

Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması

Özlem Demir, Müjgan Yıldız, Ümit Sercan, Cemile Şeyma Arzum

Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Geliş Tarihi: 10.03.2017

Kabul Tarihi: 22.06.2017

Özet

Kullanılan su miktarı, nüfusun artması ve sanayinin gelişmesi ile birlikte giderek artmaktadır. Su kıtlığı, 21. yüzyılın en büyük sorunlarından biridir ve önümüzdeki yıllarda kaynakların, arıtım ve iklim değişikliği olaylarının düzensiz dağılımı nedeniyle en hassas çevre konularından biri olacağı tahmin edilmektedir. Dünya'daki su kaynaklarının azlığı atıksuların ıslahı ve yeniden kullanılmasını gündeme getirmektedir. Hem su kıtlığı hem de su kalitesinin bozulması açısından artan su baskısı, geri kazanılmış suyun yeni bir su kaynağı olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Çevresel ve ekonomik faydalar ve ıslah teknolojileri atık suların yeniden kullanılması için fırsat sunmaktadır. Atıksu geri kazanımı ile kentsel, endüstriyel, tarımsal ve sanayide kullanılan su miktarını karşılamak mümkündür. Geri kazanılmış sular, su kullanılabilirliği veya artan tüketim sorunları olan bölgeler için alternatif bir tatlı su kaynağı olarak düşünülmektedir. Dünya'da ve Türkiye'de atıksuların geri kazanımı ve kullanımı hakkında tasarımlar geliştirilmektedir. Büyük miktarda atık su deşarjı ve atıksuyun geri kazanımındaki eksiklikler, atıksuyun yeniden kullanılması konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu fakat bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu çalışma kapsamında, atıksuların geri kazanım teknikleri ve yeniden kullanım alanlarından söz edilerek, atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması ülkesel ve küresel ölçekte değerlendirilecektir.

Anahtar kelimeler: Atıksu, geri kazanım, atıksuların yeniden kullanımı, atıksu yönetimi

Wastewater Reclamation and Reuse

Abstract

The amount of water used increases steadily with population growth and the development of the industry. Water scarcity is one of the biggest problems of the 21st century and is predicted to be one of the most sensitive environmental issues in the coming years due to the irregular distribution of resources, treatment and climate change events. The lack of water resources in the world brings about the reclamation and reuse of wastewaters. Increasing water pressure, both in terms of water scarcity and water quality deterioration, makes reclaimed water a new source of water. Environmental and economic benefits and reclamation technologies offer opportunities for reuse of wastewater. With the recovery of wastewater it is possible to meet the amount of water used for urban, industrial, agricultural and industrial use. Reclaimed water is considered an alternative freshwater resource for areas with water availability or increased consumption problems. Designs are being developed for the recovery and use of wastewater in the world and in Turkey. Large deficiencies in wastewater discharge and reclamation of wastewater indicate a great potential for reuse of wastewater, but show that there is a need for further work in this regard. Within the scope of this study, wastewater reclamation and reuse will be evaluated at the national and global scale by referring to the recovery techniques and reuse areas of wastewater.

Keywords: Wastewater, reclamation, wastewater reuse, wastewater management

1. Giriş

Son yıllarda endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük hız kazanmasıyla, mevcut su kaynakları hızla tükenmekte ve kirlenmektedir. Bu durum, su ve yiyecek sağlama ihtiyaçlarının artışı da beraberinde getirmekte ve su kıtlığına neden olmaktadır [1].

Su kıtlığı, 21. yüzyılda pek çok toplumun karşılaştığı başlıca sorunlardan biridir ve önümüzdeki on yıl

içinde en hassas çevre konularından biri haline gelecektir. Dünyanın dört bir köşesi, ABD'nin güney eyaletleri, güney Avrupa, Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Avustralya zaten bu sorunla karşı karşıyadır. Avrupa nüfusunun en az % 11'ini ve Avrupa Birliği'nin (AB) topraklarının % 17'sini etkileyen giderek endişe verici bir fenomen olmaktadır [2].

Çevrenin korunmasına yönelik yasal düzenlemeler ve işletmelerde su ihtiyacının giderek artmasından

dolayı teknolojilerin iyileştirilmesi ve işletme içi madde döngüleri öne çıkmakta, atık su oluşumunun en aza indirilmesi, değerli maddelerin kazanılması ve suların tekrar kullanımı giderek önem kazanmaktadır [1]. Atık su ıslahı, su sıkıntısı problemi için önerilen çözümlerden biridir, çünkü bu yöntemle doğal döngüden yeni tatlı su kullanmaktan kaçınarak antropik döngü içinde suyu geri kazanır [2]. Atıksuların yeniden kullanılmasıyla mevcut su kaynakları korunmakta ve su ihtiyacını karşılamak için yeni bir kaynak ortaya çıkmaktadır. Geri kazanılan su, su teminini kolaylaştıran, temiz su kaynaklarından bağımsız bir kaynak olarak görülebilir [1] Dünya Sağlık Örgütü, küresel atık suyun yeniden kullanılmasına yönelik temel itici güçleri şunları artışıyla yakından ilişkili olarak tespit etmiştir: a) su kıtlığı ve stres, b) nüfus ve bunlarla bağlantılı gıda güvenliği konuları, c) uygun olmayan atık su bertarafından kaynaklanan çevre kirliliği, d) atık su ve gri suların kaynak değerinin tanınması [2].

Avrupa'da, arıtılmış atık suyun ıslahına ilişkin yasal düzenlemeler bulunmamaktadır. Birçok ülke suyun yeniden kullanımı uygulamaları için ulusal ya da bölgesel talimatlar veya kılavuz ilkeler uygulamaktadır. Özellikle suyun yeniden kullanımı için standartlar geliştiren ülkeler arasında Kıbrıs, Fransa, Yunanistan, İspanya, İtalya ve Portekiz sayılabilir [2]. Atık suların arıtılıp yeniden kullanılması ve kullanım alanlarına yönelik çalışmalarda, Avrupa Birliği Direktifleri, Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Çevre Koruma Ajansları tarafından yayınlanan, atık suların yeniden kullanımı, arıtımı, kullanım alanları, potansiyelleri, riskleri ve önlemleri gibi konularını kapsayan kılavuzlar yol göstermektedir [1].

Atıksuların geri kazanılmasındaki teknoloji seviyesi, geri kazanılacak suyun kullanma amaçları ile doğru orantılıdır. Eđer, tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise biyolojik arıtma çıkışının iyi bir şekilde dezenfeksiyonu yeterli olabilir. Doğrudan veya dolaylı bir geri kazanım söz konusu olacak ise daha ileri arıtma alternatifler (membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon yöntemleri vb.) kullanılmalıdır [3]. Atıksu geri kazanım yöntemleri arasında tarımda sulama maksatlı, yeşil alanların sulamasında, endüstriyel geri kazanım, yeraltına enjeksiyon, dinlenme

maksatlı kullanılan bölgelerde (göller vb.) geri kazanım, direkt olmayan (yangın suyu, tuvaletlerde vb.) geri kazanım ve direkt (içme suyu olarak) geri kazanım sayılabilir [4].

Türkiye'de de söz edilen nedenlerden dolayı, suya olan talep artmış, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı ve korunması büyük önem kazanmıştır. Türkiye yakın bir dönem içinde, su sorunu yaşamaya aday bir ülke olarak değerlendirilebilir. Böyle bir durumun başlıca sebebi ise; Türkiye'nin sahip olduğu topoğrafyasındaki düzensizliklerden dolayı su kaynaklarının kontrol edilemeyeşidir. Yeraltı suyunun payı ise %16.9'dan %15.5'e düşmüştür. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.000 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir. Türkiye'de, sanayi tesislerinden çıkan atıksuların tekrar kullanılması daha çok atıksuların geri kazanılarak tesis içinde geri devrettirilmesi şeklinde uygulanmaktadır [4]. Ülkemizde, su temini ve atıksu arıtma ihtiyacının belirlenmesi, atıksuyun yeniden kullanılmasının su teminine yararlarının vurgulanması, geri kazanılmış atıksuyun pazarlanması, mühendislik açısından ekonomik olarak alternatiflerin değerlendirilmesi ve maliyet analizi, atıksuyun geri kazanılması ve yeniden kullanılmasına yönelik tesislerin planlanmasında takip edilecek adımlar konusunda henüz yeterli seviyeye gelinmemiş olup, eksiklikler söz konusudur. Bu çalışmada, atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasının gerekliliği yeniden vurgulanarak, geri kazanım teknikleri ve yeniden kullanım alanlarına yer verilmiş, Türkiye ve Dünya'da, bu konudaki mevcut durum değerlendirilmiştir.

2. Dünya'da ve Türkiye'de Su

2.1. Dünya'daki Su Dağılımı

Dünya'daki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km³tür (1 km³ = 1 milyar m³). Bu suyun %97,5'i denizlerdeki ve okyanuslardaki tuzlu sulardan ibarettir. Geriye kalan sadece % 2,5'lük kısım tatlı suları teşkil etmekte olup bunun çok az bir kısmının çeşitli maksatlar için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir [5]. Dünya'daki toplam su miktarlarının yüzdesini gösteren Tablo 1.'de gösterilmektedir.

Kullanılabilen suyun dünyadaki dağılımı dengeli olmadığı için su fakiri ülkeler ve su zengini ülkeler olarak bir sınıflandırma yapılmaktadır [5]. Su kaynaklarının yeryüzündeki dağılımı Tablo 2’de gösterilmiştir.

2025 yılında tahmini su sıkıntısı çekebilecek ülkeler arasında Kuzey Afrika, orta doğu ülkeleri, Pakistan, Hindistan ve Kuzey Çin öngörülmektedir. Su kıtlığının

sebebi olacağı sorunlar ise yiyecek kıtlığı krizi, ekonomik gelişimin kısıtlanması, bölgesel su çatışmaları, çevresel bozunma olarak öne sürülebilir [6].

Tablo 1. Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi [5]

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

Tablo 2: Su kaynaklarının yeryüzünde dağılımı [6]

Kıtalar	Nüfus % olarak	Su kaynağı % olarak
Kuzey Amerika	8	15
Güney Amerika	6	26
Avrupa	13	8
Afrika	13	11
Asya	60	36
Avustralya ve Adalar	1	5

Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı (UNESCO) tarafından Paris’te açıklanan Dünya Su Gelişme Raporu’na göre en kaliteli suyun Finlandiya’da olduğunu bildirilmiştir. Tatlı su kaynakları ve özellikle yeraltı sularının miktarı ve temizliği, atık suyun nasıl arıtıldığına dair kriterleri değerlendirerek oluşturulan listede 2.sırada Kanada, 3. sırada Yeni Zelanda yer alırken Türkiye, listenin 45. sırasında bulunmaktadır. Almanya ise 57. sırada Türkiye’nin yanı sıra Ekvator, Venezüella, Hırvatistan ve Bulgaristan gibi ülkelerin gerisindedir. Listenin son ülkesi 122. sırada Belçika’daki suyun niteliğinin ve niceliğinin yetersiz olduğu belirtilen raporda, ülkedeki yoğun sanayi atıklarına ve atık suların arıtılmasının kötü oluşuna dikkat çekilmiştir [6].

1990 ve 2000’li yıllardan sonra su tüketiminin diğer yıllara oranla daha az arttığı gözlenmiştir. Bunun nedenleri arasında endüstrilerde yeni teknolojik sistemlerin kullanılması, tarımda yeni teknolojilerin

benimsenmesi, su kaynaklarını korunması, yeniden kullanım ve çevre bilincinin artırılması sayılabilir[6].

2.2. Türkiye’deki Su Potansiyeli

Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarına göre ülkeler su fakiri, su azlığı çeken ve su zengini ülkeler olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1000 m³’ten az ülkeler su fakiri; 1000-2000 m³ arasında olan ülkeler su azlığı çeken ve 2000 m³’ten fazla ülkeler ise su zengini olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’de tüketilebilir yerüstü ve yer altı su potansiyeli yılda ortalama olarak 112 milyar m³’tür ve yıllık ortalama yağış DSİ verilerine göre 643 mm/m²’dir. Nüfuzumuz 75 milyon kabul edilirse kişi başına 1500 m³/yıl su düşmektedir. Buradan da görülebileceği gibi ülkemiz su zengini bir ülke olmamakla birlikte su fakiri bir ülke de değildir. Ancak su kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmemesi halinde su sıkıntılılarıyla karşı

karşıya kalmamız kaçınılmaz bir sonuca sürükleyecektir. 2030 yılında nüfusu 80 milyona ulaşacak olan Türkiye, kişi başına düşen 1100 m³ kullanılabilir su miktarıyla, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir [5].

3. Atıksuların Geri Kazanım Teknikleri

Geri kazanılmış su, suyun tekrar kullanımı için uygun kalitede olduğu kabul edilen, işlenmiş bir atık sudur. Atık suyun tekrar kullanımı, atıksuyun arıtma verimliliğini artırır ve daha sonra doğal ortamlara kirletici emisyonun azaltır [7]. Atıksuların arıtılması ve geri kazanılmasındaki amaç var olan su kaynaklarını korunumu ve temiz su kaynakları üzerine düşen yükün azaltılmasıdır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılmasında atıksuyun belli standartlara getirilmesi ve belli parametrelerin göz önünde tutulması gerekmektedir [8]. Atık suyun yeniden kullanımı teorik olarak, uygun koşullar sağlanması durumunda her zaman mümkündür. Bu da, şüphesiz ekonomik imkanlara bağlıdır. Arıtılmış atık suyun kalitesi ile suyun geri kullanım amacına göre istenen su özellikleri birbiriyle uyumlu olmalıdır. Arıtılmış atık suyun geri kullanımı için seçilecek teknoloji; arıtılmış atık suyun özellikleri, geri kullanım amaçları için kalite kriterleri, güvenilirlik, işletme kolaylığı ve ekonomik imkan konuları göz önüne alınarak belirlenmelidir [8]. Birçok Akdeniz ülkesinin kentsel alanları hızla artmaktadır. Bu yüzden, sürdürülebilir nitelikte olan ve topluluğun sanitasyon ihtiyaçlarıyla uyum ve büyüme yeteneğine sahip ekolojik sağlık sistemleri uygulanmalıdır. Uygun artım sisteminin ne olduğuna karar vermek için, bölgenin iklimini, topoğrafyasını ve sosyo-ekonomik faktörleri dikkate alınmalıdır. Bu alanda, mevcut atık su arıtma yöntemlerini iyileştirmek veya optimize etmek için araştırmalara büyük ihtiyaç duyulmaktadır [9].

Bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak geri kazanılmasında su kalitesi açısından kullanılacak en önemli patojen mikroorganizma, indikatörler, koliform konsantrasyonudur. Tablo 3'de atıksu geri kazanımında uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler verilmiştir. Atıksular tarımsal sulamada yeniden kullanılırken, dikkat edilmesi gereken kriterler vardır. Bunlar, sulanacak bitkide meydana gelebilecek birikme, patojen mikroorganizmaların halen yaşama riski ve kimyasal

maddelerin birikmesi durumudur. Yeşil alanların sulanması durumunda ise halkın bu bölgeye girmesi, eser elementlerin birikmesi gibi riskler vardır. Geri kullanım durumunda, bu riskler göz önüne alınır [10].

Atık suyun tekrar kullanılmasının başarılı bir şekilde geliştirilmesi, atık su ıslah teknolojisinin gelişimine bağlı olan arıtılmış atıksuyun kalitesi ile yakından ilişkilidir. Atık suyun tekrar kullanılmasında günümüzde kullanılan teknolojiler, sodyum hipoklorit, ultraviyole (UV) radyasyon ve O₃ gibi oksidanlar, anaerobik, olgunlaşma havuzları ve inşa edilen sulak alanlar gibi biyolojik işlemler, orta filtrasyon ve membran filtreleme gibi fiziksel ayrımlar ve elektrokimyasal işlemlerdir. Geri kazanılan suyun en zararlı kirleticileri tuzluluk, patojenler, ağır metaller ve ortaya çıkan kirleticileri kapsar. Ters ozmoz (RO), tuzdan arındırmanın mükemmel bir sonucudur ve en sık uygulanan tuzdan arındırma teknolojisidir. Oron ve ark. (2008), başlangıçta elektriksel iletkenliği 2020 µS/cm olan atıksuyu % 81; 280 mg/L olan Na⁺ konsantrasyonunu %83 ve 48 mg/L'lik başlangıç Cl konsantrasyonunu ise %80 oranında ters ozmoz ile giderebilmişlerdir. Ters ozmoz, sodyum iyonlarını ve iki değerlikli katyonları giderebilir ve bu nedenle, sodyum adsorbsiyon oranının (SAR) düşüşünde çok etkilidir [11]. Chang ve ark., (2005), ters ozmoz kullanımı ile 1.8 başlangıç SAR'ında % 61'lik bir SAR giderim gerçekleştiğini tespit etmiştir. Dezenfeksiyon için, yani patojenlerin giderilmesi için, önerilen teknoloji ultraviyole arıtmadır. Araştırmacılar, atıkların patojen içeriğinin ultraviyole arıtmadan sonra ilgili standartlara ulaşabileceğini bulmuştur. Olgunlaşma havuzları, patojen gidermede mükemmel bir kabiliyete sahiptir. 4 log birimi Escherichia coli, 1 log birimi Streptococcus ve helmint yumurtalarının % 100'ü bir dizi anaerobik, fakültatif ve olgunlaşma havuzlarında arıtmadan sonra giderilmiştir [12]. Buna ek olarak, Yim ve ark. (2007), bir ultrafiltrasyon membranı işlemi ile virüslerin tamamen azaltılmasının mümkün olduğunu bulmuşlardır [13]. Ağır metallerin uzaklaştırma teknolojileri kimyasal çöktürme, biyosorpsiyon, membran filtrasyon ve elektrokimyasal işlemler vb. dir. Hyun ve Lee'nin (2009) sonuçları bir dizi anaerobik-oksik-anoksik biyofilm filtrasyon (AOBF) ve membrandan sonra optimal çalışma koşulları altında Fe, Mn, Cu, Cr ve

Pb gibi ağır metaller için % 95'lik bir giderme verimi elde edildiğini göstermiştir. Filtrasyon işlemleri ve tüm ağır metallerin nihai konsantrasyonları, tarımsal sulama için uygun olduğu ortaya koymuştur. Atık suyun yeniden kullanılması için tarımsal sulama için granüle ferrik hidroksit adsorbe edici, filtre ve UV lamba içeren alan işleme sistemi (FTS) de uygundur ve araştırma sonuçları, As'ın% 76'sını, Cd ve Cu'nin% 80'ini, % 88 Cr ve Pb ve % 97'ye kadar Zn giderebildiğini göstermiştir [14]. Nakada ve ark.

(2007), kum filtrasyonu ve ozonlama ile kanalizasyon arıtma tesisinin ikincil atık suyunda 24 ilaç ve kişisel bakım ürünleri ile endokrin bozucu kimyasalların uzaklaştırılmasını incelemiş ve çoğu kirleticinin giderilmesinin % 80'den fazla olduğunu bulmuştur [15]. Huber ve ark. (2003) kentsel atık su arıtma tesisinin atık suyunda 0,5-5 µg/L olan antibiyotiklerin ve östrojenlerin ozondan sonra % 90-99 oranında uzaklaştırıldığını tespit etmişlerdir [16].

Tablo 3. Atıksu geri kazanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler [10]

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

Bernabeu ve ark. (2011) TiO₂ ile güneş fotokatalizasyonu sonrasında ortaya çıkan kirleticilerin konsantrasyonlarının tespit sınırının altında olduğunu bulmuşlardır. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak, atık su, en zorlu kalite gerekliliklerini karşılamak ve arzulanan herhangi bir amaç için, hatta içme suyu tedarikini de içerecek şekilde kullanılabilir. Geri kazanılmış suyun potansiyel kullanımları gerçekten sınırsızdır. Bununla birlikte, konvansiyonel arıtmalara tabi tutulmuş atık su tarımsal önemi olan ya da halk sağlığı açısından önem taşıyan ve potansiyel yeniden kullanımları etkileyen bazı safsızlıklar içerebilir [17].

4. Atıksuların Yeniden Kullanım Alanları

Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde, kurak bölgelerde ve kaliteli suyun kısıtlı olduğu durumlarda atıksu önemli bir su kaynağı olabilir. Ortada olan bu durum su kaynaklarına yardımcı olmak için yeni uygulama ve yöntemlerin önemini

vurgulamaktadır. Bu uygulamaların başında, atıksuların arıtılıp yeniden kullanılması gelmektedir [1]. Yeniden kullanım kelimesi incelendiğinde, benzer anlam taşıyan kelimeler İngilizce'de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; iyileştirmek, arıtmak ve yeniden kullanılabilir hale getirmektir. Kullanılmış suların belli amaçlarla, kullanım amacına uygun seviyede arıtılıp kullanılmasına 'Yeniden Kullanım' denir [5]. Atıksuların geri kazanımının birçok faydası vardır. Bunlar:

- Sürdürülebilir bir su kaynağı olmaktadır ve gerekli kontrollerle güvenilir su kaynağıdır.
- Enerji tüketiminin azalmasına neden olur.
- Temiz su kaynaklarının az tüketilmesini sağlar.
- Yüzey sularının kalitesinin bozulmasını azaltmaktadır.
- Su temini maliyetlerinin azalmasını sağlar [1].

Sonuç olarak, çeşitli kullanım alanları için arıtılmış sular yeniden kullanılabilir. Tablo 4'te arıtılmış atıksuların kullanım alanları ve uygulamaları verilmiştir [5].

Tablo 4. Arıtılmış atıksuların kullanım alanları ve uygulamaları [5]

Yeniden Kullanım	Uygulamalar
Çevresel	Dere akımı düzenleme Bataklık ve sulak alanlar Rekreasyonel alanlar (parklar, göller) Balıkçılık ve su kültürü
Tarım ve Bahçe Sulama	Yem ve tohum mahsulleri Yenilebilir Mahsuller Temel besleme suyu Çim ve ormanlar Fidanlık
Yeraltı Suyu Reşarjı	İçilebilir akiferin reşarjı Tuzlu su girişi kontrolü
Kentsel	Yangından Korunma Tuvalet sifonu Sokak/Araba Yıkama Toz kontrolü İklimlendirme
Endüstriyel	Soğutma Kazan besleme İnşaat Baca gazı temizleme
İçme Amaçlı	Direkt İçme İndirekt İçme

4.1. Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım

Kentsel amaçlı kullanım içme suyu dışında çeşitli amaçları kapsamaktadır. Bu amaçlar;

- Park ve rekreasyon alanlarının, okul bahçeleri ve spor alanlarının, otoyol kenarlarının, oyun alanları, halka ait bina ve tesis çevrelerindeki yeşil alanların sulanması,
- Ofis, dükkan ve endüstri çevrelerindeki yeşil alanların sulanması,
- Golf sahalarının sulanması,
- Oto yıkama, yangın söndürme ve toz kontrolünde su temini,
- Şelale, çeşme ve havuz gibi dekoratif kullanımlarda su ihtiyacı,
- Endüstriyel ve ticari binaların tuvalet suyunda kullanımını içermektedir [5].

Arıtılmış atıksular; bataklık iyileştirme, gölleri besleme ve akarsu akımlarını arttırma gibi uygulamalar amacıyla da kullanılır [1]. Golf sahaları, balıkçılık ve yüzme gibi amaçlarla atıksular yeniden kullanılacaksa ilave bir arıtma gereksinimi duyulmaktadır. Banyo ve yüzme amaçlı kullanılan arıtılmış atıksular dezenfeksiyon gibi aşamalardan geçer. İnsan sağlığının korunması ve dermatolojik etkiler de dikkate alınmalıdır. Kalite gereksinimleri Avrupa Banyo Suyu Kalite Direktifi 76/160/EEC ile belirlenmiştir [8].

Chang ve ark (2012) yaptığı çalışmaya göre, Beijing, Çin'de, kentsel su, genelde kentsel peyzaj ve yol süpürme gibi kamu hizmetleri için toplam 4.2×10^8 m³/yıl olarak kullanılmıştır. Buna karşılık 2010 yılında

kamu hizmetleri için 1.46×10^7 m³ geri su kullanılmış ve belediye genel su tüketiminin% 3,5'ini gerçekleştirmiştir [18].

4.2. Endüstriyel Amaçlı Yeniden Kullanım

Geri kazanılmış suların endüstride kullanılması, gelişmiş ülkelerde çok yaygındır. Birçok endüstri, içme suyu niteliğindeki suya ihtiyaç duymadığından geri kazanılmış su idealdir. Endüstriyel atıksuyun tesis içinde geri çevrimi, genellikle prosesin bir parçası şeklinde uygulanmaktadır [1]. Endüstride geri kazanılmış su, soğutma kuleleri, kül sulama, radyoaktif atıkların seyreltilmesi, baca gazı yıkama, petrol rafineleri, metal fabrikaları ve kazanlar gibi proseslerde kullanılabilir. Soğutma suları, tek başına en büyük endüstriyel su ihtiyacı oluşturur ve pek çok endüstri için geri kazanılmış suyun en yaygın kullanım yöntemidir [5]. Ancak soğutma suyu olarak geri kazanılmış atıksuların kullanılması halinde; korozyon, çökelek ve mikrobiyal büyüme konularına dikkat edilmelidir. Tüm kazanlarda içme suyu ve arıtılmış atıksu ile çalışmalarda sertliğin sifıra yakın olması istenir. Kazanlarda; kalsiyum, alüminyum; magnezyum ve silisyum çökelek oluşturduğu için arıtılması istenir [8].

Pekin'in geri kazanılmış atık su dağıtım sistemleri kapsamındaki ısı güç santralleri, belediye tarafından temiz su yerine yenilenmiş atık su kullanımını zorunlu kılmaktadır 2010'da merkezi şehirdeki 9 ısı enerjisi tesisi, geri kazanılan atık suyu soğutma suyu sistemlerine entegre etmiştir. Soğutma suyu olarak potansiyel tüm sanayi kullanıcıları tarafından kabul edilen geri kazanılmış atıksu ile endüstriyel üretim

için geri kazanılan atık su miktarı,% 27.45 artarak $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olacaktır [18].

Hindistan'da sıkılaştırılan normlar süt endüstrilerini etkin atık su arıtma proseslerine ve sıfır deşarj arıtma ünitesine zorlamaktadır. Bununla birlikte, atık suları azaltmak ve su islahı ve sürdürülebilirliği teşvik etmek için mevcut standart bir protokol bulunmamaktadır. Bu sorunu çözmek için, Hindistan'ın en büyük süt endüstrisi yeniden kullanım için bir çerçeve geliştirilmiştir. Bu çalışmada, atık suların kaynakları tespit edilmiş ve su islahı ve yeniden kullanımı için benzersiz bir plan önerilmiştir. Sonuçlar, günde ortalama % 5'den fazla su geri kazanılabileceğini göstermektedir. Atıksu arıtma tesisinin simülasyonu, islahaya yardımcı olabilecek su kalitesini artırmak için öneriler sunmak için gerçekleştirilmiş ve bu simülasyonlara dayanan değişiklikler, biyogaz üretiminde %10'luk bir artışa neden olabilecektir [19].

4.3. Çevre ve Rekreasyon Amaçlı Yeniden Kullanım

Çevresel amaçlı atıksuların yeniden kullanımı, sulak alanların restorasyon amaçlı kullanımının artırılmasını içerir [5]. Rekreasyon amaçlı yeniden kullanım alanları ise; golf sahalarının sulanması, yüzme alanları, balık üretim havuzları, gölet ve havuzlardır. Ancak geri kazanılmış suların çevre ve rekreasyon amaçlı kullanımında; bakteri ve virüse bağlı sağlık etkileri, ötrofikasyon, koku ve estetik etkilere dikkat edilmelidir [8].

Candela ve ark. (2007) yaptığı çalışmada, golf sahası sulamasında arıtılmış atık su kullanılmıştır. Altındaki toprak ve akiferin bu tür su kullanımından etkilenip etkilenmediğini değerlendirmek için, atıksu arıtma tesisinde, stabilizasyon lagünü, yeraltı suyu ve toprak profillerinden birkaç aylık bir süre boyunca numuneler alınmıştır. Toplam koliform ve aerobik bakteri, toprak su basıncı ve toprak suyu içeriği ile vadoz zonunun sulama suyu, akifer ve suyunun kimyasal analizleri yapılmıştır. Çalışma sırasında birkaç kez alınan toprak profilleri, yaz aylarında kısa bir süre dışında koliformların olmadığını göstermektedir. Vadoz zonunda akiferdeki Cl^- konsantrasyonu sulamaya başladıktan on ay sonra 1200 mg/L 'ye kadar yükselirken üst 60 cm toprakta 1000 mg/kg 'dan fazla NaO_2 artışı gözlenmiştir [20].

4.4. Yeraltı Suyu Beslemesi Amaçlı Yeniden Kullanımı

Kentsel atıksu arıtma tesislerinden yüksek oranda atık su kullanarak yönetilen akifer şarjı dolaylı içme suyu suyunun yeniden kullanılması için umut verici bir strateji olarak kabul edilmiştir [21]. Arıtılmış atıksular yer altı suyunu beslemek amacıyla kullanılabilir [5]. Gelişmiş bazı ülkelerde (ABD, Hollanda, Almanya gibi), arıtılmış atıksular zemine sızdırılarak toprağın da arıtma kapasitesinden yararlanmak istenmektedir. Geri kazanılan kentsel atık suyuyla yeraltı suyu şarjı, bir projeye başlamadan önce dikkatle değerlendirilmesi gereken geniş bir teknik ve sağlık zorluklar yelpazesi sunmaktadır. Günümüzde, sağlık riski ile ilgili bazı belirsizlikler nedeniyle, geri kazanılmış atık suyun yeraltı suları için geniş bir kullanım alanı bulması sınırlıdır. Ülkemizde arıtılmış suların yeraltı suyu beslemesinde çok dikkatli olunmalıdır. Çünkü yeraltı suları içme ve kullanma suyu olarak sıklıkla kullanılmaktadır [8]. Beslenen yeraltı suyunun içme suyu kalitesinde olmasına dikkat edilmelidir. Kaliforniya Eyaleti Yeraltı Suyu Geri Kazanma Kriterleri temkinli bir yaklaşımın bir örneği olarak ele alınmaktadır. Buna ek olarak, Dünya Sağlık Örgütü'nün İçme Suyu Kalitesi için Kılavuz İlkelerinin geliştirilmesinde kullanılan metodolojinin bir özeti, yeraltı suyu şarjına uygulanabilecek kirleticiler için sayısal değerlerin nasıl oluşturulduğunu göstermektedir [22]. Arıtılmış atıksular yeraltı suyuna farklı yöntemlerle verilebilmektedir. Bunlar; yüzeysel püskürtme, kum filtrasyonu, nehre deşarj, doğrudan enjeksiyon ve toprak su arıtma sistemleridir [8].

Yuan ve ark., (2017) yaptığı çalışmada, yönetilen akifer şarjı (YAŞ) için atık su çıkışındaki kritik kirleticilerin tanımlanmasına yönelik çok kriterli bir yaklaşım geliştirilmiş ve güney Ontario, Kanada'da bulunan bir yerde kullanılarak uygulanmıştır. Bu yaklaşımın önemli bir özelliği, atık sularda oluşabilecek potansiyel ve beklenen sağlık veya çevresel etkilere dayanan her kirletici grubu için temsili bileşiklerin seçilmesidir. Sonuçlar, YAŞ için Şarj Edilen Su Kalitesi Hedeflerinin, mevcut suyun yeniden kullanımı, içme suyu ve çevresel su kalitesi düzenlemelerin/yönergelerine dayalı olarak tanımlayabileceğini göstermiştir [21].

4.5. İçme suyu Kaynaklarının Arttırılması Amaçlı Yeniden Kullanım

İçme sularının arttırılması amacıyla arıtılmış atıksular, yeraltı suyu ve yüzeysel sularla karıştırılır. Buna ilave bir arıtım yapılarak su dağıtım sistemlerine verilir. Arıtılmış atıksular direkt içme ve indirekt içme olarak yeniden kullanılabilir [5].

4.6. Tarımsal Amaçlı Yeniden Kullanım

Evsel atık su Bronz Çağı'ndan (M.Ö. 3200-1100) beri tarih öncesi uygarlıklar (örneğin Mezopotamya, İndus vadisi ve Minos) tarafından sulama amacıyla kullanılmıştır. Bundan sonra atıksu, Helen uygarlıkları tarafından, daha sonra Romalılar tarafından şehirleri çevreleyen alanlarda (örneğin, Atina ve Roma) sulama ve gübreleme amacıyla kullanılmıştır. Daha yakın tarihte, atık suyun tarım amaçlı kullanıldığı görülmektedir [23].

Tarımsal faaliyetler için atıksuların yeniden kullanılması su kaynakları yönetiminin bir başka yöntemini oluşturmaktadır [5]. UNESCO-WWAP (2003) 'e göre, dünyanın geri çekilen suyunun %70'inden fazlası tarımsal sulama için kullanılır. Bu nedenle, sulama suyunun sadece bir kısmını karşılaması gerçeğine rağmen, sulamada arıtılmış atıksuyun uygulanması için büyük bir potansiyel söz konusudur [24,25]. Tarımda arıtılmış atıksuların kullanımının pek çok avantajı vardır [5]. Öncelikle üretimin artmasına katkıda bulunur. Bunun nedeni arıtılmış atıksuların, bitkinin besin maddesi olan nütrientleri içmesidir. Arıtılmış atıksuların nütrient açısından zengin olması zirai amaçlı geri kullanımda artışa neden olmaktadır [8]. Sulamada geri kazanılmış su kullanıldığında, ağır metaller ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) gibi kirleticiler, toprak ve bitkiler tarafından alınma ve filtrasyon işlevleri nedeniyle giderilebilir. Sulama, toprak verimliliğini artırabilir ve geri kazanılmış su alan bitkilerin büyümesini teşvik edebilir. Ek olarak, ıslah edilmiş sudaki azot ve fosforun çoğu, bitkiler tarafından kolaylıkla kullanılabilen formlarda bulunur. Toprakta ilgili element içeriklerindeki değişiklikler nedeniyle, geri kazanılmış sulama ile topraktaki enzim faaliyetleri de iyileştirilebilir. İyileştirilmiş su, azot, fosfor ve potasyum gibi birçok besleyici içerdiğinden, geri kazanılmış su ile tarımsal sulama, gübre kullanımını azaltabilir ve bitkisel

üretim maliyetinden tasarruf edebilir. Örneğin, azot ve fosfor kullanımının, geri kazanılmış sulama ile Pekin'de sırasıyla 7140-8610 ton ve 1119-1590 ton/yıl azaltılabileceği tahmin edilmiştir. Geri kazanılan su, kentsel su kullanımı için araba yıkama ve yol temizleme gibi ekonomik bir su kaynağı sağlar [7]. Atıksuların tarımsal amaçlı kullanımına elverişli olan sektörler örnek; konserve, şeker, gübre, süt ürünleri, meşrubat ve kağıt endüstrisi verilebilir. Ancak solvent, yağ, ağır metal, petrol ürünleri ve toksik madde içeren atıksu üreten endüstrilerin atıksularının tarımda kullanılması önerilmemektedir [8].

Günümüzde, arıtılmış atık suyun tarımda kullanılması, genellikle çevresel veya insani riskler olmaksızın planlanmakta ve amaçlanmaktadır. Arıtılmış kentsel suların tarımsal kullanımında en önemli endişeler, insan ve çevre sağlığı yönleriyle, başka bir deyişle, üretilen gıdanın kalitesi ve güvenliği ile tarım işçilerinin sağlığı ilgilendiren konularla ilgilidir. Diğer endişeler, topraktaki tuzluluk ve su sızma oranı ile besin sızıntısının sebep olduğu ağır metal birikimi ve kirliliği içermektedir. Aslında, ikincil atıklar, tarım için belirli konsantrasyonlara kadar yararlı olan besinlerin yanı sıra, sürdürülebilir tarım, yer altı suyu kalitesi, toprak kalitesi ve insan sağlığını da tehlikeye atabilecek çözünmüş katırları, ağır metalleri, böcek öldürücüleri ve patojenleri içerir. Bu endişeler için mevcut çözümler, tarımsal üretime uygun atık su üretebilen ileri atık su arıtma tekniklerinde mevcuttur. Bununla birlikte, bu tekniklerin varlığı, tarımsal sulamada arıtılmış atığın doğru bir şekilde uygulanmasının garanti altına alınması için yeterli değildir. Bunun için sadece sulama suyu kalite standartlarını tanımlamakla kalmamakla birlikte, spesifik arıtım yöntemlerinin uygulanmasıyla bu standartların karşılanıp karşılanmadığını değerlendirmek de gereklidir. İlk bakış açısı ile, sulama suyu için birkaç yönerge bulunmaktadır. Ayers ve Westcot (1985) [26] tarafından bildirilen standartlar genellikle tuzluluk ve spesifik toksisite için dikkate alınmıştır; Bununla birlikte, bu standartlarda, Dünya Sağlık Örgütü, (2006) [27] Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı, US EPA (2004) [28] ve farklı ülkeler için tanımlanan yönetmelikler de dahil olmak üzere çeşitli yönergelere uyan patojenite göz önüne alınmaz.

İkinci hususla ilgili olarak, sulamada kullanılacak ikincil atık suların ileri arıtımı uygulaması, genellikle standartlara uyulması gereken raporlama yapılmaksızın yayınlanmaktadır [25]. Tarımsal sulama için kullanılan geri kazanılmış atık su, art arda azalan yeraltı suyun yerine geçmektedir. 2010 yılında, 400 km²lik ekili araziye Pekin'in güneydoğusundaki tarımsal amaçlı 3 × 108 m³ geri kazanılmış atık su kullanılmıştır [18]. Agrafioti ve ark., (2012)'nin yaptığı çalışmada, Yunan Girit adasında tarımsal sulama için arıtılmış kentsel atık suyun geri kazanılmasına ilişkin stratejik bir plan sunulmaktadır. Bitki türü olarak zeytin ağaçları, üzüm bağları ve marullar, çiğ yenmiş sebzelerin seçilmiştir. Suyun yeniden kullanım kriterleri, yukarıda bahsedilen bitkilerin sulamasına ilişkin kriterlerdir. Atık su bitki atıklarına ilişkin nitel ve nicel veriler, Girit'te işletilen 16 atık su arıtma tesisinden toplanmıştır. Toplanan verilerin analizi, atıksu arıtma tesislerinde, üçüncül arıtmanın yokluğundan dolayı bitkilerin sulamaya ilişkin kriterleri karşılamadığını göstermiştir. Bu çalışmada, yaz aylarında su geri kazanımını yaklaşık 19.16 Mm³suyu rezerve edebileceğini göstermiştir ki bu toplam sulama gereksinimlerinin % 4.3'üne karşılık gelmektedir [29].

5.TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA ATIKSULARIN GERİ KAZANILMASI VE YENİDEN KULLANILMASI

5.1. Dünya'da Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması

Avrupa su kaynakları yönünden zengin olsa da nihai 10 senelik süreçte su kıtlığı ve niteliğindeki bozulma gibi sorunların artmasıyla bu durum değişmiştir. Avrupa ülkelerinin yarısı halen su sıkıntısı ile yüz yüzedir [6]. Şekil 1'de su sıkıntılarına göre ülkeler sınıflandırılmıştır.

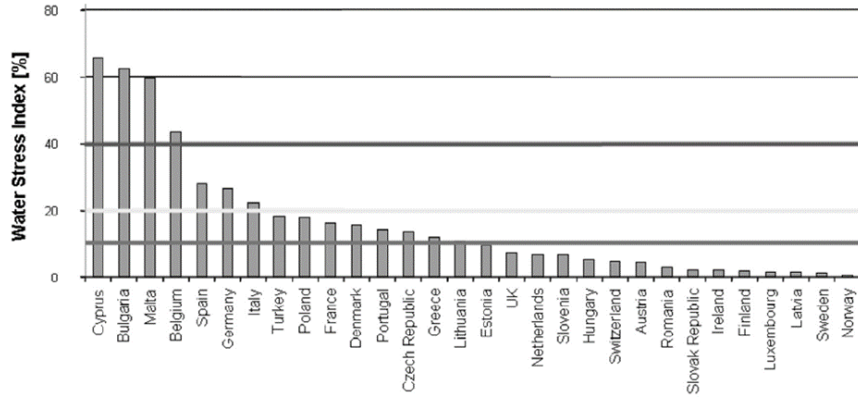
Su sıkıntısı indeksi, ülkenin toplam su tüketiminin toplam yenilenebilir tatlı su membarlarına oranıyla tespit edilmiştir. Buna nazaran % 10'dan düşük orana sahip olan ülkelerin su sıkıntısı riski azdır. % 20' yi aşkın ülkeler ise su azlığıyla karşı karşıyadır ve kapsamlı bir su idaresi uygulanmalıdır. Şekil 1.'de görüldüğü üzere, % 10 ile % 20 arasında olan Türkiye'de suyun kullanılabilirliği gelişmeleri sınırlamakta ve yeterli su kaynaklarının sağlanabilmesi için önemli kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Avrupa'da 200'ü aşkın su geri

kazanım tasarısı bulunmaktadır ve bu suların geri kazanım uygulamaları 4 grupta ele alınmaktadır. Bunlar akiferlere geri deşarj, tarımsal, kentsel, endüstriyel, rekreasyon alanları şeklindedir. Tasarılar büyüklüklerine göre 4 sınıfta incelenir.

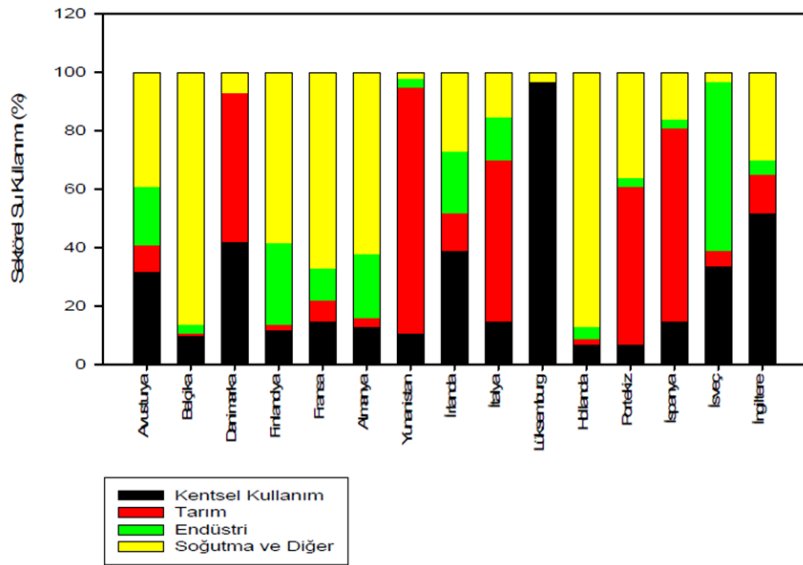
- Çok küçük ölçekli (< 0.1 GL/yıl)
- Küçük ölçekli (0.1-0.5 GL /yıl)
- Orta ölçekli (0.5-5 GL /yıl)
- Büyük ölçekli (> 5 GL/yıl)

Güney ve Kuzey Avrupa'da arıtılmış atıksular farklı kullanım alanına sahiptir. Güney Avrupa'daki tasarıların % 37'si kentsel ve çevresel uygulamalarda % 44'ü tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Kuzey Avrupa'da ise %33'ü endüstride % 5'i kentsel ve çevresel uygulamada kullanılır. Bunun yanı sıra Avrupa arıtılmış atıksuların yeraltı sularına geri devrini yaparak kıyı akiferlerin tuzlanmasını önlemiştir. Bu konu ile alakalı Barcelona ve Londra'nın kuzeyinde iki büyük tasarı gerçekleştirilmiştir [6].

Atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili yapılan tasarı çalışmaları Şekil 2'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Avrupa'da atıksuların geri kazanımı ve kentsel atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili araştırma tasarıları Avrupa Birliği komisyonunca desteklenmektedir. Avrupa Birliği yeni üyelerinden Kıbrıs 6 Mm³/yıl atıksu 20 arıtma tesisince üçüncül arıtmayla arıtılan sulamada kullanılmıştır. 12 adet ikincil arıtmayla ise sulama dışındaki diğer amaçlarda kullanılmıştır. Kuzey sahilindeki Larnaca ve Ayia Naa-Paralimmi ile Güney sahilindeki Limassol gibi turistik yerlerde atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır [6]. 1997 FAO (Food and Agriculture Organization) verilerine göre Orta Doğuda bulunan 29 üye ülkeden 16'sının yıllık yenilenebilir su kaynakları 500 m³'ten azdır ve su fakirliği yaşamaktadır. Bu ülkelerde tüketilen suyun % 4'ü endüstriyel, % 91'i tarımsal, % 5'i ise kentsel ihtiyaçlarda kullanılmaktadır. Çoğu Orta Doğu ülkesinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına olan ilginin artmasına karşı kanalizasyon deşarjlarının tarımda kullanılması çok eskilerde kalmıştır. 1950'de Kuveyt'te teknolojik olarak arıtılmış atıksular kullanılmaya başlanmıştır. 60-70'li senelerde ise diğer ülkelere yayılmıştır. Bunda üye ülkeleri destekleyen FAO'nun katkısı büyüktür [30].



Şekil 1 : Avrupa Ülkeleri İçin Su Sıkıntısı İndeksi [31]



Şekil 2 : Avrupa'da Sektörel Su Kullanımları [31]

Dünyadaki 130000 m³/gün akış kapasiteli en büyük stabilizasyon havuz sistemi Ürdün 'ün Amman şehrinde bulunmaktadır. Mısır İsmailia'da bulunan 80000 m³/gün akış kapasiteli stabilizasyon havuzu ile arıtılmış atıksular sulamada kullanılmıştır. Mekanik arıtmanın yanı sıra üçüncül arıtmayı da kullanan yerler Fas, Cezayir, Ürdün'dür [30].

Mısırdaki 1999 senesinde günlük deşarj miktarı 4.77 Mm³tür. Bunun 3.774'ü ikincil arıtma tesisinden geri kalanı ise birincil arıtma tesisinden gelmektedir. Tunus'ta senede 20 Mm³ arıtılmış atıksu ile 3000 hektar alan sulanmaktadır. 1998 senesinde Ürdün'de 71 Mm³ arıtılmış atıksu deşarjı yapılmıştır. Arıtılan bu atıksular, sulama suyunun %12'sini oluşturmaktadır. 15.7 Mm³ arıtılmış atıksuyla 15700 dönümü de sınırlı bir şekilde kullanılırken, 91100 dönümü ise yüzeysel sularla karıştırılıp Orta ve Güney Ürdün vadisinde kullanılmaktadır. En çok arıtılmış atıksuyu kullanan ülkeler Mısır, Suriye ve

Suudi Arabistan'dır. Arap ülkelerinde yeniden kullanım senede 1200 Mm³ tür [32].

İsrail ülkesi toplam evsel atıksu üretiminin % 65'inden çoğunu yeniden kullanmaktadır. Önümüzdeki on sene boyunca da % 90'dan çoğunu yeniden kullanıma kazandırmayı planlamaktadır. İsrail'de marjinal suları ve atıksuyu alan 200'den fazla açık rezervuar ve toplamda 120 Mm³ depolama kapasitesi bulunmaktadır. Senelik depolama tarımsal su ihtiyacı seneden seneye değişir. Bunun sebebi, yağmur olaylarının yoğunluğundaki yıllık farklılık, yıllık yağış miktarı ve yağış olaylarının dağılımıdır. Bu dağılım senelik depolama kapasitesi, atıksu kaynağının kullanımını küçültebilir. İsrail'deki en büyük atıksu arıtma ve yeniden kullanma sistemi büyük Tel Aviv olup mevsimlik ve çok yıllık depolama için bir akifere sahiptir. Geri kazanılan atıksu, entegre su kaynak yönetiminin bir parçası olarak birden fazla kullanılabilir. İsrail'de geri kazanılmış

atıksu bazı nehirlerle yukarı doğru boşaltılacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun nedeni kirlenmiş nehirleri kurtarmak içindir. Daha sonra ise tarım bitkilerinin sulanması, parkların sulanması ve diğer çeşitli kullanımlar için aşağı doğru nehrin kıyısı boyunca tasarlanacaktır [33].

Su kıtlığı, İran'daki sanayi bölgelerinin en kritik meselelerinden biridir. Bu nedenle, arıtılmış atık suyun geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, sanayi bölgelerindeki su sıkıntısını telafi etmek için en pratik çözümdür. Şu anda, arıtılmış atık suyun yalnızca % 20'si sulama için kullanılmaktadır ve % 0.81'i endüstriyel amaçlı olarak tüketilmektedir. Şimdiye kadar İran'da 689 sanayi bölgesi inşa edilmiş ve toplam üretilen atık suyun yaklaşık % 37'si atıksu arıtma tesisleri ile işlem görmüştür. Arıtılmış atık suyun yaklaşık % 20.25'inin sulama amaçlı olarak yeniden kullanıldığı bildirilmiştir. Eko-sanayi park hedeflerine ulaşılmasının gerekliliği, endüstrilerin aşırı yüksek su talebi ve su kaynaklarının olmaması nedeniyle, 2008 yılından beri ikincil arıtma arttırılmakta ve endüstriyel tüketim için yeniden kullanım uygulanmaktadır. BOI, KOİ, Toplam Askıda katı ve Toplam Çözünmüş Katılar, büyük kalite parametreleri olarak kabul edilmekte ve yüksek kalitede atık su sağlamaktadır. Bu amaca dayalı olarak kum filtresi, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon veya ters ozmoz gibi çeşitli membran kombinasyonu ve koagülasyon ve filtrasyon, DAF veya MBR gibi biyolojik sistemler seçilmiştir. Ayrıca, aktif karbon ve ozon, giderim verimliliğini artırmak için kullanılır. Endüstriyel tüketim için atıksuyun tekrar kullanılması, gelişmiş arıtma birimleri kurularak 2015 yılı başında % 0,81'den (2012 yılı sonu) % 7,22'ye yükseltilecektir. Ekonomik açıdan bakıldığında, arıtılmış atık suyun birim arıtma maliyetinin atık suyun tekrar kullanılma potansiyeli ve İran'ın sanayi bölgelerindeki başarısı açısından 0.76-2.09 \$/m³ aralığında olduğu tahmin edilmektedir [34].

Çin'de hızlı kentleşme, su talebini ve atık su deşarjını arttırmakta, su ortamının ve su temininin azalmasına neden olmaktadır. Çin, 2003 yılında, nüfus artışı ve ekonominin gelişmesinden kaynaklı su talebi baskısı nedeniyle atık suları yeniden kullanmaya başlamıştır. Geri kazanılan su miktarı, 2003 yılında 205 milyon tondan 2013 yılında 800 milyon tona yükselmiş ve bu da Pekin'deki yıllık

toplam su talebinin yaklaşık % 22'sini oluşturmuştur. Toplamda, su kaynağı, Çin'in birçok bölgesinde kentsel gelişmeyi sınırlandıran kilit bir faktör haline gelmiştir. Eşzamanlı olarak alternatif bir su kaynağı yaratarak ve atık su deşarjlarını azaltarak atık su ıslahı ve yeniden kullanımı, kentsel yöneticilerin su ve atıksu yönetiminin ana bileşenleri olarak kabul edilmektedir. Birçok şehir, atık suyun yeniden kullanılmasının faydalarını en üst düzeye çıkarmak için mücadele etmektedir ve atık su yeniden kullanımı potansiyeli çok yüksektir Çin'de atık su yeniden kullanımının önümüzdeki on yıl içinde büyük ölçüde genişlemesi beklenmektedir [7].

Çoğu Arap ülkesi için en büyük zorluk, güvenli suya erişim sağlamak ve sanitasyonu temizlemektir. Arap Su Konseyi (2006), Binyıl Kalkınma Hedefleri'ni karşılamak için 83 milyondan fazla güvenli su ve 96 milyonun temizlik hizmetlerine ihtiyaç duyulduğu tahmin edilmektedir. 343.8 milyon olarak tahmin edilen yükselen bir nüfusun ihtiyaçları toplam su geri kazanımına ek bir baskı getirmektedir [35].

Yunanistan'da ve özellikle güneydoğu ve ada bölgelerinde, su kaynakları üzerinde ciddi baskılar vardır. Yaz mevsiminde turizm ve sulama ile su talebi artmaktadır. Arıtılmış atıksuyun su kaynakları yönetimine entegrasyonu gelecekteki talepleri karşılamak için büyük önem taşımaktadır. Bu ihtiyacı karşılamakla birlikte, çoğu atık suyunun yeniden kullanılması projeleri uygulanmış, bunların çoğu pilot proje veya sulama projeleri oluşmaktadır. Uygulamada olan en önemli projeler Selanik, Chalkida, Malia, Livadia, Amfisa, Kalikratia ve Chersonissos'dur [36].

5.2. Türkiye'de Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması

Ülkemizde geri kazanılan su miktarının % 72'i tarımda, %16 'ı içme suyunda ve %12' si sanayide kullanılmaktadır. Tarımsal amaçlı kullanımda azot ve fosfor açısından değerli bir atıksu içeriği söz konusudur. Türkiye' de henüz arıtılmış atıksu miktarı azdır. Senelik toplam atıksu potansiyeli 2.92 Mm³ civarındadır [37].

Atıksu miktarı, tüketilen su miktarının % 60 ~ 90'ı arasında değişmekte olup, içme ve kullanma suyu ihtiyacının yanı sıra denk bir atıksuyun yeniden

kullanılma potansiyeli oluşturduğu söylenebilmektedir. Ege- Akdeniz gibi turistik yapılaşma ve yatırımın yoğun olduğu kesimde arıtma tesislerinin çıkış suları, park sulaması ve bahçe sulamasında site yerleşimlerinde değerlendirilmektedir. Bazı 276 Türkiye’de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımının olduğu yerlerde stabilizasyon havuzunda biriktirilip tarımsal amaçlı kullanılır. Ayrıca, şeker ve kağıt fabrikalarında oluşan atıksular sulamada uygulanan yaygın bir yöntemdir [38].

Türkiye’de geri kazanılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılması 20 Mart 2010 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan 27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre değerlendirilmektedir. Bu tebliğe göre, ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinde; yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan, ham olarak direkt yenilen gıda ürünleri ve her türlü yeşil alan sulamasında ikincil arıtma, filtrasyon, dezenfeksiyon üniteleri kullanılmaktadır. Ticari olarak işlenen gıda ürünlerinde; Meyve bahçeleri, üzüm bağları, çim üretimi ve kültür tarımı, otlak hayvanları için mera sulamasında ise ikincil arıtma, dezenfeksiyon üniteleri kullanılmaktadır. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesinde tuzluluk, geçirgenlik ve özgül iyon toksisitesine bakılır. Tuzlulukta iletkenlik ve toplam çözünmüş maddeye bakılırken, geçirgenlikte sar testi yapılır. Özgül iyon toksisitesinde ise sodyum, klorür, bor miktarlarına dikkat edilir. Askıda katı madde, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik atıksu arıtma tesisinde AKM konsantrasyonu üçüncül arıtma uygulandığında düşmektedir. Atıksu geri kazanımında teknoloji seçimi yaparken, su kalitesi açısından kullanılacak en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur [10].

6. Sonuç

Su talebinin ve kentsel olarak atık su deşarjların artması atıksu yeniden kullanımı konusunda motivasyon yaratmıştır. Atıksuyun geri kazanma ve yeniden kullanımın artması, su kıtlığını hafifletilmesi, kirlilik emisyonunun azaltılması, toprak kalitesinin geliştirilmesi ve üretim masraflarından tasarrufu gibi birçok çevresel ve ekonomik yarar sağlamaktadır. Buna ek olarak, hükümetler tarafından çıkarılan politikalar ve

düzenlemeler de atıksu geri kazanım teknolojilerini ve suyun yeniden kullanımını geliştirmektedir. Evde, araba yıkama sektörlerinde, tarımda ve kentsel peyzajda geri kazanılan atık suların kullanılmasını teşvik etmek için yerel politikalar daha katı su kalitesi standartları getirmelidir. Herhangi bir yeniden kullanım alternatifi için geri kazanılan atıksuyun kalitesinin etkin bir şekilde denetlenmesi suyun yeterince ıslah edilememesi nedeniyle gerekli ve önemlidir. Ayrıca, geri kazanılan atık su kalitesinin garanti edilmesi, geri kazanılan suyun kamu tüketicileri tarafından kabul edilebilirliğini kesinlikle artıracak ve zamanla konvansiyonel su kaynaklarının yerini alacaktır. Bununla birlikte, Türkiye’de atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması ilk aşamadır. Ulusal düzeyde kentsel atıksuların yeniden kullanılması ile gelişmeler oldukça yavaştır. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması ilgili çalışmalara daha fazla ağırlık verilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Asan C., Gri Suların Yeniden Kullanımında Membran Biyoreaktör (MBR) Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [2] Pintilie, L., Torres, C.M., Teodosiu, C., Castells, F., "Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study", Journal of Cleaner Production, 2016, 139:1–14.
- [3] Kurtkulak, H., Kentsel Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeşil Alanların Sulanmasında Yeniden Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2014.
- [4] Dikmen, Ç., Saraçoğlu, E., Durucan, Z., Durak, S., Sarioğlu, K., "Türkiye Çevre Durum Raporu" Ankara, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011
- [5] Başkan, T., Arıtılmış Eysel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [6] Özbay, İ., Kavaklı, M., "Türkiye’de ve diğer ülkelerde arıtılmış atıksuların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi" Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1052–65, 14-17 Mayıs 2008.
- [7] Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., Jiao, W., "Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges", Journal of Environmental Science (China), 39, 86–96. 2016.
- [8] Büyükkamacı, N., "Su Yönetiminin Etkin Bileşeni:Yeniden Kullanım", İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, İzmir, 363–77, 8-10 Ocak 2009.
- [9] Bdour, A.N., Hamdi, M.R., Tarawneh, Z., "Perspectives on sustainable wastewater

- treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region". *Desalination*, 237,162–74, 2009.
- [10] T Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. vol. 27527, Resmi Gazete, Ankara, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010.
- [11] Oron, G., Gillerman, L., Buriakovsky, N., Bick, A., Gargir, M., Dolan, Y., Yossi, M., Ludmilla, K., Josef, H., "Membrane technology for advanced wastewater reclamation for sustainable agriculture production", *Desalination*, 218,170–80, 2008.
- [12] Chang, I.S., Lee, E.W., Oh, S., Kim, Y., "Comparison of SAR (sodium adsorption ratio) between RO and NF processes for the reclamation of secondary effluent", *Water Science and Technology*, 51, 313–8, 2005.
- [13] Yim, S.K., Ahn, W.Y., Kim, G.T., Koh, G.W., Cho, J., Kim, S.H., "Pilot-scale evaluation of an integrated membrane system for domestic wastewater reuse on islands", *Desalination*, 208,113–24, 2007.
- [14] Hyun, K.S., Lee, S.J., "Biofilm/membrane filtration for reclamation and reuse of rural wastewaters", *Water Science and Technology*, 59,2145–52, 2009.
- [15] Nakada, N., Shinohara, H., Murata, A., Kiri, K., Managaki, S., Sato, N., Hideshige, T., "Removal of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine-disrupting chemicals (EDCs) during sand filtration and ozonation at a municipal sewage treatment plant", *Water Resources*, 41, 4373–82, 2007.
- [16] Huber, M.M., Canonica, S., Park, G.Y., Von Gunten, U., "Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes", *Environmental Science and Technology*, 37:1016–24, 2003.
- [17] Bernabeu, A., Vercher, R.F., Santos-Juanes, L., Simón, P.J., Lardín, C., Martínez, M.A., V., Gonzalez, R., Llosa, C., Arques, A., Amat, A.M., "Solar photocatalysis as a tertiary treatment to remove emerging pollutants from wastewater treatment plant effluents", *Catalysis Today*, 161,235–40, 2011.
- [18] Chang, D., Ma, Z., "Wastewater reclamation and reuse in Beijing: Influence factors and policy implications", *Desalination*, 297, 72–8, 2012.
- [19] Tiwari, S., Behera, C.R., "Srinivasan B. Simulation and experimental studies to enhance water reuse and reclamation in India's largest dairy industry", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 605–16, 2016.
- [20] andela L, Fabregat S, Josa A, Suriol J, Vigués N, Mas J. Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: Application in a golf course (Girona, Spain). *Sci Total Environ* 2007;374:26–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.12.028.
- [21] Yuan, J., Van, Dyke, M.I., Huck, P.M., "Identification of critical contaminants in wastewater effluent for managed aquifer recharge", *Chemosphere*, 172, 294–301, 2017.
- [22] Asano, T., Cotruvo, J.A., "Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: Health and regulatory considerations", *Water Resources*, 38, 1941–51. 2004.
- [23] Angelakis, A., Snyder, S., "Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future", *Water*, 7, 4887–95, 2015.
- [24] UNESCO-WWAP, *Water for People Water for Life. The United Nations World Water Development Report*, 2003.
- [25] Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S.M., van Lier J.B., "Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies", *Journal of Environmental Management*, 122, 85–98, 2013.
- [26] Ayers, R.S., Westcot, D.W., "Water Quality for Agriculture". FAO UNITED NATIONS, Rome, Italy 1985, 97.
- [27] WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 2: Wastewater Use in Agriculture, *Wastewater Use Agric 2006*.
- [28] Agency USEP, Division MS, Division S, Risk N. Guidelines for Water Reuse Office of Water. Development, 2004:450.
- [29] Agrafioti, E., Diamadopoulou, E., "A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete". *Agric Water Management*, 105, 57–64, 2012.
- [30] Bazza, M., *Wastewater Reuse in the Near East Region : Experience and Issues. Reg. Symp. Water Recycl. Mediterr. Reg., Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for the Near East*; 2002, p. 1–21.
- [31] Bixio, D., Thoeye, C., De, Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Ravazzini, A., Miska, V., Muston, M., Chikurel, H., Aharoni, A., Joksimovic, D., Melin, T., "Wastewater reuse in Europe", *Desalination*, 187, 89–101, 2006.
- [32] Al-Salem, S.S., "Overview of the water and wastewater reuse crisis in the Eastern Mediterranean Region", *La Rev Sante La Mediterr Orient*, 7, 1056–60.
- [33] Friedler, E., "Water reuse - An integral part of water resources management: Israel as a case study", *Water Policy*, 3, 29–39.
- [34] Piadeh, F., Moghaddam, M.R.A., Mardan, S., "Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks", *Resources Conservation and Recycling*, 92, 172–8, 2014.
- [35] Choukr-Allah, R., "Wastewater Treatment and Reuse", 2010, p. 107–24.
- [36] Ilias, A., Panoras, A., Angelakis, A., "Wastewater

recycling in Greece: The case of Thessaloniki", *Sustain*, 6, 2876–92, 2014.

- [37] Aslan, V., "Türkiye’de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımı", TMMOB Su Polit. Kongresi, Ankara, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 273–8, 2008,
- [38] Türkiye Çevre Durum Raporu, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2007.