

## SU YÖNETİMİNİN ETKİN BİLEŞENİ: YENİDEN KULLANIM

Doç. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI  
nurdan.buyukkamaci@deu.edu.tr

### GİRİŞ

Suyun canlılar için önemi ve suyun dünya üzerindeki dağılımı üzerine literatürde pek çok yayın bulunmaktadır. Tüm yayınlarda temel konu yer kürenin yaklaşık %75'ini oluşturan suyun büyük bir kısmının tuzlu su olması ve geri kalan tatlı su kaynaklarının da ancak küçük bir bölümünün kullanılabilir su sınıflandırmasına girebilmesidir. Dünyadaki toplam su miktarı 1.4 milyar km<sup>3</sup> olarak verilmektedir. Bunun %97.5'u okyanus ve denizlerde tuzlu su olarak bulunmaktadır. Geriye kalan ve 35.2 milyon km<sup>3</sup> eden %2.5'lük kısmı ise tatlı su formunda bulunmaktadır (yeraltı suyu, göller, nehirler ve kutuplardaki buzullar); ancak küçük bir kısmı (%0.6) içme suyu kaynağı olarak kullanıma uygundur. Dünya içme sularının %25-40'luk bölümünü yer altı suları sağlamaktadır (Atalık, A.; <http://www.karasaban.net>). 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 arıtıldığı kriterleri değerlendirilerek 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 (Akpınar, K.; <http://www.aksaray.edu.tr>).

Genel kabullere göre, yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 10.000 m<sup>3</sup>'ten fazla olan ülkeler su zengini sayılmaktadır. Bir ülkede yılda kişi başına düşen tatlı su miktarı 1700 m<sup>3</sup>'ten düşükse, o ülkenin "su baskısı" ile, anılan miktar 1000 metre küpün altına inmiş ise "su açığı" ile karşı karşıya kabul edilmektedir. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.500 m<sup>3</sup> civarında olup, ülkemiz su kırsı bulunan ülkeler arasında yer almaktadır (Atalık, A.; <http://www.karasaban.net>; Akpınar, K.; <http://www.aksaray.edu.tr>). 2030 yılında nüfusu 80 milyona ulaşacak olan Türkiye, kişi başına düşen 1100 m<sup>3</sup> kullanılabilir su miktarıyla, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir ([www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)).

Temiz su sıkıntısının önüne geçebilmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmektedir. Var olan su kaynaklarının kirletilmemesi ve su tasarrufu en çok dile getirilen çözüm önerilerindedir. Bu önerilere ek olarak deniz suyunun tuzsuzlaştırılması konusu da son günlerde son derece popüler konular arasındadır. Tüm bunların yanı sıra dünyada çok fazla kullanılan Türkiye'de ise pek fazla dikkate alınmayan başka bir temiz su kaynağı da bulunmaktadır: "atık suların arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması". 1991 yılında, dünyanın birçok kurak bölgelerinde sulama suyu ihtiyacının %70 ile %90' ı geri kazanılmış suların sağlandığı belirtilmiştir (Asano, 1991).

Atık suyun yeniden kullanımı teorik olarak, uygun koşullar sağlanması koşuluyla 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.

## ATIKSULARIN YENİDEN KULLANILABİLECEĞİ ALANLAR

Geri kazanılmış atık suların en çok kullanıldığı alanlar, dört grupta toplanabilir. Bunlar:

- Kentsel kullanım,
- Endüstriyel kullanım,
- Tarımsal kullanım,
- Yeraltı suyu beslemesi.

Evsel ve endüstriyel nitelikli arıtılmış atık suyun yeniden kullanıldığı alanlardaki, olası olumsuz etkileri Tablo 1’ de verilmektedir (EPA, 1992).

Tablo 1 Geri Kazanılmış Suyun Kullanıldığı Alanlar ve Olası Etkileri

<b>Kullanılan Alan</b>	<b>Olası Etkiler</b>
<b><i>Tarımsal sulama</i></b>	Su kalitesi; özellikle tuzun toprak ve ürün kalitesine etkisi
<b><i>Yüzey sel sulama</i></b> -park-bahçe -yeşil alanlar	Patojenlerin halk sağlığı üzerindeki etkisi, yüzey sel ve yeraltı sularının kirlenme etkisi
<b><i>Endüstriyel kullanım</i></b> -soğutma suyu -proses suyu -kazan suyu	Korozyon, bakteriyolojik film oluşumu, proses ve soğutma sularındaki patojenlerin insan sağlığına etkisi
<b><i>Yeraltı suyu besleme</i></b>	Geri kazanılmış sudaki iz organiklerin toksik etkileri, toplam çözünmüş katı maddeler ve patojenler
<b><i>Çevresel kullanımlar</i></b> -gölet ve havuzlar -balık üretim havuzlar	Bakteri ve virüse bağlı sağlık etkileri, ötrofikasyon etkisi, koku, estetik etkiler, vb.
<b><i>Diğer kullanımlar</i></b> -yangın söndürme -tuvalet temizliği -araç yıkama	Aerosoller tarafından taşınan patojenler dolayısıyla insan sağlığına etkisi, korozyon, bakteriyolojik film gelişimi ve tortu oluşumu dolayısıyla su kalitesine etkisi, içme sularıyla temas etme riski

## Kentsel Geri Kullanım

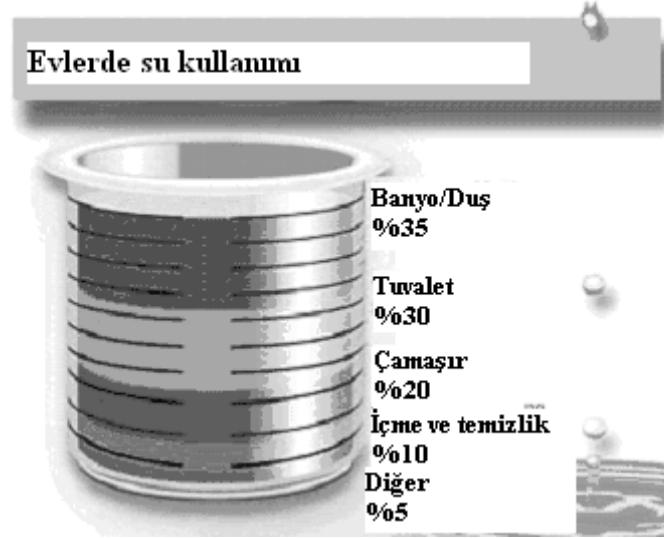
Bir kente verilen içme suyu kalitesindeki sular, içme suyu olarak kullanımı dışında, aşağıda özetlenen amaçlar için de kullanılmaktadır (EPA, 2004):

- Park, rekreasyon alanı, atletizm alanı, okul bahçesi ve oyun alanı, anayolların ve halka ait binaların ve tesislerin çevresindeki peyzaj alanlarının sulanması,
- İşyeri, dükkân, ofis ve endüstriyel kuruluşların çevresindeki peyzaj alanlarının sulanması,
- Ticari kullanımlar (araç yıkama tesisleri, pencere temizleme, pestisid ve herbisid çözeltilerinin hazırlanması ve sıvı gübrelerin hazırlanması gibi),
- Kent içindeki havuz, fiskiye, şelaleler gibi yapay kullanım alanlarına su verilmesi,
- İnşaat projelerinde beton yapımı için ve toz kontrolünde su kullanımı,
- Yangından korunmak üzere yangın söndürme suyu temini,
- Binalarda tuvalet suyu olarak kullanımı,
- Golf sahalarının sulanması.

Yeniden kullanım için hazırlanmış arıtılmış atık sular; golf alanları, yüzme, balıkçılık ve benzeri amaçlarla kullanılacaksa ilave arıtıma gereksinim duyulmaktadır. ABD’de bazı eyaletlerde arıtılmış atık suların rekreasyonel amaçlı kullanılacağı durumlarda, atık su ikincil arıtıma ve dezenfeksiyona tabi tutularak toplam koliform miktarı 2.2 adet/100 ml seviyesine indirilmektedir. Yüzme ve rekreasyonel amaçlarla kullanılacak atık sulara ise; ikincil arıtmadan sonra koagülasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemleri uygulanarak, en az 2.2 adet/100 ml ve en fazla 23 adet/100 ml koliform sınır değerleri uygulanmaktadır (EPA, 1992).

Evlerde su tüketiminin dağılımı, yaşam standartlarına ve alışkanlıklarına bağlı olarak değişim göstermekle birlikte en çok su tüketimi tuvalet ve banyo için olmaktadır (Şekil 1). Grishan&Fleming (1989), evlerdeki su kullanımının % 45’inin tuvaletlerde tüketildiğini belirtmektedir. Kaliforniya- Irvine Ranch Su Bölgesinde, 1987’ de yapılan bir araştırmada ise, ticari alanlarda ve ofislerde kullanılan suyun %70-85 oranındaki kısmının tuvaletlerde tüketildiği saptanmıştır. Bu derece yüksek tüketim miktarının ortaya çıkması, binaların tuvalet ve rezervuar suları için arıtılmış suyun verileceği ikinci bir su şebekesi yapılması konusunu gündeme getirmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda; tuvaletlerde ve rezervuarlarda arıtılmış atıksuyun kullanımının uygun olduğu belirlenerek, geri kazanılmış suyun temin edilebileceği yerlerde bulunan 17 m’ den daha yüksek tüm yeni binalarda, ikili bir dağıtım sisteminin kurulması, 1990’da bu bölgede bir yönetmelikle yasal zorunluluk haline getirilmiştir (EPA, 2004).

İkili su dağıtım sistemlerinde, arıtılarak yeniden kullanıma hazır hale getirilmiş su, içme suyu şebekesine paralel bir arıtılmış atık su dağıtım şebekesi ile kullanıcılara dağıtılır. Arıtılmış su dağıtım sistemi, esasen toplumun yararlandığı üçüncü bir (içme suyu, kanalizasyon, arıtılmış atık su) şebeke olup, içme suyu dağıtım sistemine benzer bir şekilde işletilir, bakım ve onarımı yapılır.



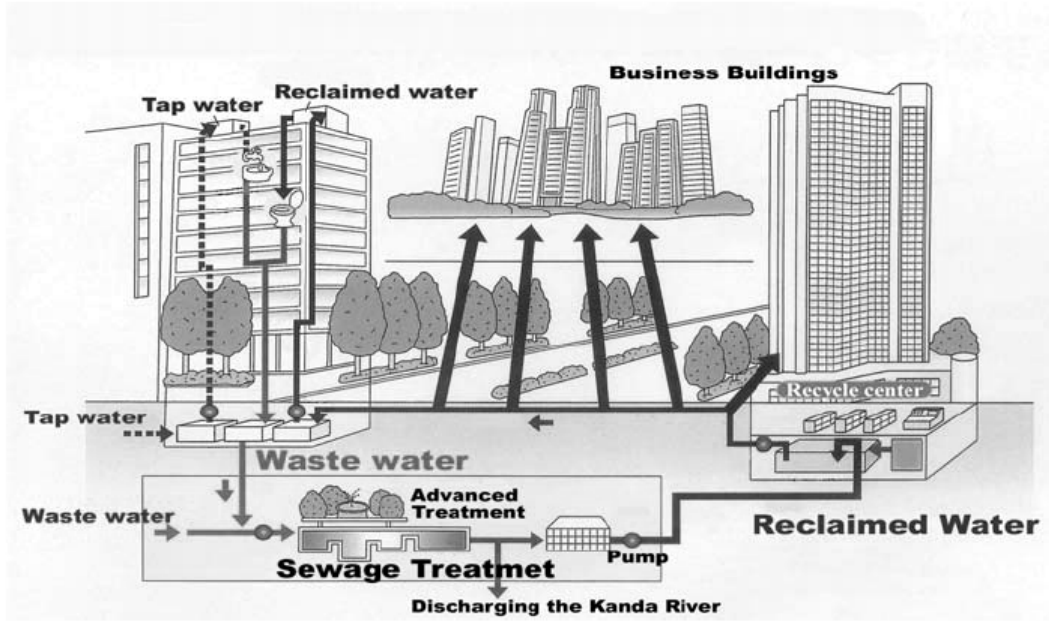
Şekil 1 Evlerde Su Tüketimi Dağılımı (www.ottawa.ca)

ABD Florida Eyaleti, St. Petersburg' ta en eski ikili dağıtım sistemi mevcuttur ve bu sistem 1977 yılından beri işletilmektedir. Bu dağıtım sistemi; farklı yerleşim alanlarına, ticari gelişme alanlarına, endüstriyel bölgelere, beysbol stadyumlarına, güç üretimi yapılan santrallere ve okullara arıtılmış atık suyun iletilerek bu alanlarda geri kullanımını sağlamaktadır (EPA, 2004).

Kent için geri kullanım suyu sisteminin planlanmasında, toplum geri kullanım sisteminin kesintili olup olmayacağına karar vermelidir. Genellikle, geri kullanıma hazır hale getirilmiş suyun kesintili kaynak olması kabul edilmektedir. Örneğin Florida Eyaleti St Petersburg kentinde, arıtılmış geri kullanım suyunun ek bir kaynak olarak kullanımına karar verilmiş ve sadece yangın söndürme ve yangından korunma amacı ile kullanıma sunulmuştur. Toplum, arıtılmış atık suyun kesintisiz bir kaynak olarak kullanımına karar verirse, arıtılmış suyun sistemde sürekli iletiminin ve sistem güvenilirliğinin sağlanması gerekir (EPA, 1992).

Gelişimini tamamlanmış bir kent için, sonradan ilave bir su dağıtım sistemi yapılması pahalı bir yatırım olabilir. Bazı durumlarda ise, kalitesiz bir ham su kaynağından suyun temini ve arıtılması veya uzun mesafelerden ilave su temini durumunda, arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı, maliyet açısından daha ekonomik bir seçenek olabilmektedir.

Gelişmekte olan kentsel alanlarda, ikili dağıtım sisteminin yapılması su kullanım sistemlerinin bir parçası olarak ele alınır. Alan genişledikçe, toplumun arazi kullanımına bağlı olarak, sisteme bağlantı yapılması hızlanır. 1984'de, Altamonte Springs şehrinde, arıtılmış atık su hattının yapılmasına, şehir gelişim planının bir parçası olarak karar verilmiştir. Ancak, arıtılmış atık su hattı, kesinlikle içme suyu şebekesinin bir tekrarı değil; aksine, içme suyu şebekesinin eksiğini tamamlayan ve uzunluğunu azaltan yardımcı bir şebeke olmalıdır (EPA, 1992). Şekil 2'de ikili dağıtım sistemin kullanıldığı bir yere ait şematik görünüm verilmektedir (UNEP, 2005).



Şekil 2 Atık Suyun Yeniden Kullanıldığı İkili Dağıtım Sistemi, Shinjuku, Tokyo, Japonya

Güney Carolina’ da ise, kentsel kullanım ile sulak alan uygulamasının birleştirildiği üç yıllık bir pilot çalışmadan sonra proje genişletilmiştir. Uygulama sonucunda, doğal yaşamın canlandığı gözlenmiştir (EPA, 1992).

### Endüstriyel Kullanım

Geri kazanılmış suyun endüstride kullanımı, gelişmiş ülkelerde oldukça yaygındır. İçme suyu niteliğindeki suya ihtiyaç duymayan birçok endüstri için, geri kazanılmış su idealdir. Atık suyun geri kazanılması, endüstriyel atık suyun tesis içinde geri çevrimi ile ve/veya evsel atık su arıtma tesislerinde arıtılan suyun kullanılması olabilmektedir.

Endüstrinin kendi içinde sularının geri çevrimi, çoğunlukla prosesin bir parçası olarak uygulanmaktadır. Çelik, bira, elektronik sanayi gibi pek çok endüstri ya suları korumak ya da sıkı çıkış suyu standartlarını sağlamak veya bunlardan kaçınmak için, atık sularını arıtıp sistemlerine geri çevirmektedirler.

Geri kazanılmış su; soğutma suyu, kazan besleme suyu ve proses suyu olarak endüstrilerde kullanılmaktadır.

Pek çok endüstride, soğutma suyu ihtiyacı tesisteki en büyük su ihtiyacını oluşturmaktadır. Temiz su kaynaklarının kirlenmesi ve azalmasına bağlı olarak sanayiciler, açık çevrimli soğutma sistemlerinde ikincil atık su arıtma üniteleri çıkış sularını kullanmaya denemeye yönelmektedir. Ancak, soğutma suyu olarak arıtılmış atık suların kullanılması durumunda korozyon, çökelek oluşması, mikrobiyal büyüme gibi konulara dikkat edilmesi gereklidir. Önerilen soğutma suyu özellikleri Tablo 2’de verilmektedir (EPA, 1992).

\*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

Tablo 2 Önerilen Soğutma Suyu Özellikleri

Parametre	Önerilen Limit Değer
Cl <sup>-1</sup> , mg/L	500
Toplam Çözünmüş Katı Madde, mg/L	500
Sertlik, mg/L	650
Alkalinite, mg/L	350
pH	6.9 – 9.0
KOİ, mg/L	75
Toplam Askıda Katı Madde, mg/L	100
BOİ, mg/L	25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, mg/L	1.0
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> , mg/L	4
SiO <sub>2</sub> , mg/L	50
Al <sup>+3</sup> , mg/L	0.1
Demir, mg/L	0.5
Mn <sup>+2</sup> , mg/L	0.5
Ca <sup>+2</sup> , mg/L	50
Mg <sup>+2</sup> , mg/L	0.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	24
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , mg/L	200

Arıtılmış atık suların kazan besleme suyu olarak kullanımı durumunda, kazanın çalışma basıncı önem kazanmaktadır. Yüksek basınçla çalışan kazanlar daha iyi kalitede suya ihtiyaç duyarlar. Çok yüksek basınçta ( $\geq 1500$  psi = 10,340 kPa) çalışan kazanlar çok iyi kalitede su ise çalışırlar. Genel olarak, ister içme suyu ile ister arıtılmış su ile çalışsınlar, tüm kazanlarda sertliğin sıfıra yakın olması istenir. Kazanlarda çökelek oluşumuna neden oldukları için kalsiyum, magnezyum, silisyum ve alüminyumun arıtılması istenir. Arıtılmış suyun özelliklerine bağlı olarak filtrasyon, karbon adsorpsiyonu ve azot giderimi işlemleri tarafından takip edilen flokülasyon, çökeltim ve rekarbonasyon işlemlerini içeren kireçle arıtım uygulanır. Yüksek basınçla çalışan kazanlar için istenen çok iyi kalitede suyu elde etmek için ters ozmos ve iyon değiştirme işlemleri kullanılabilir.

Arıtılmış suların proses suyu olarak kullanımı durumunda her bir endüstri için ayrı inceleme yapmak gereklidir. Bazı endüstriler çok iyi kalitede suya ihtiyaç duyarken, bazı endüstriler daha az kaliteli suyla da üretim yapabilmektedir. Örneğin elektronik sanayi neredeyse destile su kalitesinde suya ihtiyaç duyarken deri sanayi daha düşük kaliteli suyla da çalışabilmektedir. Tablo 3'de bazı endüstriler için gerekli proses suyu özellikleri verilmektedir (EPA, 2004).

### Tarımsal Kullanım

Tarımsal amaçlı sulama için tüketilen su miktarı EPA tarafından toplam tatlı su tüketiminin % 40'ı olarak verilse de pek çok kaynakta bu değer %70'lerde olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, ziraatta, arıtılmış atık suyun geri kullanımının sağlanması ile önemli miktarda su korunumu sağlanacaktır. Bunun yanı sıra, bitki besin maddesi kaynağı olabilecek elementler

\*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

içermesi ve kalite açısından ürünlere bağlı olarak nispeten uygun özellikler taşıması, zirai amaçlı geri kullanımda artış eğilimine neden olmaktadır.

Tablo 3 Bazı Endüstriler İçin Gerekli Proses Suyu Özellikleri

Parameter*	Pulp & Paper			Chemical	Petrochem & Coal	Textiles		Cement
	Mechanical Piping	Chemical, Unbleached	Pulp & Paper Bleached			Sizing Suspension	Scouring, Bleach & Dye	
Cu	-	-	-	-	0.05	0.01	-	-
Fe	0.3	1.0	0.1	0.1	1.0	0.3	0.1	2.5
Mn	0.1	0.5	0.05	0.1	-	0.05	0.01	0.5
Ca	-	20	20	68	75	-	-	-
Mg	-	12	12	19	30	-	-	-
Cl	1.000	200	200	500	300	-	-	250
HCO <sub>3</sub>	-	-	-	128	-	-	-	-
NO <sub>3</sub>	-	-	-	5	-	-	-	-
SO <sub>4</sub>	-	-	-	100	-	-	-	250
SiO <sub>2</sub>	-	50	50	50	-	-	-	35
Hardness	-	100	100	250	350	25	25	-
Alkalinity	-	-	-	125	-	-	-	400
TDS	-	-	-	1.000	1.000	100	100	600
TSS	-	10	10	5	10	5	5	500
Color	30	30	10	20	-	5	5	-
pH	6-10	6-10	6-10	6.2-8.3	6-9	-	-	6.5-8.5
CCE	-	-	-	-	-	-	-	-

\*All values in mg/l except color and pH.

Tarımsal sulama için arıtılmış su geri kullanım programlarında gerekli su miktarı, arıtılmış suların kalitesi ve sistem tasarımı konuları önemli olan hususlardır. Ürünün su gereksinimi, iklimsel koşullara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Mevsimsel sulama suyu ihtiyacının değişimi; yağmura, sıcaklığa, ürün tipine, bitkinin büyüme kademesine ve diğer faktörlere bağlıdır. Tarımda arıtılmış suyun geri kullanım fizibilitesini değerlendirmek için, bu suyu veren idarenin arıtılmış su miktarını ve sulama suyu ihtiyacını doğru bir şekilde tahmin etmesi gerekmektedir. Zirai alandaki su kullanımına ilişkin gerçek verilerin olmaması durumunda, buharlaşma, sızma ve yüzeysel akış kayıpları ve net sulama miktarları, tahmin bağıntıları yardımı ile belirlenebilir.

Bir suyun sulama yönünden elverişliliğinin tayini için en önemli özellikler;

- Çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu
- Sodyum ve diğer katyonların nisbi oranı (SAR)
- Bor ve buna benzer toksik elementlerin konsantrasyonu
- Kalsiyum ve Magnezyum
- Anyonlar (klor, sülfat, nitrat)
- Toplam katı madde, organik madde yükü, yağ ve gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen mikroorganizmaların miktarıdır (EPA, 1992; Rowe, 1995).

Atık suları sulamaya elverişli olan sektörlere örnek olarak konserve, süt ürünleri, şeker, meşrubat, bira, gübre ve kâğıt endüstrisi verilebilir. Yağ, petrol ürünleri, solvent, ağır metal ve toksik madde içeren atık su üreten endüstrilerin atık sularının ise tarımsal sulamada kullanılması önerilmemektedir (Arceivala, 2007).

\*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

Tuzluluk sulama suyunda dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerden birisidir. Sulamanın tuzluluk açısından anlamı, tuzları kök bölgesine taşımaktır. Kök bölgesinde, verim azalmasına neden olmayacak tuzluluk düzeyinin oluşturulması ise; toprak özellikleri, bitki, iklim, su kalitesi, taban suyu düzeyi gibi faktörlerin etkisi altında iyi bir tuz dengesinin oluşturulması ile mümkün olacaktır. Bu amaçla, en önemli uygulamalardan birisi de yıkamadır. Çoğu zaman kış yağışları yeterli olsa da, bazı koşullarda yıkama ihtiyacı olarak belli hacimde suyun alana iletilmesi gerekmektedir. Yıkama ihtiyacı uygulamalarında; su kalitesi, toprak özellikleri, taban suyu düzeyi gibi faktörler göz önüne alınarak, iyi kalitede su düşük miktarlarda uygulanmalıdır.

Ülkemizde yapılan arazi etütlerine göre sulanabilir özellikteki 12.5 milyon ha arazinin yaklaşık 1.5 milyon hektarında tuzlu ve sodyumlu topraklar, 2.8 milyon hektarında ise yaş topraklar oluşmuştur. Bu rakamlara göre sorunlu araziler sulanabilir özellikteki alanlarımızın üçte birini kaplamaktadır. Özellikle ilk sulamaya açılan Konya, Niğde ve Adana gibi illerimizde sorunlu toprakların daha yoğun olduğu görülmektedir (Öztürk, 2004).

Sulama suyu içerisinde bulunan tuzlar, seçilecek sulama yöntemine bağlı olarak bitki üzerine etki eder. Bu açıdan uygulanacak sulama yöntemi doğrudan bitki verimini ve zaman boyutunda da toprak verimliliğini sınırlayan etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda, sulama yöntemi doğrudan sulama verimliliğini ve toprakta tuzların birikimini etkileyen bir unsurdur. Sulama yöntemi hem toprak özellikleri hem de yöntemin özellikleri göz önüne alınarak seçilmelidir. Örneğin, kaba (hafif) bünyeli topraklarda, sulama aralığı kısaldığından, tuzluluğu yüksek olan sular, yeterli drenaj koşulunda daha güvenilir olarak kullanılabilir. Ağır bünyeli topraklarda ise, geçirgenlik düşük olduğundan, sulama aralığı artacak ve sulama yönteminin seçiminde bazı kısıtlamalar ile karşılaşılacaktır.

Suyun toprağa kontrollü olarak verildiği bir basınçlı sulama yöntemi olan damla sulama, oldukça pahalı ve sağlık açısından en düşük risk içeren bir sistemdir. Bu sistemde, tuz kök bölgesi dışına yığılmaktadır. Sulamalar sık aralıklara uygulandığından, tuzların kök bölgesi dışarısına taşınmaları sürekli. Bu durum kök bölgesinde tuz birikimini önlediği için bitki kökleri tuz etkisinde kalmazlar. Ancak, sulama mevsimi sonunda kök bölgesinin hemen dışarısında biriktirilmiş tuzların yıkanarak alandan uzaklaştırılmaları gerekecektir. Damla sulama sisteminin arıtılmış atık su ile sulamada uygulanabilirliği, arıtılmış suyun AKM ve biyolojik içeriğinin minimum seviyelerde olmasına bağlıdır.

Sonuç olarak, arıtılmış atık suların sulamada kullanılması, temiz suların kullanılmasına kıyasla daha dikkatli “yönetim” uygulamaları ve daha sıkı “izleme” programları gerektirmektedir.

### **Yeraltı Suyu Besleme**

Ülkemizde fazla kullanım alanı bulan bir uygulama olmamakla birlikte, arıtılmış atık suların zemine sızdırılarak toprağın arıtma kapasitesinden yararlanması gelişmiş bazı ülkelerde (ABD, Hollanda, Almanya gibi) uygulama alanı bulmaktadır. ABD’de, 1962 yılından itibaren gerçekleştirilen arıtılmış atık suların yer altı sularını beslemesi çalışmaları, 1978’den itibaren daha da iyileştirilerek, atık suların içme suyu standartlarında arıtmadan geçirildikten sonra, yeraltına besleme yapılması şeklinde devam etmektedir. Özellikle ülkemizde yer altı

\*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.



suları içme ve kullanma suyu amacıyla sıklıkla kullanıldığı için, arıtılmış suların yer altı suyu besleme amaçlı kullanılmasında çok dikkatli olmak gereklidir ve beslenen suyun içme suyu kalitesinde bir su olmasına dikkat edilmelidir.

Arıtılmış atık sular yeraltı suyuna; yüzeysel püskürtme, nehire deşarj, kum filtrasyonu, toprak-su arıtma sistemleri ve doğrudan enjeksiyon gibi yöntemlerle verilebilmektedir. Arıtılmış atık suların yer altı suyuna deşarj edilmesinin amaçları aşağıda verilmektedir:

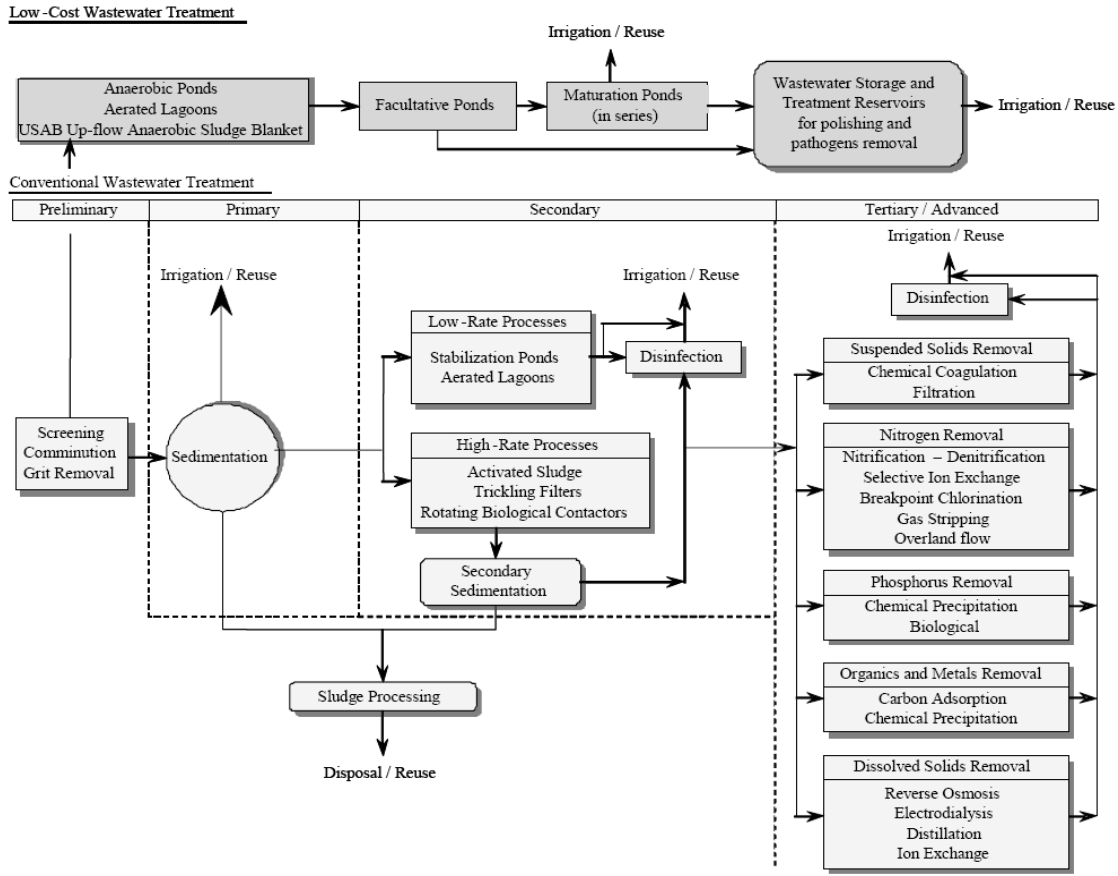
- Kıyı alanlarında akifere tuzlu su girişimini önlemek,
- Atık suyun daha iyi arıtılmasını ve tekrar kullanımını sağlamak,
- İçme suyu ya da diğer akiferlerin su kapasitesinin arttırılmasını sağlamak,
- Arıtılmış suyun depolanmasını sağlamak,
- Yeraltı su seviyesindeki düşmeyi önlemek.

## GEREKLİ ARITMA İŞLEMLERİ

Atık suların yeniden kullanılabilmesi için gerekli arıtma işlemleri kuşkusuz ki atık suyun özelliklerine ve arıtıldıktan sonra hangi amaçla yeniden kullanılacağına bağlı olarak değişmektedir. Evsel atık sular için genel atık su arıtma tesisi akım şeması ve uygulanan işlemlerde hangi noktalarda atık suyun yeniden kullanılabilmesi Şekil 3'de verilmektedir (UNEP, 2005). Endüstriyel atık suların yeniden kullanılabilmesi için gerekli arıtma işlemleri için her bir sektör ve hatta her bir tesis için ayrı değerlendirme yapmak gereklidir, herhangi bir genelleme yapılması doğru değildir.

Tasarımının doğru yapılması ve iyi işletilmesi halinde, Dünya Sağlık Örgütü tarafından herhangi bir ilave arıtma işlemi yapılmaksızın kısıtsız sulama yapılabilir su sınıflandırmasında yer alacak şekilde, yeterli düzeyde organik madde arıtımının gerçekleştiği anaerobik ve fakültatif havuzlar ve patojen gideriminin gerçekleştiği olgunlaştırma havuzlarından oluşan stabilizasyon havuzları sistemlerinin büyük alanlar gerektirdiği bilinen bir olgudur. Bununla birlikte, aynı kalitede su elde edebilmek için klasik aktif çamur sistemi, damlatmalı filtre gibi yaygın kullanılan arıtma işlemlerinden sonra dezenfeksiyon uygulamak gerekmektedir (UNEP, 2005).

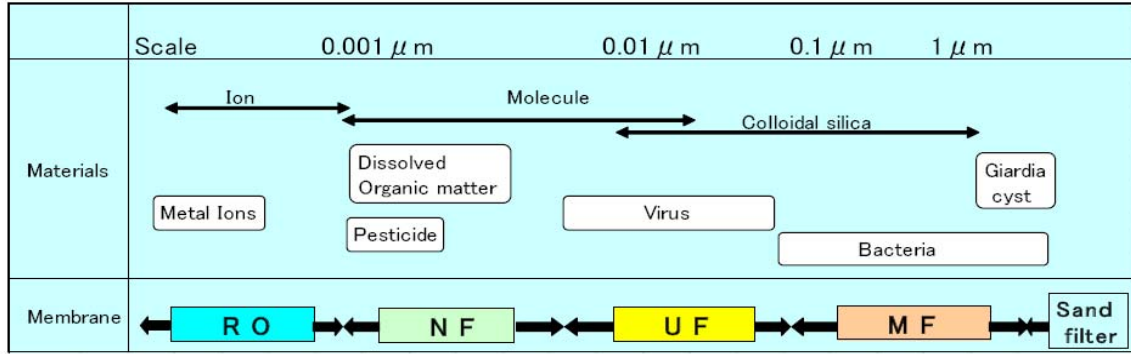
Gerek atık sulardan gerekse deniz suyundan yüksek kalitede su elde etmek için membran filtrelerin kullanımı artan bir hızla yaygınlaşmaktadır. Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Tüm membranla ayırma teknolojilerinde, membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Arıtma işlemi, kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın kullanılan itici kuvvet basınçtır. En çok kullanılan membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (RO)'dur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olmaktadır. Kullanılan membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına (molecular weight cut-off, MWCO) göre ayırt edilmektedirler (Şekil 4; UNEP, 2005).



(Adapted from Asano, Smith, and Tchobanoglous, 1984; R. Tsuchihashi, 2005; Jimenez 2005)

### Şekil 3 Eysel Nitelikli Atık Su Arıtma Tesisleri Genel Akım Şeması Ve Geri Kazanım Noktaları

Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır. Bakteriler 100 nm den büyük oldukları için 100nm'den düşük membranlarda tutulmaktadır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan Ters Ozmos (RO) Prosesinin en yaygın uygulama alanı, deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir. UF ve MF proseslerinde, membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekmektedir. UF prosesinde 0,1-0,01µm büyüklüğündeki partiküller tutulmaktadır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon ise ortalama 1 nanometre büyüklüğünde olan partiküllerin atılması için özel dizayn edilmiş membrandan oluşan bir prostestir. Membran geçiş basıncı genellikle 3,5 - 16 bardır (<http://www.gamakimya.com.tr>).



Şekil 4 Membran Prosesler

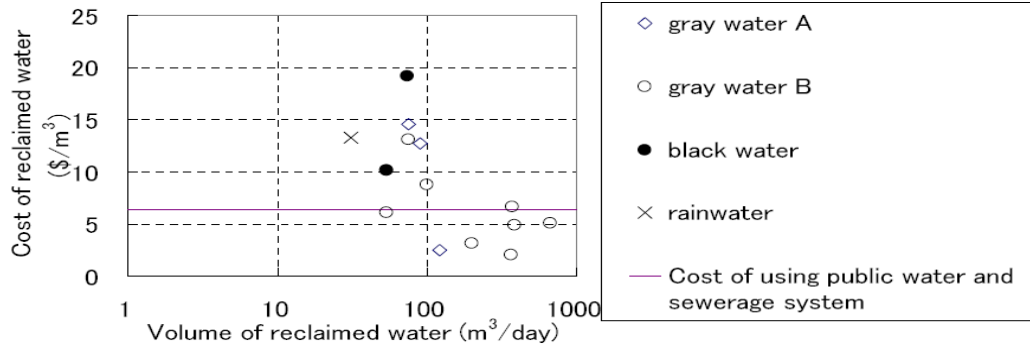
RO sistemi, deniz suyunun tuzsuzlaştırılması amacıyla, Suudi Arabistan ve Kuveyt gibi su problemi olan ve ekonomik açıdan sorun yaşamayan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Japonya, Amerika, vb. pek çok ülkede atık suyun yeniden kullanılması amacıyla membran sistemler kullanılmaktadır.

## MALİYET ANALİZİ

Atık suların yeniden kullanılması için kesin bir maliyet çıkarmak mümkün değildir. Atık su debisine, kalitesine ve gerekli arıtma kademelerine göre maliyet çok değişecektir. Atık su arıtma tesislerinin maliyeti hesaplarında dahi çok farklı rakamlar ortaya çıkmaktadır. İlk yatırım maliyeti hesaplarında inşaat maliyeti, alan maliyeti ve mekanik ekipman maliyetleri en önemli bileşenlerdir. Bununla beraber toplam maliyeti belirlerken taşıma, elektrik tesisat, tesisat, proje-kontrolörük maliyetleri gibi pek çok husus dikkate alınmalıdır.

Yeniden kullanım maliyetini azaltmak ve suyu en iyi şekilde kullanmak için, atık suyun kalitesi ve miktarını, yeniden kullanılabilirliği potansiyel yerler ve istenen su kalitesi ile doğru bir şekilde değerlendirmek gereklidir. En uygun teknolojiler ve bunların uygulanabilirliği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Ömür döngüsü maliyet analizi (life cycle cost, LCC), farklı teknolojilerin maliyetlerini karşılaştırmak ve hangi geri kazanım teknolojilerinin daha ekonomik olduğunu değerlendirmek için faydalı olacaktır. Tokyo'da bir işyeri binasında atık suyun yeniden kullanımı için LCC analizi yapılmış ve Şekil 5'de grafiksel olarak görülen analiz sonuçlarına göre, geri kazanılmış suyun hacmi 100 m<sup>3</sup>'den fazla ise, atık suyun yeniden kullanılması maliyeti klasik içme suyu ve kanalizasyon arıtma işlemlerine göre daha az olduğu bulunmuştur (UNEP, 2005). Latin Amerika'da arıtılmış atık suyun tarımsal amaçlı yeniden kullanılması durumunda, sulanan bitkinin çeşidine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak fayda-maliyet oranı 1.2-2.2 olarak bulunmuştur (UNEP, 2005).



Using 120 yen = US\$1

Gray water A: Wastewater from washing hands/face, drinking, bath, and heating and cooling  
 Gray water B: Wastewater from kitchen  
 Black water: Wastewater from toilet

### Şekil 5 Atık Su Geri Kazanım İşlemleri İçin Ömür Döngüsü Maliyet (LCC) analizi

Özellikle çok iyi kalitede su isteniyorsa membran filtre sistemlerinin kullanılması kaçınılmazdır. Bu sistemler oldukça pahalı sistemlerdir. İleri arıtma tekniklerinin maliyeti hakkında fikir vermesi açısından en iyi kalitede su elde edilebilecek sistem olan ters ozmos sistemi maliyeti araştırılmıştır. Ters ozmos sistemi ile 1 m<sup>3</sup>/gün deniz suyundan temiz su elde edilmesi için kullanılacak cihazın ilk yatırım maliyeti çeşitli firmalar tarafından çok geniş aralıklarda ve ortalama 250 - 1000 USD olarak verilmektedir. İşletme ve bakım maliyetlerinin de ayrıca göz önüne alınması gerekmektedir.

## İZMİR İÇİN DURUM DEĞERLENDİRMESİ

İzmir Büyükşehir Belediyesinin internet sitesinde yer alan İzmir’de mevcut su kaynakları ve 2006 yılı için toplam su tüketimi değerleri Tablo 4’de verilmektedir (www.izmir.bel.tr).

Tablo 4 İzmir’e Su Sağlayan Kaynaklar

Balçova Barajı	% 1,76
Tahtalı Barajı	% 35,92
<b>Yüze Kaynakları Toplamı</b>	<b>% 37,68</b>
Sarıköz ve Göksu Kuyuları	% 38,64
Menemen ve Çavuşköy Kuyuları	% 4,53
Halkapınar ve Çamdibi Kuyuları	% 18,37
Pınarbaşı Kuyuları	% 0,78
<b>Yeraltı Kaynakları Toplamı</b>	<b>% 62,32</b>
2006 yılı toplam su tüketimi	215.228.378 m <sup>3</sup> /yıl

2007 nüfus sayımına göre 3.739.353 olarak verilen İzmir nüfusunun 2008 yılı için yaklaşık 4 milyon olduğunu ve kişi başına yaklaşık 200 L/gün suya ihtiyaç olduğunu kabul edersek, İzmir’in günlük su ihtiyacı 800.000 m<sup>3</sup> (292 milyon m<sup>3</sup>/yıl = 292 hm<sup>3</sup>/yıl) olarak verilebilir. Bu değer sadece insanların günlük yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan su miktarını gösterdiği unutulmamalıdır. Endüstrilerin su ihtiyacı da göz önüne alındığında, gittikçe

kötüleşen su kalitesi ve azalan su kaynakları ile bu kadar büyük hacimde temiz suyu elde etmek yakın zamanda mümkün olamayacaktır.

İzmir Büyükşehir alanının evsel ve endüstriyel su ihtiyaçlarını karşılayacak projeleri ortaya koymak amacıyla İzmir İçme suyu Projesi master plan raporu DSİ tarafından 1971 yılında yapılmıştır. Bu proje kapsamında Manisa İli'nde Göksu ve Sarıkız Kaynakları şehre bağlanmıştır. İzmir İli'nde ise Tahtalı Barajı ve arıtma tesisi tamamlanarak toplam 236 hm<sup>3</sup>/yıl su kullanıma sunulmuştur. Bu proje öncesinde DSİ'nce gerçekleştirilen Halkapınar Kaynakları Geliştirilmesi, Menemen Yeraltı suyu, Balçova Barajı ve bazı yeraltı suyu kuyularından elde edilen 116 hm<sup>3</sup>/yıl su ile birlikte İzmir kentine 352 hm<sup>3</sup>/yıl su sağlanmıştır. PETKİM ile DSİ arasındaki protokol çerçevesinde 1981 yılında işletmeye açılan Güzelhisar Barajı'ndan, 109 hm<sup>3</sup>/yıl su sanayiye verilmektedir. 2001 yılında işletmeye açılan Çeşme Alaçatı (Kutlu Aktaş) Barajı'ndan 2.7 hm<sup>3</sup>/yıl su Çeşme ilçesi ve Alaçatı'ya tahsis edilmektedir. DSİ ile İzmir Valiliği arasında işletme protokolü çalışmaları devam etmektedir. Halen uygulama programında bulunan İzmir İçmesuyu II. Merhale Projesi kapsamında Manisa İli'nde inşaatı devam eden Gördes Barajı'ndan İzmir'e 58.6 hm<sup>3</sup>/yıl içme ve kullanma suyu verilmesi öngörülmüştür. Proje kapsamında 114 km uzunluğunda boru hattı, 365 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli arıtma tesisi ve pompa istasyonu bulunmaktadır. Bu tesislerin kati proje çalışmaları tamamlanarak 1 Mayıs 2007 tarihinde DSİ Genel Müdürlüğü'nce onaylanmıştır. Projenin Gördes Barajı'ndan sonraki kademesi olan Manisa İli'ndeki Çağlayan Barajı'ndan 45 hm<sup>3</sup>/yıl, Başlamış Barajı'ndan 42 hm<sup>3</sup>/yıl suyun İzmir kentine verilmesi planlanmıştır. Proje tamamlandığında İzmir ili'ne toplam olarak 145.6 hm<sup>3</sup>/yıl su sağlanmış olacaktır (www.dsi.gov.tr). DSİ'nin İzmir'deki su kaynakları ile ilgili olarak verdiği bilgiler Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5'de görüldüğü gibi İzmir için toplam su potansiyeli DSİ tarafından 5264 hm<sup>3</sup>/yıl olarak verilmektedir ve İzmir nüfusunun 4 milyon olduğu kabulüne göre kişi başına yıllık su miktarı:

$$\frac{5264 \times 10^6}{4 \times 10^6} = 1316 \text{ m}^3$$

olarak belirlenebilir. Bu değer de su kısıdı bulunan yerler için verilen 1.500 m<sup>3</sup> değerinden düşüktür. Bu durumda İzmir için temiz su ihtiyacını karşılamak üzere akılcı yatırımlara ve yeni su kaynaklarına acilen ihtiyaç vardır. İlgili kurum ve kuruluşlar mevcut su kaynaklarını en iyi şekilde yönetirken, gelecek için alternatif su kaynaklarını elde etmek için gerekli yatırımları geç olmadan yapmalıdır.

Sahil kenti olan İzmir için, dünyada kuraklık sıkıntısı çeken ülkelerde olduğu gibi deniz suyunun tuzsuzlaştırılarak kullanılması ilk olarak akla gelen çözümdür. Suyun, içerdiği tuzdan arıtılması işlemi desalinasyon (tuzsuzlaştırma, desalination) olarak adlandırılmaktadır. Desalinasyon teknolojileri ile tuzlu su, insanlar tarafından kullanılabilir nitelikte tatlı suya dönüştürülmektedir. Desalinasyon teknikleri, Termal Prosesler (Buharlaştırma) ve Membran Prosesler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Membran yöntemler, termal yöntemlerden daha az enerji gerektirmektedir. Günümüzde, arıtılan toplam deniz suyunun hacimsel olarak %74'ü ısıtma işlemleri vasıtasıyla elde edilmekte iken yaklaşık %22'si bir membran proses olan ters ozmos (RO) aracılığıyla elde edilmektedir. Öte yandan, sayısal olarak RO tesisleri dünyadaki tuz arıtma tesislerinin açık farkla çok büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır (Çuha, 2008).

\*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

Tablo 5 İzmir İli Mevcut Su Durumu

Yüzölçümü	3 058 200 ha
Tarıma elverişli arazi	1 141 696 ha
Sulanabilir arazi	767 244 ha
DSİ Yerüstü Sulamaları	249 440 ha
Planlama projelendirme aşaması	45 285 ha
Yatırım programı aşaması	57 495 ha
İşletme aşaması	146 660 ha
DSİ Yer altı Sulamaları	12 085 ha
<b>SU KAYNAKLARI</b>	
Yıllık ortalama yağış	626 mm
Toplam su potansiyeli	5 264 hm <sup>3</sup> / yıl
Yerüstü suyu	4 230 hm <sup>3</sup> / yıl
Yer altı suyu	1 034 hm <sup>3</sup> / yıl
<b>HİDROELEKTRİK ENERJİ</b>	
Toplam enerji potansiyeli	74 MW % 100 - 207 GWh/yıl % 100
Planlama projelendirme aşaması	4 MW % 5 - 8 GWh/yıl % 4
Yatırım programı aşaması	-
İşletme aşaması	70 MW % 94 - 199 GWh/yıl % 96

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılarak kullanılması, İzmir için su sorununu çözecek en önemli yaklaşımlardan biri olmakla birlikte, oluşan atık suların arıtılması ve yeniden kullanılması ile ek bir kaynak oluşturulması mümkündür. Atık su arıtma tesisi çıkış sularının alıcı ortama boşaltılması yerine Tablo 1’de verilen seçeneklerden birinde değerlendirilmesi ile içme suyu kalitesindeki suyun boşa harcanmasının önüne geçilecektir. Bazı ülkelerde yapıldığı gibi içme suyu ve kanalizasyon sistemlerine ek olarak arıtılmış su hattının da yapılması gerekmektedir. Bu hattın sadece tuvaletlere bağlanması ile büyük bir su tasarrufu yapılmış olacaktır. Ayrıca evlerde, gri su ile tuvalet suyunun birbirinden ayrılması da atık su arıtımında büyük kolaylık sağlayacak ve atık suyun yeniden kullanımını kolaylaştıracak bir işlemdir.

Atık suların arıtıldıktan sonra alıcı ortama deşarj edilmesi yerine yeniden kullanılması ilave arıtma teknolojilerinin ve çoğu zaman da pahalı yatırımlar gerektiren ileri arıtma tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çözümler elbette ki büyük yatırımlar gerektirmektedir. Bu konuda çalışan pek çok firma bulunmaktadır ve İzmir için böyle bir yatırım yapılmadan evvel konunun uzmanı olan kişilere danışılarak karar verilmesi, yanlış yatırımların yapılmasının önüne geçilmesinde faydalı olacaktır.

## SONUÇ

Alternatifi olmayan tek madde olarak tanımlanan suyun tüm dünyada kısıtlı miktarda olduğu ve temiz su miktarının her geçen gün azaldığı artık bilinen bir gerçektir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızın en iyi şekilde yönetilmesi zorunludur. Her damla su çok önemli olduğu için, temiz suların evsel veya endüstriyel amaçlı kullanılmasından sonra oluşan atık suların arıtıldıktan yeniden kullanılması artık su yönetiminin olmazsa olmaz bir parçası olarak düşünülmelidir. Su için yapılan yatırımların hiç biri lüks bir yatırım olarak değerlendirilmemeli ve gerekli tüm ileri arıtma teknolojileri kullanılmalıdır. Ancak, bu tür yatırımlar yaparken konunun uzmanı olan kişilerden destek alınarak en doğru kararın verilmesi gerektiği de unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

Akpınar, K., “İnsanlığın Geleceği İçin Su Kaynakları Ve Kullanımı”, <http://www.aksaray.edu.tr/konferanslar>

Arceivala S., “Wastewater Irrigation”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Seminer Notları, 15 Mayıs 2007.

Asano, T., “Planning and Implementation of Water Reuse Projects”, Wat. Sci. & Tech., Vol. 24/9, 1991, pp 1 – 10.

Atalık Ahmet, “Su Sorunu Ve Tarımda Sulama Suyu Kullanımı”, <http://www.karasaban.net/su-sorunu-ve-tarimda-sulama-suyu-kullanimi>

Çuha D., “Deniz Suyu ve Kuyu Suyunun Tuzdan Arıtılması”, Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi, Sayı 18, 2008, sayfa 48-56.

EPA Manual. Guidelines for Water Reuse, EPA/62/R-92/004, 1992.

EPA Manual. Guidelines for Water Reuse, USA. EPA/625/R-04/108, 2004.

Grisham, A. ve Flemming, W., “Long Term Options for Municipal Water Conservation”, Journal of the American Water Works Association, USA, March 1989. [http://www.gamakimya.com.tr/denizsuyu\\_aritimi.asp](http://www.gamakimya.com.tr/denizsuyu_aritimi.asp)

Öztürk, A. “Tuzluluk ve Sodyumluluğun Oluşumu, Bitki ve Toprağa Etkileri”, Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, 20-21 Mayıs 2004, s:1-15, DSİ, Ankara.

Rowe D. R., Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse, ISBN: 087371671X, 1995, US Water News.

UNEP, Water and Wastewater Reuse - An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management , Nov 2005.