15 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,1–0,7
Mikrobiyolojik analizler	Koliform (CFU/100 mL)	<10	7.300 ± 250	0–1.000
	<i>E. coli</i> (CFU/100 mL)	<10	<10	0–100
	Helmint (yumurta/10 L)	<10	<10	<1

Tablo 15: Cartagena ve Campotejar'daki yaprakların mineral analizlerinin sonuçları (Pedrero ve Alarcón, 2009).

Parametre	Campotejar	Cartagena	Önerilen Değer
C (%)	42,02 ± 0,22	40,78 ± 0,50	
N (%)	2,82 ± 0,34	2,80 ± 0,09	2,4–2,7
Na (ppm)	123 ± 10	123 ± 25	0–3.000
K (ppm)	0,72 ± 0,02	0,90 ± 0,04	0,7–1
Ca (ppm)	4,30 ± 0,37	5,62 ± 0,76	3–5
Mg (ppm)	0,33 ± 0,01	0,69 ± 0,04	0,25–0,45
Fe (ppm)	123 ± 8	215 ± 23	61–100
B (ppm)	30,50 ± 2,12	54,89 ± 4,64	31–100
Mn (ppm)	21,11 ± 3,20	20,11 ± 2,31	26–60
Ni (ppm)	3,11 ± 0,50	3,26 ± 0,60	1–10
Cd (ppm)	2,80 ± 0,23	1,11 ± 0,87	0,2–3
Cr (ppm)	21,20 ± 0,62	15,50 ± 0,32	0,1–40
Cu (ppm)	10,11 ± 1,10	14,41 ± 2,25	6–14
Pb (ppm)	17,23 ± 0,90	21,01 ± 0,57	0,1–40
Zn (ppm)	63,45 ± 2,30	55 ± 1,70	15–200
Klorür (ppm)	802,11 ± 24,77	854,21 ± 123,13	0–1.000
Nitrat (ppm)	420,12 ± 20,44	442,11 ± 43,44	0–1.000
Sülfat (ppm)	732,04 ± 52,36	872,42 ± 112,23	0–1.000

2.2.3 Fransa

Fransa'nın tarımsal alanlarında gerçekleştirilen yeniden kullanım projeleri 1999 yılına dayanmaktadır. 10.000 m³/gün arıtılmış atıksu kullanılarak 750 ha büyüklüğündeki arazide mısır yetiştirilmiştir. Sağlık Bakanlığı tarafından, 1991 yılında, WHO standartları temel alınarak çıkarılan ulusal yasanın çerçevesi, insanlarla ilgili sağlık risklerini engellemek amacıyla, olumsuz çevresel etkiler dikkate alınarak, sulama yönetimi, zamanlama, mesafe ve diğer ölçümlerle ilgili ek gerekçelerden dolayı katılaştırılmıştır. Kısıtsız sulama için yeni mikrobiyolojik indikatörlerin de yasalara eklenmesine ilişkin çalışmalar yapılmıştır (Bozdoğan, 2009).

Avrupa'da ilk olarak kıyı bölgelerinde ve adalarda ortaya çıkan “sıfır deşarj” sistemlerinin görece küçük ölçekteki örneklerinden biri Fransa'daki Mont Saint Michel adasındadır. Daha sonra birçok belediye su yönetimi master planlarını geliştirirken bu çözümü ele almışlardır. Örneğin, Noirmoutier adasında iyileştirilmiş atıksuyun neredeyse %100'ü tarımsal sulama ihtiyacına (350.000 m³/yıl) hizmet etmektedir. Bu sayede anakaradan getirilmekte olan kullanılabilir su kaynaklarından

tasarruf edilmekle kalmayıp, aynı zamanda hassas kıyı alanlarında kirliliğin engellenmesi de sağlanmaktadır (Lazarova vd., 2001).

2.2.4 Yunanistan

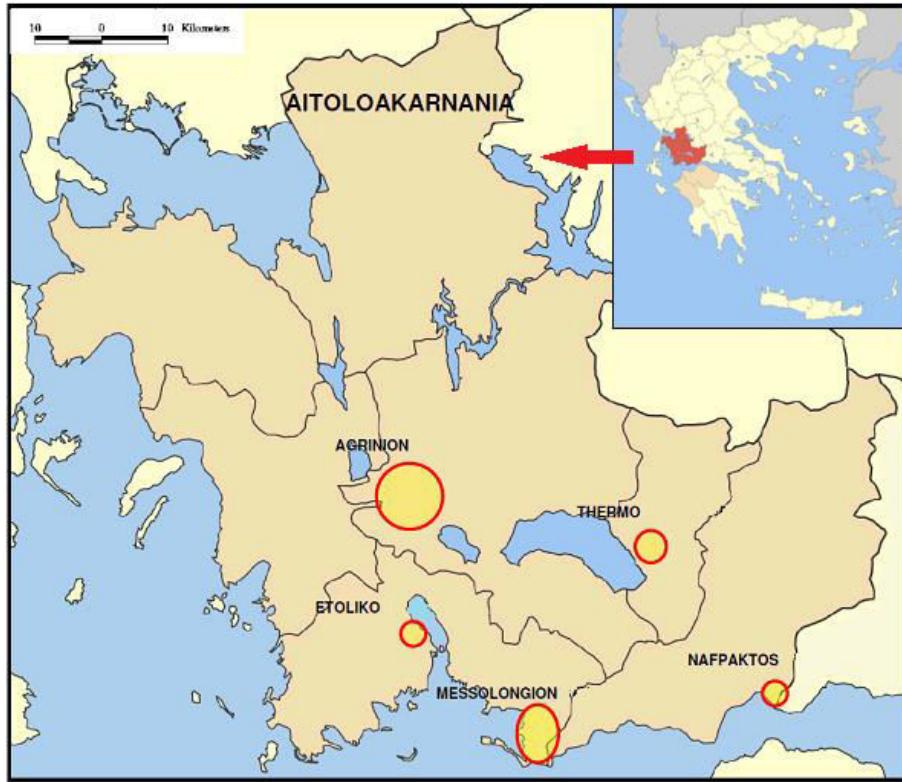
Yunanistan'ın mevcut kullanılabilir su kaynaklarının toplam miktarı 14.340 hm³/yıl'dır. Ülke her 40-45 yılda bir ciddi derecede su eksikliği çekmekte, ayrıca her 5-7 yılda bir kuralıklara bağlı olarak periyodik su kıtlığı döngüleri yaşamaktadır. Ülke genelindeki toplam su talebinin 8.243 hm³/yıl olduğu ve bunun yaklaşık %85'inin tarımsal sulama için talep edildiği tahmin edilmektedir (Kalavrouziotis vd., 2011). Yunanistan'ın toplam yüzölçümünün %40'ını sulanan araziler meydana getirmekte olup, tarım için 6.833 hm³/yıl su gerekmektedir (Pedrero vd., 2010). Öte yandan, Girit adası, Ege adaları, Doğu Peloponez ve Tesalya bölgeleri, ürünler üzerinde olumsuz etkileri olan tuzlu sulama suyu sorunu ile karşı karşıyadır (Kalavrouziotis vd., 2011).

Ülke nüfusunun yaklaşık %65'i, sayısı 350'yi aşan merkezi atıksu arıtma tesislerine bağlıdır (Pedrero vd., 2010) ve bu tesislerden çıkan atıksuların yaklaşık olarak %93'ü akarsulara, göllere ve denizlere boşaltılmaktadır (Kalavrouziotis vd., 2011). Bahse konu tesislerin bulunduğu bölgelerin su bütçesine ilişkin veriler, arıtılmış atıksuların %83'ünden fazlasının, su bütçesinde açık olan bölgelerde oluştuğunu göstermiştir (Pedrero vd., 2010). Bu bağlamda, ülkenin bu bölgelerinde arıtılmış atıksuların tekrar kullanımı ile mevcut su ihtiyacının karşılanması sağlanabilecektir.

Arıtılmış kentsel atıksuların geri kullanım olasılıkları, Yunanistan'ın on üç idari bölgesi için hazırlanan on üç yönetim planı kapsamında araştırılmıştır. Bu araştırmalarda, özellikle pamuk, mısır, zeytin ve bazı sebze türlerinin arıtılmış atıksu ile sulanmasında ümit verici sonuçlar elde edilmiştir (Kalavrouziotis vd., 2011). Ülkenin kuzeyinde arıtılmış atıksuların geri kazanımına henüz başlanmakta olup, pamuk üretimi için rutin bir uygulama olarak değil, Yunanistan'da her 5-7 yılda bir ortaya çıkan kuraklık probleminin etkilerinin azaltmak amacıyla geçici bir çözüm olarak uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca, atıksu geri kullanımı yönetimi planlaması Yunanistan'ın batısında uygulanmaya başlamıştır. Ülkenin diğer bölgelerinde de konuya ilişkin bazı araştırma projeleri ve pilot ölçekte çalışmalar gerçekleştirilmiş

olup; Agrinion ve Patras ovalarında, Attika bölgesindeki üzüm bağlarında ve Makedonya bölgesinde araştırmalar devam etmektedir (Pedrero vd., 2010).

Yunanistan'ın en büyük tarımsal bölgelerinden biri olan Aitoloakarnania ilindeki atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış kentsel atıksuların tarımda geri kullanılabilirliği, benzer araştırmalardan birine konu olmuştur (Kalavrouziotis vd., 2011). Söz konusu araştırmanın amacı, arıtılmış kentsel atıksuların geri kullanımına ilişkin planlamanın, toprak özellikleri, iklim koşulları ve ekolojik açıdan hassas olan bu bölgede yetiştirilen ürünlerin sulama suyu ihtiyaçları temelinde belirlenmesidir. Bu kapsamda, tarım alanlarının sınırları ve sulanan ürün çeşitleri belirlenmiş, ürünlerin su ihtiyaçları hesaplanmış, ürünlerin sulanmasında atıksuyun güvenilir şekilde kullanımı ve toprağın olası kirlilikten korunması için arıtılmış atıksuların kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Aitoloakarnania, ülkedeki idari bölgelerinden biri olan Batı Yunanistan'da yer almaktadır (Şekil 14).



Şekil 14: Aitoloakarnania ili ve araştırma sahaları (Kalavrouziotis vd., 2011).

Araştırma kapsamında ele alınan beş atıksu arıtma tesisinden biri olan Messolongion Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkış suyu, deşarj edildiği Koukos Nehri aracılığı ile güneyindeki Kleisova Lagünü'ne ve buradan da Patras Körfezi'ne ulaşmaktadır.

Tesis %50 genişleme kapasitesi ile 16.000 nüfusa hizmet verecek şekilde tasarlanmış olup, arıtılan günlük atıksu miktarı 4.630 m³'tür. Uygulanan arıtma yöntemi aktif çamur sistemi olup, sürekli havalandırma ile nitrifikasyon-denitrifikasyon ve fosfor giderimi sağlanmaktadır. Tesisin çıkış suyuna ilişkin bazı kimyasal kalite parametrelerinin ortalama değerleri ve mikrobiyal analiz sonuçları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16: Messolongion AAT çıkış suyunun kimyasal özellikleri ve mikrobiyal analiz sonuçları (Kalavrouziotis vd., 2008).

	Parametre	Ortalama Değer*
Kimyasal özellikler	EC (µS/cm) (25°C)	1305,22
	pH	7,56
	SAR	4,29
	TN (mg/L)	11,71
	TP (mg/L)	0,64
	K (mg/L)	16,14
	Ca (mg/L)	90,74
	Mg (mg/L)	21,63
	Fe (µg/L)	102,89
	Na (mg/L)	175,56
	Mn (µg/L)	84,54
	B (mg/L)	1,18
	Cl (mg/L)	290,36
	Zn (µg/L)	109,76
	Cu (µg/L)	2,73
	As (µg/L)	0,62
	Cr (µg/L)	1,25
Mikrobiyolojik özellikler	Toplam koliform (ad/100 mL)	101875,00
	<i>E. coli</i> (ad/100 mL)	25944,44
	Enterococci (ad/100 mL)	20622,22

* Yapılan 9 örneklemin kimyasal ve mikrobiyal analizlerinin ortalama değeridir.

Acheloos Nehri kenarında konumlanmış olan Agrinion Atıksu Arıtma Tesisi, inşaatı üç aşamada tamamlanacak şekilde planlanmıştır. İlk aşaması 60.000 E.N.'a hizmet verecek şekilde tasarlanmış olup, 1995-2000 döneminin sonunda tamamlanmıştır. Şu an kullanımda olan ikinci aşaması 90.000 E.N. için tasarlanmış olup, 2000-2010 döneminin sonunda tamamlanmıştır. Tesisin son aşaması ise 120.000 E.N.'a göre yapılarak, 2010-2035 dönemi sonunda tamamlanacaktır. Tesisin çıkış suyuna ilişkin bazı kimyasal kalite parametrelerinin ortalama değerleri Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: Agrinion AAT çıkış suyunun kimyasal özellikleri (Kalavrouziotis vd., 2005).

	Parametre	Ortalama Değer*
Kimyasal özellikler	EC (µS/cm) (25°C)	516,75
	pH	7,89
	SAR	1,72
	Ca (mg/L)	57,45
	Mg (mg/L)	13,00
	Na (mg/L)	55,25
	Mn (µg/L)	4,15
	Cu (µg/L)	4,60
	Zn (µg/L)	25,00
	Cr (µg/L)	0,00
	B (mg/L)	0,36
	Fe (µg/L)	35,00
	As (µg/L)	0,01

* Yapılan 29 örneklemin kimyasal ve mikrobiyal analizlerinin ortalama değeridir.

Diğer üç tesis olan Nafpaktos, Thermo ve Etoliko Atıksu Arıtma Tesisleri ise 2010 yılında işletmeye alınmıştır. Araştırma kapsamında ele alınan bütün atıksu arıtma tesislerinin temel özellikleri Tablo 18’de özetlenmiştir.

Söz konusu atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularından alınan numunelerin kimyasal analizleri sonucunda, genel olarak tesislerin çıkış sularının içerdiği kimyasal madde konsantrasyonlarının, WHO tarafından belirlenen limitler dahilinde olduğu ve söz konusu tesislerin arıtılmış atıksularının kimyasal özellikleri açısından tarımsal sulamada güvenli biçimde kullanıma elverişli olduğu belirlenmiştir (Kalavrouziotis vd., 2011). Ancak Messolongion AAT çıkış suyunun mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre, içeriğinde yüksek miktarlarda bulunan fekal koliform ve *E. coli*’nin sağlık riski oluşturması nedeniyle, çıkış suyunun sebzelerin sulanmasında kullanılabilmesi için ileri arıtmaya tabi tutulması önerilmektedir (Kalavrouziotis vd., 2008).

Tablo 18: Aitolokarnania ilindeki 5 AAT ve temel özellikleri (Kalavrouziotis vd., 2011).

	Messolongion AAT	Agrinion AAT	Nafpaktos AAT	Thermo AAT	Etoliko AAT
Nüfus	16.000	60.000	25.000	7.000	5.400
Yaz kapasitesi (m ³ /gün)	4,630	14,400	5,500	1,050	1,050
BOİ ₅ (kg/gün)	1,040	3,900	1,500	385	380
AKM (kg/gün)	1,280	4,850	1,750	525	437
TKN (kg/gün)	200	720	250	87.5	50
TP (kg/gün)	40	150	70	-	-

Her bir arıtma tesisinin çıkış suyunun sulanmasında kullanılabileceği alanlar için, bu bölgelerde yetişen ürünler bazında net sulama ihtiyaçları hesaplandığında; gereken sulama suyu hacminin önemli bir kısmının arıtılmış atıksulardan karşılanmasının mümkün olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 19). Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacının Messolongion'da %19,3'ü, Agrinion'da %25,14'ü, Nafpaktos'ta %100'ün üzerinde miktarı, Thermo'da %87,8'i Etoliko'da ise %17,18'i, arıtılmış atıksular ile giderilebilmektedir. Böylelikle Akdeniz bölgesinin en geniş sulak alan ekosistemlerinden biri olan ve ekolojik açıdan hassas bir alan olan Messolongion-Etoliko Lagünü'nün korunmasına da katkı sağlanmış olacaktır (Kalavrouziotis vd., 2011).

Tablo 19: Aitolokarnania ilindeki her bir bölge için gereken yıllık sulama suyu miktarının, atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları ile karşılanabilirliği (Kalavrouziotis vd., 2011).

Bölge	Sulama için gereken su hacmi (m ³)	Arıtılmış su hacmi (m ³ /yıl)	AAT'den karşılanabilen sulama suyunun oranı (%)
Messolongion	8762621,90	1689950,00	19,30
Agrinion	20907835,24	5256000,00	25,14
Nafpaktos	321665,346	2007500,00	>100
Thermo	436493,19	383250,00	87,8
Etoliko	2230632,47	383250,00	17,18

Su sıkıntısı Yunanistan'da giderek ciddi hale gelen bir sorun olmasına ve gelecekte tarımsal faaliyetleri önemli ölçüde etkilemesinin beklenmesine karşın, arıtılmış atıksuyun ve arıtma çamurunun geri kullanımı ile ilgili uygulamalar, geri kullanıma ilişkin bilimsel açıdan geçerli ve güvenilir bir temel oluşturulması amacıyla halen deneme aşamasındadır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasının avantajları ve dezavantajları konusunda çiftçilerin ve halkın bilinçlendirilmesi ve desteğinin sağlanması amacıyla sistemli bir çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Pedrero vd., 2010).

2.2.5 Kıbrıs

Kıbrıs'ta, 20 adet atıksu arıtma tesisinde üçüncül arıtma ile arıtılan toplam 6 milyon m³/yıl atıksu sulama amaçlı olarak kullanılmıştır. 12 adet atıksu arıtma tesisinde

ikincil arıtma ile arıtılan atıksular ise sulama dışındaki amaçlarla geri kazanılmıştır. Ayrıca adanın güney sahilindeki Limassol şehri ile kuzey sahilindeki Larnaka ve Ayia Naa-Paralimni turistik bölgelerinde atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Köylerde ve şehirlerde merkezi atıksu toplama sistemleri ile arıtma tesislerinin 2012 yılına kadar tamamlanarak, arıtılmış atıksu hacminin 30 milyon m³/yıl'a çıkarılması planlanmıştır. Bu atıksuların yeniden kullanılması ile tarımsal sulama da %10 oranında artmıştır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

2.3 Orta Doğu Ülkeleri

Birçok Orta Doğu ülkesinde kanalizasyon deşarjlarının tarımda kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Teknolojik olarak arıtılmış atıksuların kullanımı ilk olarak 1950'li yıllarda, Kuveyt'te başlamış ve 1960-1970'li yıllarda diğer ülkelere de yayılmıştır. Bu gelişmelerde bölgedeki üye ülkeleri destekleyen FAO önemli bir rol oynamıştır.

Bölgedeki gelişmekte olan ülkelerde bulunan arıtma sistemleri, Avrupa'dakinden farklı olarak ileri düzeyde bir arıtma olmayıp, daha çok maliyeti düşük olan stabilizasyon havuzları gibi yöntemler tercih edilmektedir. Dünyadaki en büyük stabilizasyon havuzları sistemi Ürdün'ün başkenti Amman'da bulunmaktadır. Ayrıca Mısır'daki İsmailia stabilizasyon havuzları sisteminde arıtılmış atıksular da sulama amacıyla kullanılmaktadır. Ürdün, Fas, Cezayir gibi ülkelerde ise mekanik arıtma kullanılmaktadır. Genellikle üçüncül arıtma tercih edilmemektedir (Özbay ve Kavaklı, 2008).

Atıksuyun geri kazanımı konusunda sıkı bir ulusal politikası olan İsrail ve Tunus'ta toplam su ihtiyacının sırasıyla yaklaşık %25'i ve %10'u iyileştirilmiş atıksulardan karşılanmaktadır. 2000'li yılların başında, Ürdün'de gelecek on yıl içerisinde iyileştirilmiş atıksu hacminin %400 arttırılması planlanmıştır. Mısır'ın ürettiği geri kazanılmış su hacmini 2025 yılına kadar on katına çıkartması beklenmektedir (Lazarova vd., 2001).

2.3.1 Tunus

Tunus'ta atıksuyun geri kazanımına ilişkin planlamalar 1960'lara dayanmakta olup, ulusal strateji dokümanlarında bu konuya öncelik verilmiştir. Örneğin, Chargaia Atıksu Arıtma Tesisinin çıkış suyu ile 1965 yılından bu yana 1.200 hektar büyüklüğünde turunçgil bahçesi sulanmaktadır (Bozdoğan, 2009). Tunus'ta geri kazanılmış atıksuyun arıtımı, dağıtımı ve kalitesinin kontrol edilmesi için kurumsal ve yasal çerçeve oluşturulmuş durumdadır (Lazarova vd., 2001). Ülkede 1989 yılında yaşanan ciddi kuraklıktan sonra arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanımı Tunus'un su kaynakları yönetimi stratejisinin bir bölümünü oluşturmuştur. Arıtılmış atıksuların tarımda kullanımı 1975 yılında yürürlüğe konan Su Kanunu ve 1989 tarihli 89-1047 sayılı Karar ile düzenleme altına alınmış, tarımda yeniden kullanım standartları FAO (1985) kriterlerine göre geliştirilmiştir. Ayrıca kısıtlı sulama için WHO (1989) kriterleri göz önünde tutulmaktadır. Su Kanunu ile arıtılmamış atıksuların tarımda kullanımı ve arıtılmış atıksuların çiğ yenen ürünlerde kullanımı yasaklanmış; ancak 89-1047 sayılı Karar ile ikincil arıtmadan geçmiş atıksuların çiğ veya pişirilerek yenen sebzeler haricindeki tüm ürünlerin sulanmasında kullanımına izin verilmiştir (US EPA, 2004).

İyileştirilmiş atıksu ile sulama uygulamalarının yerleşmiş olduğu ülkelerden biri olan Tunus'ta, geri kazanılan atıksuların büyük bir bölümü narenciye ve diğer meyve (üzüm, zeytin, şeftali) ağaçlarının, yem bitkilerinin (alfalfa, sorgum, bersim, vb.), endüstriyel ekinlerin (pamuk, tütün, şeker pancarı), tahılların ve golf sahalarının sulanmasında kullanılmaktadır. İyileştirilmiş atıksuların yaklaşık 35 milyon m³/yıl'ı sulamada tüketilmektedir (Kalavrouziotis vd., 2005). Tarım Bakanlığı verilerine göre, arıtılmış atıksular, 1998 yılında 6.272 hektar büyüklüğünde tarımsal alanın (meyve ağaçları, yem bitkileri, şeker kamışı, tahıllar), 570 hektar büyüklüğünde golf sahasının ve 155 hektarlık diğer nitelikteki alanların sulanmasında kullanılmıştır (Bozdoğan, 2009). Toplam tasarım kapasitesi 130 milyon m³/yıl'ı aşan 44'ten fazla sayıda atıksu arıtma tesisinde biyolojik arıtmaya tabi tutulan atıksuların yaklaşık %30'u geri kazanılmakta ve 6.500 hektar civarında tarımsal alanın sulanmasında kullanılmaktadır. Planlanan diğer birçok proje ile geri kazanılmış atıksuyla sulanan alanların yüzölçümünün 2020 yılına kadar 30.000 ha'ın üzerine (sulanan alanların toplam yüzölçümünün %10'una) çıkarılması hedeflenmiştir. Mevcut en büyük proje

başkent Tunus'un çevresini ve Akdeniz kıyı şeridini içermekte olup, arıtılan atıksular her türlü tarım ürününün ve golf sahalarının sulanmasında kullanılmaktadır (Lazarova vd., 2001).

2.3.2 İsrail

Sahip olduğu su kaynakları ve su ihtiyacı arasındaki dengesizlik, İsrail'de atıksuyun tekrar kullanımı konusunda ciddi ilerlemelere yol açmıştır. 1994 yılında İsrail'in toplam su kaynaklarının %20'sini geri kazanılmış atıksular meydana getirmekte idi. Ülkede 2000'li yılların başında üretilen 1,7 milyar m³/yıl toplam kentsel atıksu miktarının geri kazanım oranı %65 olup (Kalavrouziotis vd., 2011), on yıllık süre zarfında bu oranın %90'ın üzerine çıkarılması planlanmıştır (Friedler, 2001). Ayrıca, 2010 yılına kadar, oluşan atıksuyun büyük bir kısmının (400 milyon m³/yıl) arıtılarak tarımsal sulamada kullanılması hedeflenmiştir (Lazarova vd., 2001). Arıtılmış atıksuların büyük bir bölümü ürünlerin ve yem bitkilerinin sulanmasında, Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan yasal düzenlemeler çerçevesinde kullanılmaktadır (US EPA, 2004). İsrail'de atıksu geri kullanımının maliyeti m³ başına 0,16-0,42 ABD \$ arasında belirlemiş olup, bu değere atıksuların arıtılması, depolanması ve taşınması için hesaplanan maliyetler dahildir (Lazarova vd., 2001).

İsrail'de atıksuların çeşitli amaçlar için geri kazanım projelerinden bazıları Tablo 20'de verilmiştir. Ülkedeki en büyük iki uygulama planı uzun yıllar önce geliştirilmiştir. Bunlardan ilki olan Dan Bölgesi projesi, ülkenin ve bölgenin en büyük entegre su yönetimi planlamasıdır. Tel Aviv'in 1,5 milyon nüfusunun ürettiği atıksu (95 milyon m³/yıl) arıtıldıktan sonra daha ileri arıtım ve depolama amacıyla kıyı akiferine iletilmekte; buradaki su iki ay bekledikten sonra Negev Çölü'ndeki tarımsal faaliyetlerde kullanılmak üzere, 100 km'den uzun bir mesafe boyunca pompalanmakta ve taşınmaktadır. Diğer proje olan Kishon Tesisi derin iki stabilizasyon havuzundan ve Haifa'nın atıksuyunun (32 milyon m³/yıl) dönemsel olarak depolanması için yapılmış bir göletten oluşmaktadır.

Tablo 20: İsrail’deki atıksu geri kazanım projelerinden bazıları (Friedler, 2001).

Bölge	Kapasite (milyon m ³ /yıl)	Atıksu Arıtma Yöntemi	Kapsam
Getaot Kibbutz	~0,14		Yerel
Gedera Council	~1,5		Yerel
Jeezrael Vadisi	~8	Anaerobik havuz- Havalandırma havuzu	Bölgesel
Haifa	~25	Aktif çamur	Bölgeler arası
Tel Aviv	~130	Aktif çamur	Bölgeler arası

2.3.3 Ürdün

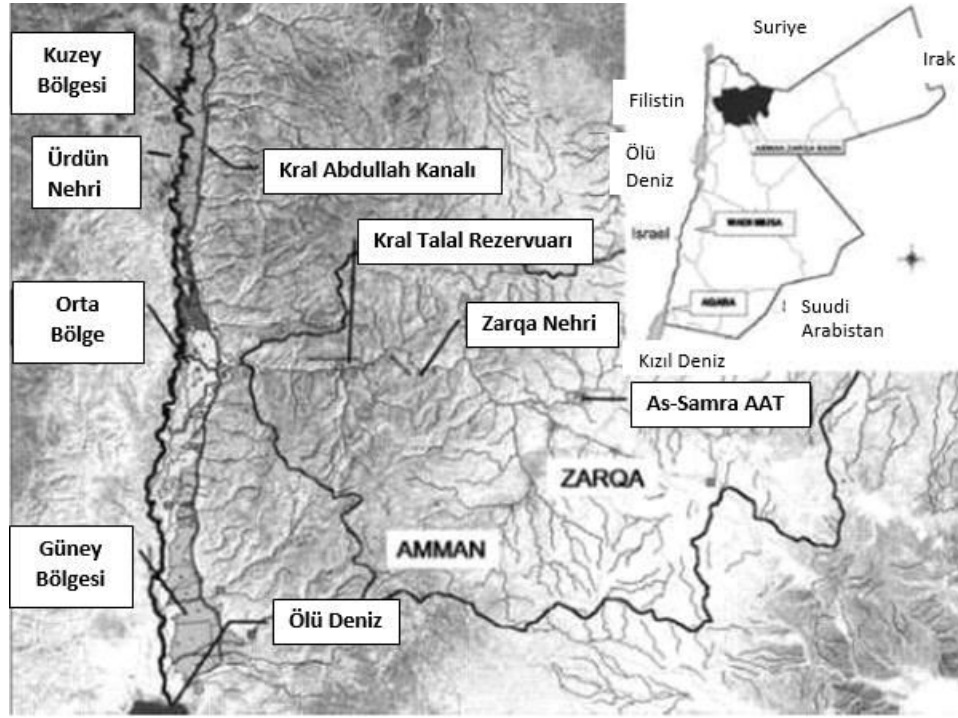
Sahip olduğu su kaynakları bakımından dünyanın en fakir on ülkesinden biri olması, Ürdün’de iyileştirilmiş atıksuların yeniden kullanımını zorunlu kılmaktadır. Ürdün’de on üç yıl boyunca atıksular ile kontrolsüzce sulama yapılmasını takiben, 1982 yılından itibaren yasalar çerçevesinde ağaçların ve yem bitkilerinin sulanmasına izin veren standartlar geliştirilmiş ve bu standartlar 1995’te Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)’na göre yeniden ele alınarak düzenlenmiştir. Her yıl 70 milyon m³’ün üzerinde arıtılmış atıksu, özellikle tarımsal üretimde (meyve, sebze, yem bitkileri) kullanılmaktadır. Bu kapsamda, arıtılmış atıksular için planlanan kullanım şekline göre özelleştirilmiş standartlar getirilmiş, alana özel uygulama ve sulama sistemi kullanımları belirlenmiştir. Ülkede arıtılmış atıksuyun temiz su ile karıştırılması ve içme suyu sağlanan akiferlere deşarjı yasaktır (Bozdoğan, 2009).

Ürdün’de atıksuyun tarımsal sulamada kullanılmak üzere arıtılması için yirmi yıllık bir dönem boyunca stabilizasyon havuzları kullanılmıştır. Ancak oluşan atıksu miktarındaki artışa bağlı olarak bu tesislerin çoğunun kapasitesinin üzerinde çalışması sonucu arıtma verimlerinde düşüşler olmuştur. Günümüzde bu tesisler yenilenerek klasik ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ile değiştirilmektedir. Stabilizasyon havuzları, patojen giderimi amacıyla aktif çamur sistemlerinde olgunlaştırma havuzu olarak kullanılmaktadır. Mevcut ve planlanan uzun havalandırmalı sistemlerde azot ve/veya fosfor giderimi de uygulanmakta ve öngörülmektedir. Diğer tesislerde ise olgunlaştırma havuzlarının yerine veya olgunlaştırma havuzlarına ek olarak kum filtrasyonu planlanmaktadır. Yeni işletmeye alınan bu atıksu arıtma tesislerinin bazılarının çıkış suyu kalitesi oldukça yüksektir. Bu da Ürdün’de atıksuyun tekrar kullanımı için endüstriyel soğutma, yeraltı suyu

beslemesi ve kentsel kullanım gibi yeni olasılıkların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yüksek kalitedeki çıkış suyu ve ülkede hızlı nüfus artışına bağlı olarak arıtılan atıksu hacminde öngörülen artış göz önüne alındığında, bu iki etken atıksuların yeniden kullanımı için yeni uygulamalara fırsat yaratmaktadır (Ammary, 2005).

Su kalitesi parametrelerinin bazıları Ürdün'de iyileştirilmiş atıksuların sulamada kullanımını ve ürün verimini etkileyebilmektedir. Yüksek tuzluluk ve yüksek klorür konsantrasyonu, tarımsal uygulamalarda önlemler alınmadığı takdirde bazı hassas ürünlerde verimi %60 oranında, hatta daha da fazla düşürebilmektedir. Yüksek buharlaşma oranlarına bağlı olarak atıksuda tuzluluğun artmasına neden olan stabilizasyon havuzlarının kullanımdan kaldırılması sayesinde bu sorunla başa çıkılması sağlanabilmektedir (Ammary, 2005).

Ürdün'de ikincil arıtmadan geçen atıksuların büyük bir kısmı tarımda kullanılmakta olup, birçok atıksu arıtma tesisinin çıkış suları yerel ölçekte sulama amacıyla değerlendirilmektedir. Ülkedeki en büyük atıksu arıtma tesisi, bir dizi anaerobik ve fakültatif stabilizasyon havuzu ile olgunlaştırma havuzlarından oluşan As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi (AWSP)'dir. Bu tesiste arıtılan yaklaşık 60 milyon m³/yıl atıksu Zarqa Nehri'ne verilmekte ve 46 km aşağısında Kral Talal Rezervuarı (KTR)'na ulaşmaktadır. Rezervuar hacminin yaklaşık %55'ini arıtma tesisinden gelen atıksu, kalanını ise Zarqa Nehri'nin baz akımı ve taşkın suları oluşturmaktadır. Rezervuardan çıkan su mansapta, iyi kalitede bir tatlı su kanalı olan Kral Abdullah Kanalı (KAC) ile birleşmekte ve bire bir oranında seyreden bu su Ürdün vadisinde çeşitli ürünlerin sulanmasında kullanılmaktadır (Şekil 15). As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi'nde arıtılan atıksu miktarının 2025 yılında yaklaşık 160 milyon m³/yıl'a, yani Kral Talal Rezervuarı'nın depolama kapasitesinin yaklaşık 2,5 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Söz konusu tesis sonradan mekanik bir tesise dönüştürülmüş ve bu yeni su kaynağının faydalı kullanımlarını optimize etmek amacıyla kapsamlı bir program hazırlanmıştır (Ammary, 2005). Ayrıca tüm stabilizasyon havuzlarının yerine mekanik arıtma sistemlerinin işletmeye alınması ve planlanan ve yeni yapılacak tüm tesislerin aktif çamur sistemi şeklinde tasarlanması öngörülmüştür.



Şekil 15: As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi'nin konumu (Bdour vd., 2009).

Ürdün'de oluşan atıksu kuvvetli bir karakterizasyona ve yüksek tuzluluğa sahiptir. Atıksuyun kuvvetli karakterizasyonunun nedeni, su kaynaklarının azlığına bağlı olarak kişi başı tüketim oranının düşük olması nedeniyle atıksuyun seyrelme oranının düşük ve kirletici konsantrasyonlarının yüksek olmasıdır. Yüksek tuzluluk (700-1.200 mg/L TÇM) ise içme suyunun yüksek tuzluluk oranından (ortalama TÇM 580 mg/L) kaynaklanmakta olup, özellikle yaz döneminde yüksek buharlaşma oranına sahip olan stabilizasyon havuzları bu sorunu arttırmaktadır. Endüstriyel atıksu deşarjlarının az olması nedeniyle, arıtma tesislerine gelen atıksularda ağır metal ve toksik organik bileşiklerin konsantrasyonları önemsiz düzeylerde dir.

2000 yılı itibarıyla, Ürdün'de 17 adet atıksu arıtma tesisi faaliyette olup, bunların 6'sı stabilizasyon havuzu, 1'i havalandırma havuzu, geri kalan 10 arıtma tesisi ise aktif çamur veya bağlı büyüyen sistemler veya bunların kombinasyonunu içermekte idi. O dönemde ülkede toplanan atıksuyun yaklaşık %85'i (80 milyon m³/yıl) stabilizasyon havuzu olan tesislerde arıtılmakta olup, As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi tek başına bu miktarın yaklaşık %75'ini arıtmakta idi. 2003 yılında söz konusu tesisin tasarım debisini yaklaşık 2,75 kat aşan miktarda atıksu, çıkış suyunun tamamı (dolaylı olarak) tarımda kullanılan söz konusu tesise kabul edilmiştir. 2005 yılında ülkedeki atıksu arıtma tesisi sayısı 19'a çıkmış olup, bunların beşindeki stabilizasyon

havuzu sistemi aktif çamur prosesine dönüştürülmüştür. Bunlardan debisi az olan dördünde uzun havalandırmalı sistemleri takiben, en büyük tesis olan As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi'nde ise klasik aktif çamur sistemini takiben olgunlaştırma havuzları kullanılmıştır. 2013 yılı itibarıyla atıksu arıtma tesisi sayısının 36'ya ulaşması ve bunların 25'inde uzun havalandırmalı sistemi takiben olgunlaştırma havuzları veya kum filtresi ile arıtma yapılması planlanmıştır (Tablo 21 - AÇ: aktif çamur, DBD: döner biyolojik disk, DF: damlatmalı filtre, HH: havalandırma havuzu, KF: kum filtrasyonu, OH: olgunlaştırma havuzu, SH: stabilizasyon havuzu, UH: uzun havalandırma, * WHO Kriterlerine Göre).

Ürdün vadisinde yetişen başlıca ürünler sebzeler, turunçgiller, muz, üzüm ve bazı çekirdekli meyvelerdir. Bu ürünlerin çoğu suyun tuzluluğuna karşı orta hassas veya hassastır. Ekili alanların yaklaşık %60'ı, Kral Abdullah Kanalı ile birleşen Kral Talal Rezervuarı'ndan sulanmaktadır. Kral Abdullah Kanalı'ndan, Kral Talal Rezervuarı ile birleşmeden önce içme suyu amaçlı faydalanılmakta olup, Kral Abdullah Kanalı'na arıtılmış atıksu deşarjı olmadığından tuz ve nütrient içeriği genellikle düşüktür. Kral Talal Rezervuarı'nın tuz ve nütrient içeriği ise Kral Abdullah Kanalı'ndan oldukça fazladır ve buna bağlı olarak rezervuarın tarımsal üretime etkisi de Kral Abdullah Kanalı'na baskın olmaktadır (Tablo 22).

Tablo 21: Ürdün'deki atıksu arıtma tesislerine ilişkin bilgiler (Ammary, 2005).

Atıksu Arıtma Tesis (İşletmeye Alınma-Revizyon Yılı)	Arıtma Türü (2003)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	TÇM (mg/L)	Cl (mg/L)	SAR	TN (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	Nematod (yumurta /L)	Fekal koliform (EMS /100 mL)	Sulama İçin Uygunluğu *	Arıtma Türü (2003- 2013)
Abu Nuseir (1988)	AÇ+DBD											AÇ+DBD
Aqaba (1987)	SH	160	330	771	412	3,9	69	7,5	0	69.000	Kısıtlı	UH+OH
As-Samra (1985)	SH	101	92	1.141	369	5,4	94	4,0	0	37.000	Kısıtlı	AÇ
Baqa (1988-1999)	DF+OH	163	64	2.149	329	4,3	59	33	0	1.500.000	Kısıtlı	DF+OH
Fuhais (1996)	UH+OH											UH+OH
Irbid (1987)	DF+AÇ	22	29	881	225	3,5	72	21	0	43	Kısıtsız	DF+AÇ
Jerash Doğu (1983-1990)	UH+OH	4	73	1.072	313	3,8	108	21	0	4	Kısıtsız	UH+OH
Karak (1988)	DF+OH	37	37	981	279	3,6	59	29	0	11.000	Kısıtlı	DF+OH
Kufranja (1989)	DF+OH	37	44	710	145	2,4	49	18	0	20.000	Kısıtlı	DF+OH
Ma'an (1989)	SH											SH
Madaba (1989'da SH)	UH+OH	16	35	1.289	341	5,7	70	4,6	0	62.000	Kısıtlı	UH+OH
Mafraq (1988)	SH	181	75	1.102	273	8,2	138	72	0	850.000	Kısıtlı	UH+OH
Ramtha (1988-2004'te UH+OH)	SH	233	118	1.320	464	6,6	120	51	0	1.200.000	Kısıtlı	UH+OH
Salt (1981-1994)	UH+OH											UH+OH
Tafielah (1989)	DF+OH	83	40	784	209	3,3	61	47	0	990.000	Kısıtlı	DF+OH
Wadi Essir (1996)	HH	47	65	752	177	2,8	70	24	0	23.000	Kısıtlı	HH
Wadi Arab (1999)	UH	18	39	958	208	2,6	59	28	0	960	Kısıtsız	UH
Wadi Hassan (2001)	UH+OH											UH+OH
Wadi Mousa (2001)	UH+OH											UH+OH
Al Jeeza, Naur, Kuzey Kraliçe Alia Havaalanı, Um Al Basateen, Ölü Deniz Doğu Kıyısı												UH+OH
Al Mazar Al Shamali, Dair Abi Said, Dair Alla, Jerash Batı, Kofur Asad, Aqaba Güney Kıyısı, Kuzey Ürdün Vadisi, Shuna Güney, Torra, Wadi Shallala												UH+KF
Wadi Zarqa												AÇ
Mazar, Muta, Adnaniya												SH

Tablo 22: Kral Talal Rezervuarı ve Kral Abdullah Kanalı'nın 1999 yılına ait ortalama su kalitesi verileri (Ammary, 2005).

Su Kaynağı	EC (µS/cm)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SAR (mg/L)	AKM (mg/L)	HCO₃ (mg/L)	pH	TN (mg/L)	TP (mg/L)	B (mg/L)	Ağır Metal* (mg/L)	Fekal koliform (EMS /100 mL)	Nematod (yumurta/L)
KTR	2435	253	410	4,7	14	573	7,9	30	7,3	0,6	az	43	0
KAC	1051	87	132	2,1	42	295	8,4	4	0,4	0,1	az	5464	0

* Ağır metal (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Mn, Pb, Se, V, Zn, Fe) konsantrasyonları Ürdün standartlarından düşük düzeylerdedir.

Tuzluluğu yüksek olan suların tarımda kullanılması durumunda, ozmotik etkenlerin ve özgül-iyon etkisinin ürünlerin potansiyel verimini düşürmesi muhtemeldir (FAO, 1985). Yalnızca Kral Talal Rezervuarı'ndan sağlanan sulama suyunun 1999 yılında ölçülen elektriksel iletkenlik değeri ve ürünlerin kök kısmındaki ortalama tuzluluk değerleri kullanılarak, çeşitli ürünlerin tuzluluk katsayılarına göre potansiyel verimlerinin hesaplandığı çalışmada; elma, muz, kayısı, şeftali, soğan, fasulye gibi bazı ürünlerde potansiyel verim %50-60 arası; turunçgiller, havuç, marul, patates, kavun, biber, turp gibi ürünlerde potansiyel verim %75'ten az olarak bulunmuştur. En düşük potansiyel verim %15 ile çilek için öngörülmüştür. Ancak 1999 yılında ölçülen elektriksel iletkenlik değeri, genel ortalama değer olan 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den daha yüksek çıktığından, normal şartlar altında bu ürünlerin potansiyel verimlerinin daha yüksek olması muhtemeldir. Kral Talal Rezervuarı ve Kral Abdullah Kanalı'nın suyu karıştıktan sonra sulama için kullanılmaktadır ancak kanalın suyunun yetersiz olması ve sulama suyunun çoğunluğunun veya tamamının rezervuardan sağlanması durumunda ürün verimliliğinin düşeceği öngörülmektedir. Öte yandan, uygun sulama planlarının ve yöntemlerin sulama yönetiminde ele alınması durumunda, üretilen türlerin %72'sinin potansiyel verimlerinin %80'ine kadar yetiştirilebileceği düşünülmektedir (Ammary, 2005).

Kral Talal Rezervuarı'ndaki suyun 322 ila 410 mg/L arasında değişen klorür konsantrasyonu bazı ağaç türleri ve asma bağları için zararlı olabilmektedir. FAO'nun rehberine göre turunçgil ağaçları ve üzüm bağlarının hassas kök yapıları için sulama suyunun içerebileceği maksimum Cl konsantrasyonu 250 mg/L'dir. Ancak rezervuardan sağlanan suyun sulamada kullanılması, yağmurlama yöntemiyle sulama uygulamaları ve fasulye haricinde çoğu sebze ve tahıl ürünü için klorür toksisitesi açısından sorun teşkil etmemiştir. Rezervuarın suyunda olduğu gibi, bor konsantrasyonu 0,7 mg/L'den düşük olan sular kısıtlama gerektirmeksizin bütün ürünlerin sulanmasında kullanılabilmektedir (FAO, 1985). Ürdün vadisinde olduğu gibi, yağmurlama sulama yöntemi kullanılmadığı takdirde sodyum toksisitesi ile karşılaşılma olasılığı düşüktür. Sodyuma oranla düşük kalsiyum konsantrasyonu (düşük SAR değerleri) bitkilerin sodyum alımını düşürmektedir. Ayrıca yüksek tuzluluk oranı ve düşük SAR değerleri nedeniyle topraktan sızma hızında azalma beklenmemektedir (FAO, 1985).

Rezervuardaki suda bulunan eser elementlerin konsantrasyonları, arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı için Ürdün'ün belirlediği ulusal standartlar ve FAO kriterleri ile karşılaştırıldığında, eser elementlerin birikimi nedeniyle kısa ve uzun vadede üretkenliğin kısıtlanması beklenmemektedir (Ammary, 2005).

Kral Talal Rezervuarı'nın çıkış noktasında fekal koliform sayısı düşük olmasına rağmen, sulama sisteminde ikincil kontaminasyon oluşmaktadır. As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunda olduğu gibi rezervuarın çıkış noktasında da bağırsak solucanları hiçbir zaman görülmemiştir. Ancak rezervuarın mansabında fekal koliform sayısı arttığından, ikincil kontaminasyonun izlenmesi önem taşımaktadır (Ammary, 2005).

Rezervuardaki suyun içeriğindeki azot miktarı yüksek olduğundan (26-30 mg/L), gübre kullanımının buna göre ayarlanması gerekmektedir. Hatta bazı durumlarda hiç azot eklenmesi gerekmez. Azot her zaman ürünler için faydalı olmayabilir. Örneğin, büyümenin ilerleyen dönemlerinde yüksek azot konsantrasyonları meyvelerin kalitesini olumsuz etkileyebilmekte, gereksiz büyümeye yol açabilmekte ve/veya olgunlaşmayı erteleyebilmektedir (FAO, 1985). As-Samra Atıksu Arıtma Tesisi çıkışında azot konsantrasyonu 30 mg/L'nin altına düşmediğinden, bu sorunların yaşanması durumunda sezonun geç dönemlerinde diğer su kaynaklarının sulamada kullanılması gerekebilmektedir. Rezervuardaki suyun fosfor içeriği (yaklaşık 7 mg/L) bitkiler için besin kaynağı olabilmekte ancak fosfor fazlalığına neden olması beklenmemektedir (Ammary, 2005).

Rezervuardaki suda bulunan yüksek azot ve fosfor konsantrasyonlarına bağlı alg büyümesi ve suyun yüksek AKM, pH ve HCO_3 içeriği nedeniyle damla sulama sistemlerinin tıkanması Ürdün vadisinde sorun teşkil etmektedir. Klorlama, sistemlerde bakteriyel tabaka oluşumunu ve alg büyümesini kontrol altına almak için etkili bir yöntemdir. Askıdaki katıları damlatıcılara ulaşmadan önce sudan ayırmak amacıyla vadede çiftçiler tarafından kum filtreleri ve diğer yapay filtreler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, çiftliklerin %75'inde ikinci yıldan itibaren ciddi tıkanma sorunları ile karşılaşıldığını göstermiştir. Ancak bu sorunların ana nedeni, Kral Talal Rezervuarı'nda suyun kalma süresinin uzunluğu nedeniyle yüksek AKM giderim verimine sahip olduğundan rezervuar değil, Kral Abdullah Kanalı'nın içeriğindeki yüksek AKM konsantrasyonudur. Damla sulama sistemlerinin kimyasal

olarak tıkanması genellikle CaCO_3 ve $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ile ilgili olup, bu bileşiklerin tıkanmaya neden olacak seviyelere ulaşmasını önlemek amacıyla sistemlerin periyodik aralıklarla asit ile yıkanması bu soruna çözüm olabilmektedir (Ammary, 2005).

2.3.4 İran

İran’da arıtılmış atıksuların mısır, darı ve alfalfa gibi yem bitkilerinin sulanmasında kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalar sonucunda atıksuların içerdiği nütrient nedeniyle sulamada kullanılan gübre ve su miktarında önemli azalmalar olduğu saptanmıştır. Ülkede arıtılmış atıksuların geri kullanımına ilişkin uygulamalar, 1994 yılında yürürlüğe konan “Atıksu Deşarj Standartları” ile düzenlenmiştir. Bu kapsamda alıcı ortam için izin verilebilir deşarj standartları ve tarımsal amaçlı kullanım standartları belirlenmiştir, ancak belirlenen mikrobiyolojik kriterler yetersiz olduğundan, atıksu geri kullanımına ilişkin uygulamalarda genellikle WHO ve EPA gibi güvenilir uluslararası standartlara başvurulmaktadır (US EPA, 2004).

2.4 Türkiye’den Örnekler

Bakanlığımızın atıksu arıtma tesisleri envanteri verilerine göre, 2014 yılının ilk yarısı itibarıyla ülkemizdeki mevcut atıksu arıtma tesisi sayısı 549 olup, atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı %74,6’ya ulaşmıştır. Mevcut atıksu arıtma tesislerinin uygulanan arıtma düzeyine göre dağılımı %10,5’i birincil, %78,4’ü ikincil, %11,1’i üçüncül (ileri) arıtma şeklindedir. Bulunduğu yere göre bu arıtma tesislerinin büyük bir kısmı iç sulara (akarsular, göller, vb.), bir kısmı ise denize çıkış sularını deşarj etmektedir (ÇŞB, 2014).

Atıksuların geri kazanımına ilişkin ulusal düzeydeki yasal düzenlemeler uzun zamandan beri varolmasına karşın, ülkemizdeki araştırmalar ve uygulama örnekleri çok uzun bir geçmişe sahip değildir. Ülkemizde genellikle dolaylı kullanım (arıtılmış atıksuyun sulama suyu kaynağı olarak kullanılan bir yüzey suyuna deşarj edilmesi) yaygın olup, arıtılmış kentsel atıksuların yeniden kullanılması daha çok 2000’li yılların başlarında Türkiye gündeminde yer almaya başlamıştır. Günümüzde arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanımına ilişkin uygulamalar kısıtlı sayıdadır ancak bu

konuda büyük bir potansiyelin varlığından söz edilebilir. Türkiye’de arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada doğrudan veya dolaylı olarak kullanımına ilişkin bazı örneklerin derlemesi Tablo 23’te verilmiştir.

Tablo 23: Türkiye’de arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanım örnekleri (Kaplan, 2010).

İl-İlçe	AAT	Kullanılan Su Hacmi (milyon m ³ /yıl)	Alıcı Ortam	Sulama Durumu
Aksaray	Aksaray Kentsel AAT	9.125	Karasu Deresi	Dolaylı
Ankara	ASKİ Kentsel AAT	192.696	Ankara Çayı	Dolaylı
Eskişehir	ESKİ Kentsel AAT	24.820	Porsuk Nehri	Dolaylı şekilde 50.000 ha alan sulanmaktadır.
Gaziantep	GASKİ Kentsel AAT	73.000	S.Çayı	Doğrudan 80.000 ha alan sulanmaktadır.
Iğdır	Iğdır Kentsel AAT	552	Aras Nehri	Doğrudan
Kayseri	KASKİ Kentsel AAT	32.850	Karasu Nehri	Dolaylı
Adana-Kozan	Kozan Kentsel AAT	2.780	Kozan Çayı	Dolaylı
Adana-Yumurtalık	Yumurtalık Kentsel AAT	48	Ayas Çayı	Dolaylı
Konya-İlgın	İlgın Kentsel AAT	2.838	Bulasan Nehri	Dolaylı
Nevşehir-Ürgüp	Ürgüp Kentsel AAT	-	Damsa Çayı	Dolaylı
İzmir	İZSU Kentsel AAT	182.500	İzmir Körfezi	Doğrudan Gediz Ovası sulanmaktadır.
Afyonkarahisar	Afyon Kentsel AAT	44.000 m ³ /gün*	Akarçay Havzası	Doğrudan

* AAT kapasitesidir.

2.4.1 MEDAWARE Projesi

Ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının ele alındığı en kapsamlı projelerden biri olan “Akdeniz Ülkeleri için Sürdürülebilir Evsel Atıksu Arıtımı ve Atıksuların Tarımda Geri Kullanımı ile ilgili Enstrümanların ve Yöntemlerin Geliştirilmesi (MEDAWARE) Projesi” ile Avrupa-Akdeniz ülkeleri arasında oluşturulan ortaklık çerçevesinde, Yunanistan, İspanya, Kıbrıs, Filistin, Ürdün,

Lübnan, Fas ve Türkiye’de, atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı açısından sürdürülebilir olmayan uygulamaların değiştirilmesi hedeflenmiştir. Projenin başlıca amaçları şunlardır:

- Türkiye’de sürdürülebilir atıksu yönetiminin hangi aşamada olduğunu araştırmak, sürdürülebilir atıksu yönetiminin geliştirilmesi için güvenilir bir veri tabanı ve araçlar oluşturmak,
- Türkiye’deki mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin güncel durumunu ortaya koymak,
- Konuya ilişkin ulusal mevzuatın yeterliliğini incelemek ve önerilerde bulunmak,
- İlgili kurumlar tarafından kullanılmak üzere atıksu arıtma tesislerinin etkin bir şekilde işletilmesi için en uygun çözümlerin önerildiği teknik kılavuzlar hazırlamak.

Söz konusu proje kapsamında, ülkemizdeki 22 adet atıksu arıtma tesisi işletme verimi, tarımsal alanlara yakınlığı ve atıksularının geri kazanım potansiyeline göre detaylı olarak incelenmiştir (Arslan-Alaton vd., 2005; Yurtseven 2010). Projede kentsel atıksu arıtma tesislerinin son durumuna ilişkin elde edilen bulgulardan bazıları aşağıdadır:

- Bazı tesislerde (örneğin, Nazilli, Alaşehir, Manisa ve Akhisar AAT) KOİ, AKM, fekal koliform gibi parametreler için giderim verimleri %50’nin altında kalmaktadır.
- Bazı tesisler (örneğin, Akhisar ve Alaşehir AAT) kapasitelerinin üzerinde çalışmaktadırlar.
- Azot ve fosfor açısından zengin olan bu atıksular en yakın dereye deşarj edilmekte ve çiftçiler derelerden su çekerek tarım arazilerinin sulamasında kullandıkları için evsel nitelikli atıksu dolaylı olarak tarımsal faaliyetlerde kullanılmış olmaktadır.
- Fekal koliform gibi suyun bakteriyolojik ve patojen özelliğini temsil eden parametre değerlerinin giderimi için genellikle ek bir işlem (örneğin, dezenfeksiyon) yapılmamaktadır.

2.4.2 Ankara

Ankara Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ) tarafından yönetilen Ankara Merkezi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtılmış atıksuyun büyük bir kısmı Ankara Çayı'na, bir kısmı ise Anayurt Köyü'nde tarımsal sulamada kullanılmak üzere, toprak bir kanala deşarj edilmektedir. MEDAWARE Projesi kapsamında, Ankara Merkezi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik yapılan bir araştırmada , tesisin çıkış sularında 16 aylık süre boyunca yapılan izleme çalışmasının sonuçları Tablo 24'te görülmektedir.

Tablo 24: Ankara Merkezi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun analiz sonuçları (Arslan-Alaton vd., 2005b).

Parametre	Çıkış Suyu		Kullanımda Zarar Derecesi (FAO, 1992)		
	En Düşük	En Yüksek	Yok	Az-Orta	Yüksek
<u>Tuzluluk</u>					
EC (dS/m)				0,7-3,0	
Toplam tuz (mg/L)	0,9	1,4	<0,7	450-	>3,0
	489	992	<450	2.000	>2.000
<u>Geçirgenlik/infiltrasyon</u> (EC ve SAR'a bağlı) SAR=0-6*					
EC (dS/m)	0,9	1,4	>1,2	1,2-0,3	<0,3
pH	6,8	7,8	<8,5	>8,5	
<u>Fitotoksisite</u>					
Yüzey Sulama					
SAR	2,8	4,2	<3	3-9	>9
Klorür (mg/L)	65	170	<140	140-350	>350
Bor (mg/L)	0,2	1,04	<0,7	0,7-3,0	
Yağmurlama Sulama					
SAR	91	134	<70	>70	
Klorür (mg/L)	65	170	<100	>100	
Bor (mg/L)	0,2	1,04	<0,7	0,7-3,0	>3,0
<u>Ürün Kalitesi/Yeraltı</u>					
<u>Suyunun Korunması</u>					
TN (mg/L)	18	37	<5	5-30	>30

* Arıtılmış atıksuyun SAR değeri 2,8-4,2 arasında olduğu için, Sınıf 0-6 olarak sınıflandırılmıştır .

Söz konusu çalışmada, Ankara Kentsel AAT çıkış suyu analiz sonuçlarına göre şeker pancarı, tahıllar, ayçiçeği, mısır, vb. ürünler için Ankara yakınlarında bir bölgede sulama yapılması halinde gereken seyrelme oranları hesaplanmıştır. Buğday ve

pancar için toprak tuzluluğunun 7,4 dS/m olması verimi en fazla %10 düşüreceği için, elektriksel iletkenlik parametresi de dikkate alınarak, arıtılmış atıksuya eklenecek seyreltme suyunun, sulama suyunun %3-5'i kadar olması gerektiği belirlenmiş; ayçiçeği ve mısır için ise %10-15 oranında tatlı su ile seyreltme yapılması önerilmiştir (Kaplan, 2010).

Ayrıca WHO standartları ile karşılaştırılmak üzere aynı tesisin çıkış suyunda fekal koliform analizleri yapılmıştır. Bütün örneklerde fekal koliform için bulunan en muhtemel sayı 1.000/100 mL değerinin üzerinde çıkmış olup, genellikle 20.000/100 mL ile 1.000.000/100 mL arasında bulunmuştur. Bu değerler, tarım çalışanlarının sağlığına dikkat edilmesi gerektiğini, ayrıca çiğ olarak tüketilen sebzelerin, spor alanlarının ve yağmurlama sulama ile sulanan yeşil alanların sulanması için doğrudan kullanıma uygun olmadığını göstermiştir. Diğer yandan, tesisin çıkış suyunun bir toprak kanal aracılığı ile yaklaşık 10 km boyunca taşınarak, Anayurt Köyü'nde sulamada kullanılması nedeniyle kanal boyunca mikrobiyal yük değişiminin dikkate alınması gerektiği düşünülmüş; bu bağlamda, Anayurt Köyü yakınlarında alınan örneklerin analizleri sonucunda fekal koliform miktarının 0/100 mL ile 40.000/100 mL değerleri arasında olduğu ve mesafeye bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Bununla beraber, ne arıtma tesisi çıkışında, ne de toprak kanal boyunca alınan örneklerde halk sağlığını tehdit etmesi muhtemel olan *Salmonella* ssp. veya herhangi başka bir tür parazite rastlanmamıştır (Arslan-Alaton vd., 2005b).

Bir başka çalışma kapsamında, Ankara Kentsel AAT çıkış suyunda bağırsak parazitleri yumurtaları araştırılmış ve WHO tarafından belirlenen sulama suyu kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Arıtılmış atıksuda düşük konsantrasyonlarda (<1 adet/L) parazit yumurtası tespit edilmesine rağmen, kullanılan uluslararası analiz yöntemlerinin geri kazanım verimleri dikkate alındığında, atıksuyun kalitesinin WHO tarafından belirlenen sulama suyu kalitesi sınır değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir (Kaplan, 2010).

Sulama suyunda sodyum bulunması, suyun toprak içindeki hareketini ve toprağın geçirgenliğini azaltmaktadır. Geçirgenliğin önemli oranda düşmesi, bitki büyümesi için gereken su ihtiyacının karşılanamaması anlamına gelmektedir. Belirli bir SAR derecesinde toprak geçirgenliği, elektriksel iletkenliğe bağlı olarak azalır veya artar. Bu nedenle, geçirgenlik probleminin değerlendirilebilmesi için SAR ve elektriksel

iletkenlik beraber ele alınmalıdır. Bu iki değer dikkate alındığında (Tablo 24) Ankara Kentsel AAT ıkış suyunun sulamada kullanılması durumunda toprak geçirgenliğinin çok az etkileneceği öngörülmüştür.

Sodyum aynı zamanda bor ve klorür ile beraber bitkilerde birikim yaparak, fitotoksik etkiye sebep olmaktadır. Tablo 24'te belirtilen değerler dikkate alındığında, Ankara Kentsel AAT ıkış suyunun sulama uygulanan bitkiler üzerinde fitotoksik etki yapması beklenmemektedir. Öte yandan, sodyum ve klorür iyonlarının bitki yapraklarına vereceği zarar ve sulama sistemlerinde oluşturacağı tıkanma problemleri nedeni ile yağmurlama sulama önerilmemiştir.

Ankara Kentsel AAT ıkış suyu, sulamada kullanımını kısıtlayacak miktarda azot içermesine rağmen, azotun formu, toprak tipi, iklim ve bitki türü dikkate alınarak sulama suyu olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanımını sınırlayan diğer bir faktör de potansiyel toksik elementler (PTE)'dir. Ankara Kentsel AAT ıkış suyunda yapılan PTE analizleri Tablo 25'te verilmiş olup, analiz sonuçları arıtılmış atıksuyun PTE içeriği açısından sulamada sorunsuz kullanılabileceğini göstermiştir. Söz konusu araştırmanın sonucunda, yüzey sulama yöntemi uygulanarak Ankara Kentsel AAT ıkış suyunun tahıllar, endüstriyel bitkiler, yem bitkileri, ayır ve meralar ile ağaçların sulanmasında kullanılmasının uygun olduğu belirtilmekle beraber, çiftçilerin sağlığı için sıkı bir izleme izleme çalışmasının yapılması önerilmiştir (Arslan-Alaton vd., 2005b).

Tablo 25: Ankara Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun PTE analiz sonuçları (Arslan-Alaton vd., 2005b).

Potansiyel Toksik Element (mg/L)	Çıkış Suyu		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler* (mg/L)	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar* (kg/ha)
	En Düşük	En Yüksek		
Alüminyum (Al)	<0,05	2,61	5,0	4.600
Arsenik (As)	<0,01	0,03	0,1	90
Kadmiyum (Cd)	<0,05		0,01	9
Krom (Cr)	<0,02		0,1	90
Bakır (Cu)	<0,05		0,2	180
Florür (F)	0,1	0,8	1,0	920
Demir (Fe)	<0,05	1,03	5,0	4.600
Kurşun (Pb)	<0,05	0,25	5,0	4.600
Mangan (Mn)	<0,05	0,20	0,2	920
Nikel (Ni)	<0,05		0,2	920
Çinko (Zn)	<0,05	0,68	2,0	1.840

* Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

2.4.3 İstanbul - Kayseri - Adana

Yapılan bir çalışmada, Türkiye’de seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularının sulamada kullanımı için ulusal standartlarla uyumluluğunun sağlanmasına yönelik olarak güncellenmesi amacıyla tesislerin arıtma performansları ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Arslan-Alaton vd., 2007). Çalışma kapsamında belirlenen kentsel atıksu arıtma tesislerinin giriş ve çıkış sularından numune alınarak laboratuvarda su kalitesi analizleri gerçekleştirilmiş; tesisler tasarım kapasitelerine, arıtma sistemlerinin türüne, çıkış sularının deşarj yöntemlerine ve yeniden kullanım potansiyeline göre değerlendirilmiştir.

Seçilen tesislerden ikisi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne bağlı Silivri Atıksu Arıtma Tesisi ve Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi’dir. Silivri AAT aktif çamur sistemi ile çalışmakta olup, tasarım kapasitesi 1.350 m³/gün (E.N. 7.000)’dür. Çıkış suyu Marmara Denizi’ne deşarj edilmektedir. Paşaköy AAT’de A2/0 sistemiyle ileri biyolojik arıtma yapılmakta olup, kapasitesi 100.000 m³/gün (E.N. 250.000)’dür. Paşaköy AAT’de arıtılan su Paşaköy Deresi’ne verilmekte ve dere vasıtasıyla Karadeniz’e ulaşmaktadır. Seçilen diğer tesisler ise Türkiye’nin tarımsal üretim

açından iki önemli ili olan Kayseri ve Adana Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı kentsel atıksu arıtma tesisleri olup, her iki tesis de azot ve fosfor giderimli ileri arıtma sistemleri ile hizmet vermektedir. Kayseri AAT'nin kapasitesi 110,000 m³/gün (E.N. 275.000) olup, Kızılırmak Havzası'nda yer alan Karasu Çayı'na deşarj yapmaktadır. Adana - Yumurtalık AAT'nin kapasitesi 227,000 m³/gün (E.N. 567.500) olup, çıkış suyunu Akdeniz'e deşarj etmektedir. Söz konusu kentsel atıksu arıtma tesislerinin arıtma verimliliğine ilişkin su kalitesi verileri Tablo 26'da yer almaktadır.

Tablo 26'da görüldüğü üzere, organik madde giderimi açısından dört tesis de verimli şekilde çalışmaktadır. Ayrıca arıtma tesislerinin tümünde atıksuların ağır metal konsantrasyonları standartlara uygun çıkmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde alıcı ortama deşarj standartları (Tablo 21: Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları) organik kirlilik yükü ve eşdeğer nüfusa (E.N.) göre belirlenmiş olup, bu standartlar atıksuyun bakteriyolojik açıdan durumunu göz önüne alınmaksızın, dört ana parametreye (BOİ, KOİ, AKM, pH) odaklanmıştır. Eşdeğer nüfusa göre deşarj limitleri beş ayrı şekilde sınıflandırılmış olup, eşdeğer nüfus arttıkça limitler daha katı hale gelmektedir. Silivri AAT 10.000'in altında bir nüfusa hizmet vermektedir; diğer üç tesisin hizmet verdiği nüfus ise 100.000'den fazladır. Bu nüfuslara göre belirlenmiş deşarj standartları ile karşılaştırıldığında (Tablo 27), seçilen bütün tesislerin çıkış suyunun organik madde içeriği açısından ilgili deşarj standartlarını sağladığı ve iyi işletilen tesisler olarak nitelendirilebileceği görülmektedir.

Çalışmanın yapıldığı tarihte söz konusu tesislerde arıtılan atıksuların sulamada kullanımına ilişkin herhangi bir uygulama mevcut olmamakla beraber, çiftçilerin tesislerin deşarj yaptığı yüzeysel sulardan sulama amacıyla su çekmesi nedeniyle, bu atıksular dolaylı olarak tarımda kullanılmakta idi. Günümüzde yalnızca Kayseri AAT'de arıtılan atıksular sulama amaçlı kullanılmaktadır.

Tablo 26: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkış sularının kalitesi (Arslan-Alaton vd., 2007).

Parametre	Silivri AAT		Paşaköy AAT		Kayseri AAT		Yumurtalık AAT	
	giriş	çıkış	giriş	çıkış	giriş	çıkış	giriş	çıkış
pH	7,51	6,95	7,66	6,92	7,73	7,4	7,51	7,55
KOİ (mg/L)	620	60	410	30	325	70	674	37
BOİ ₅ (mg/L)	275	30	120	15	130	25	199	15
TN (mg/L)	61,6	55	93	38	92,5	51,2	58,4	26
TKN (mg/L)	60,2	15,5	92,4	10,6	92	43,1	58,2	16
NH ₄ -N (mg/L)	42,8	14	72,8	10	87,8	36,1	30,36	12,2
TP (mg/L)	23,83	14,43	13,95	3,99	5,48	2,24	13,7	5,47
AKM (mg/L)	326	25	540	30	274	20	274	7
TÇM (mg/L)	1015	953	682	600	1.020	760	805	600
Tuzluluk (%)	0,7	0,6	0,4	0,3	0,7	0,5	0,4	0,3
NO ₃ -N (mg/L)	1,38	39,5	0,18	27,5	0,46	8,1	0,23	10,05
Cl (mg/L)	158	257	110	110	197	182	178	175
SO ₄ (mg/L)	125	118	87	110	103	125	112	106
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	560	197	405	165	495	390	408	205
EC (µS/cm)	1693	1.588	1.496	1.090	1.376	900	1.320	987
Na (mg/L)	185	225	115	120	177	188	146	77
K (mg/L)	20,1	22,8	32,5	23,2	33,5	31,4	19,77	9,8
Mg (mg/L)	22,5	26,6	12,8	10,7	22,5	20	31	28
Ca (mg/L)	72,5	74,8	138	79	110	77,8	96	63
Cr (mg/L)	<0,02	<0,02	0,22	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cd (mg/L)	<0,02	<0,02	0,22	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ni (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	0,19	<0,05	<0,05
Fe (mg/L)	0,547	0,102	3,35	0,258	2,17	0,138	1,618	0,042
Zn (mg/L)	0,203	0,058	0,389	0,072	0,934	0,141	0,246	0,03
Pb (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg (mg/L)	0,0002	0,0001	0,0007	0,0002	0,0006	0,0003	0,0002	<0,0001
B (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,515	<0,05	<0,05	<0,05
Fekal koliform (CFU/100 mL)	36*10 ⁴	4.600	>10 ⁶	6.000	>10 ⁶	600	25*10 ⁴	11*10 ³
Toplam koliform (CFU/100 mL)	42*10 ⁴	5.400	>10 ⁶	50.000	>10 ⁶	1.250	>10 ⁶	16*10 ³

Tablo 27: SKKY Tablo 21'e göre eşdeğer nüfusa bağlı olarak evsel nitelikli atık suların alıcı ortama deşarj standartları (Arslan-Alaton vd., 2007).

Parametre	Kompozit Numune (2 saatlik) E.N. 1.000-10.000	Kompozit Numune (24 saatlik) E.N. 1.000-10.000	Kompozit Numune (2 saatlik) E.N.>100.000	Kompozit Numune (24 saatlik) E.N.>100.000
BOİ ₅ (mg/L)	50	45	40	35
KOİ (mg/L)	160	110	120	90
AKM (mg/L)	60	30	40	25
pH	6-9	6-9	6-9	6-9

Söz konusu çalışmada ele alınan kentsel atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının sulama amaçlı kullanım için uygunluğu, mülga Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı tarihte yürürlükte olan bu tebliğde, sulama sularının sınıflandırılmasına ilişkin su kalitesi kriterleri, arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik önemli parametreler ve kriterler, sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik element konsantrasyonları (örneğin, arıtma tesisi çıkış sularının sulamada kullanıldığı uygulamalarda izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri olan bor için maksimum konsantrasyon) ve sulamada kullanılması planlanan endüstriyel atıksular için uygunluk kriterleri yer almaktadır. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmadan sulamada kullanılıp kullanılamayacağının belirlenmesine ilişkin kriterler de tebliğde belirtilmektedir (Arslan-Alaton vd., 2007).

Seçilen kentsel atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilen suların bazı su kalitesi parametreleri bakımından sulama için uygunluğuna ilişkin sınıflandırma Tablo 28'de, ağır metal konsantrasyonlarının tebliğdeki izin verilebilen maksimum konsantrasyonlar ile karşılaştırılması ise Tablo 29'da yer almaktadır. Tablo 28'de görüldüğü üzere, BOİ₅, AKM, sülfat, bor minerali ve pH açısından hemen hemen tüm tesislerin çıkış suları I. sınıf sulama suyu özelliği taşıırken; TÇM, nitrat azotu, iletkenlik ve SAR bakımından II. ila IV. sınıf, genellikle de III. sınıf sulama suyu özelliği göstermiştir. İçeriğindeki fekal koliform miktarı bakımından IV. ve V. sınıf sulama suyu kalitesinde olması nedeniyle, tesislerden hiçbirinin arıtılmış atıksuyunun

tarımsal sulama suyu olarak kullanımı uygun bulunmamıştır. Söz konusu araştırma, tesislerin bazılarında dezenfeksiyon üniteleri bulunmadığını, ünitelerin mevcut olduğu tesislerde ise yüksek enerji tüketiminin getirdiği maliyet ve dezenfektan kimyasal gereksinimine bağlı olarak işletme masraflarının oldukça yüksek olması nedeniyle dezenfeksiyon ünitelerinin etkin şekilde işletilmediğini ortaya koymuştur. Ülkenin bazı bölgelerinde karşılaşılan durumun aksine, bu tesislerin çıkış sularında bor konsantrasyonları problem yaratmayacak seviyelerde çıkmıştır. Tablo 29'a bakıldığında ise, seçilen tesislerin tümünün çıkış sularının ağır metal içeriği açısından sorunsuz olduğu görülmekte olup, bunun tesislere endüstriyel atıksu girişi olmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, bazı ilave işlemlerle söz konusu tesislerin çıkış sularının yeniden kullanıma uygun hale getirilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Tablo 28: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularının tarımsal sulama için uygunluğunun değerlendirilmesi (Arslan-Alaton vd., 2007).

Parametre	Silivri AAT	Paşaköy AAT	Kayseri AAT	Yumurtalık AAT	Sulama Sularının Sınıflandırmasında Esas Alınan Kalite Parametreleri*				
					I	II	III	IV	V
pH	I	I	I	I	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9	<6,0 >9,0
BOİ ₅ (mg/L)	II	I	I	I	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM (mg/L)	II	II	I	I	20	30	45	60	>100
TÇM (mg/L)	III	III	III	III	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	>2100
NO ₃ -N (mg/L)	IV	III	II	II	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
SAR	IV	II	IV	II	<10	10-18	18-26	>26	
Cl (mg/L)	III	I	II	II	0-142	142-249	249-426	426-710	>710
SO ₄ (mg/L)	I	I	I	I	0-192	192-336	336-575	575-960	>960
EC (µS/cm)	III	III	III	III	0-250	250-750	750-2.000	2.000-3.000	>3.000
B (mg/L)	I	I	I	I	0-0,5	0,5-1,12	1,12-2,0	>2,0	-
Fekal koliform (CFU/100 mL)	V	V	IV	V	0-2	2-20	20-100	100-1.000	>1.000

* Mülga Teknik Usuller Tebliği Tablo 4'e göre

Tablo 29: Seçilen dört kentsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularındaki ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi (Arslan-Alaton vd., 2007).

Parametre	Silivri AAT	Paşaköy AAT	Kayseri AAT	Yumurtalık AAT	Uygunluk standartı*
B (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5,0
Cd (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
Cr (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,1
Fe (mg/L)	0,102	0,258	0,138	0,042	5,0
Pb (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5,0
Ni (mg/L)	<0,05	<0,05	0,19	<0,05	0,2
Zn (mg/L)	0,058	0,072	0,141	0,03	2,0

* Mülga Teknik Usuller Tebliği Tablo 5'e göre

2.4.3 İzmir

Yapılan bir diğer çalışmada (Karataş vd., 2005), İzmir ilinde oluşan evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların arıtıldıktan sonra Ege Denizi'ne deşarj edilmek yerine Menemen Ovası'nda tarımsal sulama için kullanılabilirliği incelenmiştir. Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan atıksuların, net sulama alanı 22.865 hektar (DSİ) olan Menemen Ovası'nın sulanmasında kullanımı ile, bir yandan sulama suyu yetersizliği giderilirken, bir yandan da arıtılmış atıksuyun içerdiği azot, fosfor ve potasyum gibi makro besin elementleri, körfezin sucul ekosistemi için zararlı olmasına rağmen bitkiler için faydalı birer besin niteliğinde olduğundan, İzmir Körfezi'ndeki kirliliğin kontrol altına alınmasına faydalı olacağı ve toprağa uygulanan gübre miktarının azalacağı düşünülmüştür. Bu kapsamda, Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan atıksuların bazı sulama suyu kalite parametreleri yönünden sulamaya uygunluğu, mülga Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ve ilgili literatür ışığında irdelenmiştir.

İZSU Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi, evsel nitelikli ve ön arıtmaya tabi tutulmuş olan endüstriyel nitelikli atıksuların kabul edildiği, azot ve fosfor giderimi yapılan bir ileri biyolojik arıtma tesisidir. Araştırmada tesisin tam kapasite çalışmaya başladığı yıl olan 2002'den 2004 yılına kadar geçen 3 yıllık dönemdeki çıkış suyu analiz sonuçları kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada, mikrobiyolojik kalite parametreleri açısından herhangi bir analiz yapılmadığından bu konuda bir değerlendirme yapılmamıştır.

Söz konusu çalışma sonucunda, İzmir'in arıtılmış kentsel atıksuyunun, toplam tuz, EC, TÇM, SAR, Değişebilir Sodyum Yüzdesi (DSY) ve Cl açısından birçok bitkinin tolerans sınırını aştığı belirlenmiş, dolayısıyla mevcut durumuyla bu suların sulamada kullanımının uygun olmadığı değerlendirilmiştir (Karataş vd., 2005).

2.4.4 Muğla

Muğla ili, Bodrum ilçesinde bulunan Göltürbükü Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi, yaz döneminde 17.000, kış döneminde 4.500 kişinin evsel nitelikli atıksuyunu arıtmaktadır. Biyolojik arıtma yapılan tesisin kapasitesi yaz aylarında 2.000 m³/gün'e çıkmakta, kış aylarında ise 300 m³/gün'e kadar düşmektedir. Arıtma tesisinin işletmeye alındığı tarihten bu yana çıkış suyu ormanlık alanın sulanması ile birlikte, aynı bölgede bazı tarım ürünlerinin (meyve ve sebzeler) sulanması için de kullanılmaktadır. Söz konusu tesisin arıtılmış atıksuyunun özellikleri Tablo 30'da verilmiştir.

Arıtma tesisinin 1996 yılında ilk kuruluşundan bu yana, ortalama 15 m² büyüklüğünde orman alanı arıtılmış atıksularla düzenli olarak sulanmaktadır. Sulama sistemi 3 km uzunluğundaki 110 mm çaplı bir boru hattı ile 2 adet terfi pompasından oluşmaktadır. Orman ağaçlarının arıtılmış atıksu ile sulama uygulaması başladıktan sonra farkedilir şekilde hızlı büyüdüğü raporlanmıştır (Kalavrouziotis ve Arslan-Alaton, 2008).

Muğla ili, Bodrum ilçesinde bulunan Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi ise Türkiye'de ilk yüzeyaltı membran filtre sistemli belediye atıksu arıtma tesisi olup, 2009 yılında işletmeye alınmıştır. Maksimum ve ortalama debileri sırasıyla 3.200 m³/gün ve 1.600 m³/gün olan tesiste membran biyoreaktör ile arıtılan atıksular yeşil alanların sulanmasında ve kentsel amaçlı olarak kullanılmaktadır. Tesis BOİ<5 mg/L, TN<10 mg/L ve sıfır parazit kriterlerine göre işletilmektedir (ÇŞB, 2014).

Tablo 30: Gltrkk Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi ıkış suyu kalitesi (Kalavrouziotis ve Arslan-Alaton, 2008).

Parametre	Değer
pH	6,8
KOI (mg/L)	63
BOİ ₅ (mg/L)	_*
AKM (mg/L)	15
TKN (mg/L)	3,9
NH ₄ -N (mg/L)	_*
TP (mg/L)	8
EC (µS/cm)	2.500
SAR	65
SO ₄ (mg/L)	125
Cl (mg/L)	690
Fekal koliform (CFU/100 mL)	300
B (mg/L)	0,5

* llememiştir.

2.4.5 Afyonkarahisar

Tam lekli araştırmalardan birine konu olan Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi, İlbank A.ř. tarafından 1995 yılında inşa edilmiş olup, biyolojik arıtma gerçekleştirilmekte idi (Kalavrouziotis ve Arslan-Alaton, 2008). Tasarım kapasitesi 24.500 m³/gün olan tesis, bahse konu tarihte Afyon Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde, yaklaşık 150.000 nüfusa hizmet vermekte ve 20.000 m³/gün kapasite ile işletilmekteydi. Arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atıksuyunun zellikleri Tablo 31’de verilmiştir.

Tesisin devreye alınmasından günümüze kadar çıkış suyu yıl boyunca, 1.000 m² genişliğindeki, akasya ve iğde ağaçlarından oluşan ormanlık alanın sulanmasında kullanılmıştır. Ayrıca kurutulmuş arıtma çamuru gübre olarak çiftçilere dağıtılmıştır. Kuru amur keki uygulanmasını takiben ağaç gövdelerinin kalınlaştığı gözlemlenmiştir (Kalavrouziotis ve Arslan-Alaton, 2008).

Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi 2011 yılında revize edilerek işletmeye alınmış olup, ileri biyolojik arıtma sistemi olarak faaliyetine devam etmektedir. Evsel nitelikli atıksular ile n arıtmadan geirilmış endüstriyel atıksuların kabul edildiği 44.000 m³/gün kapasiteli tesis, 197.115 kişiye hizmet vermektedir (şB, 2014). Ayrıca, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü ve Hollanda’nın ortaklığı ile 2014 yılı başında çalışmaları başlatılan Arıtılmış Evsel

Atıksuların Tarımda Kullanımı Projesi kapsamında, Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Birliği tarafından işletilen söz konusu tesisin çıkış sularının kurulacak dezenfeksiyon ünitesi sayesinde zirai sulamada yeniden kullanılması amaçlanmıştır. Proje, Hollanda tarafından sağlanan 750 bin Avro hibe ve Afyonkarahisar Belediyesi'nin katkıları ile gerçekleştirilmektedir (OSİB).

Tablo 31: Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu kalitesi (Kalavrouziotis ve Arslan-Alaton, 2008).

Parametre	Değer
pH	7,8
KOI (mg/L)	130
BOİ ₅ (mg/L)	_*
AKM (mg/L)	30
TKN (mg/L)	22,2
NH ₄ -N (mg/L)	_*
TP (mg/L)	3,4
EC (µS/cm)	1.650
SAR	42
SO ₄ (mg/L)	145
Cl (mg/L)	202
Fekal koliform (CFU/100 mL)	43.200
B (mg/L)	0,4

* Ölçülememiştir.

2.4.6 Adana

Adana'nın Karaisalı ilçesi, kentsel atıksuyun yapay sulak alan kurularak arıtılması ve arıtılan atıksuyun sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğinin ortaya konulmasının hedeflendiği bir araştırmaya konu olmuştur. Ayrıca, bu çerçevede ilçenin 47 dekar kentsel yeşil alanı (parklar, çocuk oyun alanları, spor alanları, mezarlık, yol kenarındaki ağaçlar) için bir atıksu yönetim planı oluşturulması ile ilgili bazı önemli öngörülerin ortaya konulması da hedeflenmiştir (Bozdoğan, 2009).

Nüfusu yaklaşık 7.000 olan ve hemen her yerine ulaşmış kanalizasyon sistemi bulunan Karaisalı ilçesinin kentsel atıksuyu herhangi bir arıtım işlemi uygulanmadan, doğrudan Üçürge Deresi'ne deşarj edilmekte ve bu derenin suları da meyve ve özellikle sebze yetiştirilen tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmakta idi. Söz konusu çalışmada, pilot ölçekte oluşturulan yüzey altı dikey akışlı yapay sulak alanda, ayda 80 m³ ham atıksu arıtılmış ve ortalama 49,9 m³ arıtılmış atıksu elde edilmiştir. Bu suyun ilçede sulamada kullanılabilirliğinin ortaya konulmasında

en önemli parametreler arasında olan BOİ, KOİ ve AKM gideriminde önemli başarı sağlanmıştır. Her üç parametrenin giderim oranlarının çalışma süresince %50'nin üzerinde, çoğunlukla da %76-100 arasında olduğu belirlenmiştir. Giderim verimi yüksek olmakla birlikte, arıtılmış atıksuda elde edilen değerlerin Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Tablo 1'de BOİ₅ ve AKM için verilen ikincil arıtmadaki en düşük limitlerin (sırasıyla 25 ve 35 mg/L) genellikle üzerinde, kentsel atıksuda daha düşük olan KOİ içinse genelde limit değer olan 125 mg/L'nin altında olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonunda, yapay sulak alandan deşarj standartlarına uygun olarak çıkan atıksuyun mikrobiyal giderim veriminin de çok yüksek olmasına rağmen, atıksuyun tarımsal sulama suyu olarak kullanım için uygun olmadığı görülmüştür. Tesisin çıkış suyu mülga SKKY Teknik Usuller Tebliği Tablo 4'te belirtilen sulama suyu kalite parametreleri bakımından genel olarak 3. sınıf sulama suyu olarak kabul edilmiştir (Bozdoğan, 2009).

2.4.7 Konya

Yukarıda bahsedilen örneklerin dışında, ülkemizde bazı atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları yeşil alanların sulanmasında kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan Konya Atıksu Arıtma Tesisi 200.000 m³/gün kapasiteli olup, 1.073.791 kişiye hizmet vermektedir (ÇŞB, 2014). Konya Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Genel Müdürlüğü tarafından 2007-2011 yılları için hazırlanan Stratejik Plan'da "200.000 m³/gün kapasiteli Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilen arıtılmış suyun tarımsal sulama veya rekreasyon amaçlı kullanılması" bir hedef olarak belirlenmiştir.

Söz konusu tesisten çıkan arıtılmış atıksuların kentsel yeşil alan sulamasında veya kent içindeki drenaj amaçlı açılmış kanallara beslenerek rekreasyon ve tarımsal sulama amaçlı kullanılması olmak üzere belirlenen iki seçenek için 2008 yılında bir fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite çalışmasında her iki alternatifin de uygulanabilir olduğu, ancak arıtılmış atıksuların kentsel yeşil alan sulamasında kullanımının ekonomik olarak daha uygun bir çözüm olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, KOSKİ Genel Müdürlüğü tarafından Konya Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının ilk kademedede 1.059.500 m² kentsel yeşil alanda kullanımı amacıyla, ilgili yönetmeliklere uygun sulama suyunun elde edilebilmesi için ileri filtrasyon ve

dezenfeksiyon teknolojileri, depolar, pompa istasyonları ve mor şebekeden oluşan “Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Pilot Ölçekte Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı Projesi” hazırlanmıştır (Küçükhemek, 2010).

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşme, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, canlılar için yaşamsal önem taşıyan ve son derece sınırlı olan yeryüzündeki kullanılabilir su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin hızla azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle mevcut su kaynaklarının korunmasının yanında, kullanılan kısmının geri dönüşümünün ve yeniden kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu da atıksu yönetiminin, suyun kullanılıp atıksu haline geldikten sonra çeşitli yöntemlerle arıtılmasını ve alıcı ortamlara geri verilmesini içeren klasik yaklaşımdan, atıksuyun yeniden kullanılmasına olanak verecek şekilde arıtılmasını ve farklı amaçlarla yeniden değerlendirilmesini sağlayarak alıcı ortamlara deşarjını azaltan yeni bir entegre yaklaşıma evrilmesine yol açmıştır. Özellikle iklim değişikliğinin etkileri, dünya çapında artan su ihtiyacı ve kullanılabilir su kaynaklarındaki azalma ve kirlenme nedeniyle, arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı giderek daha önemli hale gelmektedir.

Günümüzde atıksuların yeniden kullanımının en yaygın olduğu ülkeler ABD, İsrail, Avustralya, Japonya, bazı Batı Avrupa, Orta Doğu ve Akdeniz ülkeleridir. Gelişmiş ülkelerin çoğu, atıksuların geri kullanımı için ileri teknoloji ve yüksek maliyete dayanan düşük riskli standartlar oluşturmuşlardır. Öte yandan, gelişmekte olan birçok ülke, düşük maliyetli teknolojilerin kullanımına dayanan ve sağlık risklerine odaklanan WHO rehberini esas alan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Arıtılmış atıksuların en yaygın yeniden kullanım alanı tarımsal uygulamalardır. Ancak halen birçok ülkede, bahse konu standartlar ve uygulamaların getirdiği riskler dikkate alınmaksızın, atıksuların arıtılmadan, tarımsal sulamada doğrudan veya dolaylı şekilde kullanım örneklerine rastlanmaktadır.

Ülkemiz her ne kadar su fakiri olmasa da, su zengini bir ülke de değildir. İklim değişikliğinin Akdeniz havzasındaki olası etkileri ile durumunun daha da kritik hale geleceği öngörülen kısıtlı su kaynaklarımızın etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ve yönetilmesi gerekmektedir. Türkiye’de arıtılmış atıksuların sulamada kullanımına yönelik ulusal mevzuat 1991 yılından beri mevcut olmasına rağmen, varolan uygulamaların ve konuya ilişkin araştırmalar ile projelerin ülkemizin sahip

olduğu potansiyele göre yetersiz olduğu görülmektedir. Ülkelerin su mevcudiyeti, su ihtiyacı ve arıtılmış atıksu deşarına ilişkin veriler temel alınarak yapılmış bir modelleme çalışmasının sonuçlarına göre, 2025 yılı tahminleri için Türkiye 234 milyon m³/yıl ile atıksu geri kazanım potansiyeli açısından Avrupa ülkeleri arasında dördüncü sırada gelmektedir (Özbay ve Kavaklı, 2008). Atıksuların tarımsal amaçlarla geri kazanımı ile ilgili araştırma ve uygulama örneklerinin halen çok sınırlı olmasının başıca nedeni, tarımsal sulama için gerek duyulan suyun temininde şimdiye kadar ciddi sıkıntılar yaşanmamış olmasıdır. Ancak yakın gelecekte atıksuların geri kullanımının ülkenin gündemindeki en önemli çevresel konulardan biri haline gelmesi beklenmektedir (Arslan-Alaton vd., 2007). Bu bağlamda, atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uygulamaların artması için bu konuda yapılan araştırmaların çoğalması gerekmektedir.

IPCC’de de belirtildiği üzere, iklim değişikliğinin tatlı su kaynakları üzerindeki olası etkileri ile başa çıkabilmek için su yönetiminde entegre ve uyurlanabilir bir yöntem belirlenmelidir (IPCC, 2014). Uygun planlama ve su yönetimi master planlarına atıksu geri kazanımının da dahil edilmesi ile arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusundaki projelerin verimliliğinin artırılması mümkündür (Lazarova vd., 2001). Bu entegre su kaynakları yönetim sisteminde, bütün arz ve taleplere bağlı faaliyetler özel olarak değerlendirilmeli, tüm paydaş kurum ve kuruluşlar karar verme süreçlerine dahil edilmeli, su kaynaklarının durumu sürekli izlenmelidir.

Atıksuların geri kullanımına ilişkin uygulamalar su talebi ve arzı arasındaki denge, iklim, mevcut su kaynakları, atıksu arıtma kapasitesi ve altyapı durumu, ülke ekonomisi, eğitim düzeyi, tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu, nüfus ve sosyokültürel alışkanlıklar gibi birçok etkene bağlıdır (Arslan-Alaton vd., 2007). Ayrıca, atıksuların geri kazanılmasındaki teknoloji gereksinimi, geri kazanılacak suyun kullanılma amacı ile yakından ilişkilidir. Bütün bunlar planlama çalışmalarında dikkate alınması gereken hususlardır. Ancak ülkemizde atıksuyun geri kazanımına ve yeniden kullanımına yönelik tesislerin planlanmasında; atıksu arıtma ihtiyacı, su temini ve talebi ile atıksuyun geri kullanımının su temini bakımından faydalarının belirlenmesi, geri kazanılmış atıksuyun pazarlanması, mühendislik ve maliyet açısından seçeneklerin değerlendirilmesi, vb. araçların geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması genellikle öncelikli olarak ekonomik ve tarımsal açıdan değerlendirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, atıksuların tarımda kullanılmasının getirdiği ek maliyet, toplam arıtım ve bertaraf maliyetinin yalnızca yaklaşık %30'una tekabül etmektedir (Lazarova vd., 2001). Ancak, tarımsal sulama uygulamaların halk sağlığı ve çevre üzerine olumsuz etkilerini en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için arıtma süreçlerinde gerekli kriterlere uyulmalı, sulama uygulamalarında dikkatli olunmalı ve koruyucu önlemler alınmalıdır. Bu bağlamda, aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi, çevre ve insan sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır:

- Sağlık risklerinin yönetimi önemli bir husus olup, bu kapsamda patojenlerin çevreden (atıksu, bitkiler, toprak, vb.) insanlara doğru olan akışının kesilerek halk sağlığının korunması hedeflenmelidir. Arıtma risk yönetiminin bir bölümünü oluşturmaktadır. Sulama yöntemlerinin seçimine bağlı olarak çiftçilerin, yakın çevrede yaşayan halkın ve tüketicilerin sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler azaltabilir veya arttırabilir. Örneğin, yağmurlama sulama ile sulama yapıldığında, yetiştirilen bitkilerin ve yakın çevrede yaşayanların aerosol etkisi nedeniyle atıksular ile teması artmaktadır. Yağmurlama sulama kullanıldığı durumlarda uygun genişlikte tampon bölgeler oluşturulmalıdır. Damla sulama ve çok düşük basınçlı fişkiye sistemleri, riskleri azaltmak için tercih edilebilir yöntemlerdir. Ayrıca ürünlerin yetiştirilme ve tüketiciye ulaştırılma süreçlerinde çalışanların atıksu ile temasını azaltıcı ve koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Ülkemiz topraklarının karşı karşıya olduğu erozyon ve tuzlanma sorunları dikkate alındığında, toprak yönetimi açısından, sulamada kullanılacak arıtılmış atıksuların tuz ve nütrient içeriklerinin dikkatle ele alınması önem taşımaktadır.
- Uzun vadede sulama özellikle drenajı kötü olan topraklarda tuzluluğa ve ağır metal birikimine neden olabileceğinden, arıtılmış atıksular ile sulanan arazilerde periyodik olarak toprak analizleri yapılarak toprak kalitesi izlenmeli ve topraktaki olası olumsuz değişimlere karşı önlem alınması sağlanmalıdır.

Ülkemizde ileri arıtma teknolojisine sahip bazı atıksu arıtma tesislerinde çıkış sularının sulama suyu kriterlerini karşılamıyor olmasının nedeni, ekonomik nedenlerle dezenfeksiyon ünitelerinin çalıştırılmıyor veya verimsiz çalışıyor olmasıdır (Arslan-Alaton vd., 2007). Tarımsal sulamada arıtılmış atıksu kullanımının genişletilmesine yönelik ilk adımlardan biri olarak, kentsel atıksu arıtma tesislerindeki mevcut dezenfeksiyon ünitelerinin verimli şekilde çalıştırılması sağlanabilir ve/veya dezenfeksiyon sistemi bulunmayan tesislere bu üniteler eklenebilir. Arıtma tesisi çıkış sularının sürekli izlenmesi ve su kalitesine ilişkin özellikle mikrobiyolojik parametrelerin kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır. Uygulamaların vazgeçilmez bir parçası da suyu kullanan çiftçilerin güvenli sulama yöntemleri konusunda eğitilmesi ve yerel/ulusal ölçekte farkındalığın artırılması ve önyargıların engellenmesi amacıyla ilgili kurum ve kuruluşlarca halkın bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi için çalışmalar yapmaktır.

Yeni yapılacak atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının yeniden kullanılması planlanıyor ise, arıtma yöntemi olarak ülkemiz şartlarına uygun, güvenilir ve ekonomik arıtma teknolojilerinin seçilmesi teşvik edilmelidir. Teknoloji seçimi yapılırken belirlenen yöntemin tesis edileceği bölgenin koşulları da (örneğin, stabilizasyon havuzu yapılmasına karar verilen bölgelerde arazi maliyetleri ve uygunluğu) dikkate alınmalıdır. Arıtılmış atıksuların tarımsal faaliyetlerde kullanılması planlanırken, atıksu arıtma ve geri kazanım tesisleri ile bu tesislerin çıkış sularının kullanılacağı tarımsal araziler arasındaki mesafe ve bu bölgelerin iklimsel koşulları dikkate alınmalı; arıtılmış atıksuyun taşınması ve gerektiğinde depolanması ile ilgili maliyetler de hesaba katılmalıdır. Su kaynaklarının havza bazlı yönetimi anlayışına uygun olarak, içme ve kullanma suyu temin edilen havzalarda özel hüküm belirleme çalışmalarına benzer şekilde, atıksu geri kazanımına ilişkin planlamalarda da bölgelerin kendine özgü koşulları değerlendirilmesinde fayda görülmektedir.

Türkiye’de tarımsal sulamanın büyük bir kısmının kamu kurumlarının sorumluluğunda olduğu göz önüne alındığında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı (DSİ) ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı başta olmak üzere, kamu kurum ve kuruluşları arasındaki işbirliğinin, arıtılmış atıksuların tarımda kullanımının daha geniş alanlara yayılmasının teşvik edilmesinin

kolaylaştıracığı düşünülmektedir. Ayrıca, özellikle su sıkıntısı bulunan bölgelerde endüstriyel kuruluşlar, yasal düzenlemeler ile, üretim proseslerindeki yıkama sularını ve arıtılmış atıksuları geri kazanmaya ve yeniden kullanmaya teşvik edilebilir.

Özetle, toplumsal algı, eğitim eksikliği ve güvensizlik nedeniyle atıksuların geri kazanım uygulamalarına sosyal açıdan olumsuz yaklaşılabilir. Ancak birçok açıdan faydalı olan bu uygulamalarda gerekli önlemler alındığı ve izleme çalışmaları uygun şekilde yapıldığı takdirde, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerindeki olası riskleri en aza indirilebilmektedir. Arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması atıksu içeriğindeki nütrientler sayesinde tarımda gübre ihtiyacını azaltmakta ve buna bağlı olarak ekonomiye katkı sağlanabilmekte, hatta bu sayede hassas alanlarda ileri arıtma gerekliliği dahi ortadan kalkabilmektedir. Etkin planlamalar çerçevesinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusundaki uygulamaların artması ile bir yandan denizler, akarsular, göller, vb. su kütleleri atıksu deşarjlarından korunarak yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi önlenmiş; diğer yandan temiz su kaynaklarının kullanımından büyük oranda tasarruf sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

91/271/EEC, Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin 21 Mayıs 1991 tarihli Avrupa Konseyi'nin 91/271/EEC Sayılı Direktifi.

91/676/EEC, Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Su Kaynaklarının Korunmasına İlişkin 12 Aralık 1991 tarihli Avrupa Konseyi'nin 91/676/EEC Sayılı Direktifi.

2000/60/EC, Su Politikası Alanında Topluluk Faaliyeti için Bir Çalışma Çerçevesi Oluşturan 23 Ekim 2000 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2000/60/EC Sayılı Direktifi.

Akın, M. ve Akın, G. (2007) Suyun önemi, Türkiye'de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105-118.

Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. (2010) Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 67-74.

Ammary, B.Y. (2005) Wastewater reuse in Jordan: present status and future plans. *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology*, Rodos, Yunanistan, 1-3 Eylül 2005, 72-77.

Angelakis, A.N. ve Bontoux, L. (2001) Wastewater reclamation and reuse in EU countries. *Water Policy*, 3, 47-59.

Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. (2002) Main challenges for water recycling and reuse in EU countries. *IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region*, Iraklio, Yunanistan, 26-29 Eylül 2002, 71-80.

Arslan-Alaton, İ., Gürel, M., Eremektar, G., Övez, S., Tanık, A., Orhon, D. (2005) Türkiye'de sürdürülebilir atıksu yönetimi: mevcut durum, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, arıtılmış evsel atıksuların tarımsal sulamada kullanılması. *MEDAWARE Projesi Çalıştayı*, Ankara, 9-10 Haziran 2005.

Arslan-Alaton, İ., Eremektar, G., Gürel, M., Tanık, A., Övez, S., Başkan, T., Orhon, D. (2005) Task 5 report: wastewater reuse in Turkey, 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), İstanbul.

Arslan-Alaton, I., Tanık, A., Ovez, S., Iskender, G., Gurel, M., Orhon, D. (2007) Reuse potential of urban wastewater treatment plant effluents in Turkey: a case study on selected plants, *Desalination*, 215, 159-165.

Atalık, A. (2006) Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri. *Bilim ve Ütopya*, 139, 18-21.

Atıksu Arıtımı Eylem Planı (AAEP) 2008-2012 (2008) *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, Ankara, 449 s.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20.03.2010 tarihli ve 27527 sayılı Resmi Gazete.

Barbagallo, S., Cirelli, G.L., Indelicato, S. (2001) Wastewater reuse in Italy. *Water Science and Technology*, 43(10), 43-50.

Bdour, A.N., Hamdi, M.R., Tarawneh, Z. (2009) Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. *Desalination*, 237(1), 162-174.

Beklioglu, M., Romo, S., Kagalou, I., Quintana, X., Bécares, E. (2007) State of the art in the functioning of shallow Mediterranean lakes: workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 584(1), 317-326.

Bixio, D., Thoeye, C., Koning, J.D., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T. (2006) Wastewater Reuse in Europe, *Desalination*, 187, 89-101.

Bozdoğan, E. (2009) Kentsel atık suların yapay sulak alanda arıtılması ve açık yeşil alan sulamalarında kullanılabilme olanaklarının araştırılması. *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, Adana, 232 s.

Cirelli, G.L., Consoli, S., Di Grande, V., Milani, M., Toscano, A. (2006) Subsurface constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in agriculture-five years of experiences in Sicily, Italy. *10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Lizbon, Portekiz, 23-29 Eylül 2006, 375.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Atıksu Arıtma Tesisleri Envanteri, 2014.

Devlet Planlama Teşkilatı (2007) Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013, Ankara.

Devlet Planlama Teşkilatı (2007) Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013 Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yayın No. DPT: 2718 - ÖİK: 671, Ankara.

Decreto del Commissario Delegato Emergenza Ambientale 19/12/2005, n. 209, Definizione e Predisposizione, ai sensi del combinato disposto degli artt. 2, comma 1, e 7, comma 3, Ordinanza 22 Marzo 2002, n.3184 Ministero dell'Interno delegato per il coordinamento della protezione civile, del "Piano di tutela delle Acque" di cui all'art.44 D.Lgs. n. 152/99, BURP n. 6 12/1/2006.

DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) internet sayfası, <http://www.dsi.gov.tr>

EEA (2005) European Environment Outlook. Report No:4/2005, European Environment Agency, Kopenhagen, Danimarka, 87 s.

FAO (1985) Ayers, R. S. ve Westcot, D.W., Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper No.29, Rev. 1. Food and Agricultural Organization. Roma, İtalya.

FAO (1989) Ayers, R.S. ve Westcot, D.W., Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29., Roma, İtalya.

FAO (1991) Pescod, M.B., Irrigation and Drainage Paper 47: Wastewater treatment and use in agriculture, 125 s.

Friedler, E. (2001) Water reuse – an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*, 3, 29-39.

Giorgi, F. ve Lionello, P. (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2), 90-104.

HRH The Prince of Orange (2002) No Water No Future: A Water Focus for Johannesburg; Contribution to the Panel of the UN Secretary General in preparation for the Johannesburg Summit, http://www.un.org/jsummit/html/documents/nowater_nofuture_eng.pdf

IPCC (2002) IPCC technical paper V - climate change and biodiversity 2002.

IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-32.

Kalavrouziotis, I.K., Kanatas, P.I., Papadopoulos, A.H., Bladenopoulou, S., Koukoulakis, P. H., Leotsinides, M.N. (2005) Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro and microelement status of soil and plants. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(11), 1050-1057.

Kalavrouziotis, I.K., ve Arslan-Alaton, I. (2008) Reuse of urban wastewater and sewage sludge in the Mediterranean countries: case studies from Greece and Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(6), 625.

Kalavrouziotis, I.K., Robolas, P., Koukoulakis, P.H., Papadopoulos, A.H. (2008) Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro-and micro-elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. *Italica*, and *B. oleracea* var. *Gemmifera*. *Agricultural Water Management*, 95(4), 419-426.

Kalavrouziotis, I.K., Arambatzis, C., Kalfountzos, D., Varnavas, S.P. (2011) Wastewater reuse planning in agriculture: the case of Aitolokarnania, Western Greece. *Water*, 3(4), 988-1004.

Kaplan, A. (2010) Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Çevre ve Orman Uzmanlık Tezi, Ankara, 125 s.

Karataş, B.S., Akkuzu, E., Aşık, Ş. (2005) İzmir Kentsel Arıtılmış Atık Sularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3), 111-122.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete.

Keremane, G.B. ve McKay, J. (2007) Successful wastewater reuse scheme and sustainable development: a case study in Adelaide. *Water and Environment Journal*, 21(2), 83-91.

Kretschmer, N., Ribbe, L., Gaese, H. (2006) Wastewater reuse for agriculture. *Technology Ressource Management & Development - Scientific Contributions for Sustainable Development*, 2, 37-64.

Kukul, Y.S., Ünal Çalışkan, A.D. , Anaç, S. (2007) Arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması ve insan sağlığı yönünden riskler. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44 (3), 101-116.

Küçükhemek, M., (2010) Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Pilot Ölçekte Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı Projesi, KOSKİ Genel Müdürlüğü.

Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M., Brissaud, F. (2001) Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, 43(10), 25-33.

Lopez, A., Pollice, A., Lonigro, A., Masi, S., Palese, A.M., Cirelli, G.L., Toscano, A., Passino, R. (2006) Agricultural wastewater reuse in southern Italy. *Desalination*, 187, 323-334.

Lopez, A. ve Vurro, M. (2008) Planning agricultural wastewater reuse in southern Italy: The case of Apulia Region. *Desalination*, 218, 164-169.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, D.Lgs n.152/99: Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Gazzetta Ufficiale N.172/L, 20 Ottobre 2000.

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, D.Lgs n. 185/03: Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell’articolo 26, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n.152. Gazzetta Ufficiale N. 169, 23 Luglio 2003.

ORSAM (Ortadoğu Stratejik Araştırmalar Merkezi) internet sayfası, <http://www.orsam.org.tr>

OSİB (Orman ve Su İşleri Bakanlığı) internet sayfası, <http://www.ormansu.gov.tr/osb/HaberDuyuru/guncelHaber/14-01-27/At%C4%B1ksular%20At%C4%B1k%20Olmaktan%20%C3%87%C4%B1k%C4%B1yor.aspx?sflang=tr>

Özbay, İ. ve Kavaklı, M. (2008) Türkiye’de ve diğer ülkelerde arıtılmışatıksuların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, Kocaeli, 14-17 Mayıs 2008.

Öztürk, K. (2002) Küresel iklim değişikliği ve Türkiye’ye olası etkileri. *GÜ Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 47-65.

Pedrero, F. ve Alarcón, J.J. (2009) Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. *Desalination*, 246(1), 631-639.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T. (2010) Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture – review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, 97, 1233-1241.

Polat, A. (2013) Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için arıtılan atıksuların yeniden kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 58-62.

Royal Decree-Law 11/95 of National Sewerage and Water Treatment Plan (1995) Official Bulletin of State, BOE.

Royal Decree-Law 10/2001 of Hydrologic National Plan (2001) Official Bulletin of State, BOE.

Royal Decree-Law 1620/2007 of Purified Water Reuse (2007) Official Bulletin of State, BOE.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 07.01.1991 tarihli ve 20748 sayılı Resmi Gazete.

State of California, USA. (1978) Wastewater reclamation criteria. California Code of Regulations, Title 22.

Toze, S. (2004) Reuse of effluent water – benefits and risks. New directions for a diverse planet. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Avustralya, 26 Eylül-1 Ekim 2004.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) internet sayfası, <http://www.tuik.gov.tr>

UN, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013) World population prospects: the 2012 revision, highlights and advance tables, working paper No.ESA/P/WP.228, New York, USA.

US EPA (2004) Guidelines for Water Reuse, US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

US EPA (2012) Guidelines for Water Reuse, US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) internet sayfası, <http://unfccc.int>

USGS (U.S. Geological Survey) internet sayfası, <http://water.usgs.gov/edu/graphics/earth-water-distribution.png>

WHO (1973) Reuse of effluents: methods of wastewater treatments and health safeguards. Technical Report Series 517, World Health Organization, Cenevre, İsviçre.

WHO (1989) Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 74, World Health Organization, Cenevre, Switzerland.

WHO (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: wastewater use in agriculture, Fransa, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ece SARAOĞLU
Doğum Tarihi / Yeri : 30.03.1984 / Ankara
Unvanı : Uzman Yardımcısı
Yabancı Dil : İngilizce / ileri seviye
Çalıştığı Birim : Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı
Kentsel Atıksu Kirliliğini Önleme ve Kontrolü Şube Md.

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Biyoloji Bölümü

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : Ehlibeyt Mah. Ceyhun Atıf Kansu Cad. 1271 Sok. No:13
06520 Balgat/ANKARA
Telefon : 0312 586 32 07
E-posta : ece.saraoglu@csb.gov.tr