İçki Sanayi

T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

İÇKİ SANAYİ

ISBN:
Baskı: Mayıs 2018
Basım:
Yayıncı Sertifika No:
Kitap Tasarım: Prof.Dr. Bilgehan NAS - Mücahit ÖZ
Kaynakça Bilgisi:
Prof.Dr. Bilgehan NAS, Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı: Sanayi Sektörleri Uygulama Kılavuzları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018, Ankara

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı: Sanayi Sektörleri Uygulama Kılavuzları" Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenen ve Selçuk Üniversitesi tarafından yürütülen **"ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM PROJESİ"** kapsamında hazırlanmıştır.

Bu eserin tüm hakları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na aittir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yazılı izni olmaksızın bu yayının hiçbir bölümü; herhangi bir şekilde yeniden üretilemez, basılı yada dijital yollarla çoğaltılamaz. Bu kitapta verilen bilgiler tavsiye niteliğindedir. Bilgilerin kullanımından doğacak sorumluluklar ve olası zararlardan yazar sorumlu tutulamaz.

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi"

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Selçuk Üniversitesi arasında 08.06.2017 tarihinde imzalanan protokol ile başlatılmıştır.

İdare: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü

Kamu Hizmet Sunucusu: Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Proje Koordinatörü: Prof.Dr. Bilgehan NAS

Proje Ekibi:

Prof.Dr. Bilgehan NAS	Selçuk Üniversitesi, Çevre Müh. Böl.
Prof.Dr. Sinan UYANIK	Harran Üniversitesi, Çevre Müh. Böl.
Y.Doç.Dr. Ahmet AYGÜN	Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Böl.
Y.Doç.Dr. Selim DOĞAN	Selçuk Üniversitesi, Çevre Müh. Böl.
Arş.Gör. Taylan DOLU	Selçuk Üniversitesi, Çevre Müh. Böl.
Mustafa COP	Çevre Yüksek Mühendisi
Kaan Batuhan NAS	Çevre Mühendisi
Sefa TURGUT	Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR 5
ŞEKİL LİSTESİ 6
TABLO LİSTESİ 6
ÖZET 10

I. BÖLÜM: ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI 12

GİRİŞ 13
TÜRKİYE'DE SU VE ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM POTANSİYELİ 16
ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA RİSKLER VE FAYDALAR 20
ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM ALANLARI 23
ARITILMIŞ ATIKSULARIN SANAYİDE YENİDEN KULLANIMI 25
ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 39
KAYNAKLAR 49

II. BÖLÜM: SANAYİ SEKTÖRLERİ UYGULAMA KILAVUZLARI 52

İÇKİ SANAYİ

ALKOLSÜZ İÇKİLER, MEŞRUBAT ÜRETİMİ SEKTÖRÜ 65
GAZLI İÇECEKLERİN ÜRETİMİ 68
GAZLI İÇECEK SEKTÖRÜNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU 74
GAZLI İÇECEK SEKTÖRÜNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI 76
DEĞERLENDİRME 82
KAYNAKLAR 83

Editör Hakkında

Prof.Dr. Bilgehan NAS, 1995 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1995 yılında Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde Arş.Gör. olarak göreve başladı. 1998 yılında Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği ABD'da Yüksek Lisans, 2002 yılında Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ABD'da Doktora Eğitimini tamamladı. 2008-2009 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri'nde Minnesota Üniversitesinde TÜBİTAK bursu ile araştırma yaptı.

Halen Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmakta ve 2002 yılından bu yana, lisans düzeyinde "Atıksu Arıtımı", "Atıksu Arıtımı Yıl içi Uygulaması" " Su Kalitesi Yönetimi" ve "Arıtma Tesisleri İşletmesi" derslerini, lisansüstü düzeyde ise; "Biyolojik Atıksu Arıtma Sistemleri: Teori, Tasarım ve İşletme" dersini ve "Su ve Atıksu Arıtma Ekipmanları" derslerini yürütmektedir.

2006 yılında Selçuk Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nde kurduğu Arbiotek Çevre Çözümleri Araştırma Geliştirme Ltd. Şti'nin ARGE Direktörüdür.

Üniversite, TÜBİTAK, Bakanlıklar ve Belediyeler tarafından desteklenmiş 30'dan fazla araştırma ve uygulama projesini hayata geçirmiştir. 60'den fazla uluslararası, 50'dan fazla ulusal yayın ve bildirisi bulunmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinin tasarımı, revizyonu, fizibilitesi, atıksu geri kazanımı konusunda çok sayıda araştırma ve uygulama projesi yürütmüş, atıksu arıtma tesislerinde işletme sorunları ile ilgili eğitimler vermiştir. İLBANK ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığından onaylı 10'dan fazla evsel atıksu arıtma tesisi uygulama projesinin koordinatörlüğünü yapmıştır.

2016 yılında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenen **"Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi (TÜRAAT)"** projesinin koordinatörlüğünü yürütmüştür.

Türkiye'de arıtılmış atıksuların geri kazanımında ilk uygulamalardan olan ve Konya atıksu arıtma tesisi çıkış sularının kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılan **"Mor Şebeke"** projesinin 2010 yılında pilot tesis kurulumu, işletilmesi ve ardından 2011 yılında gerçek ölçekli tesis fizibilite ve uygulama projelerini yürütmüştür.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında öncü ülkeler olan; ABD, Singapur, Namibya ve Belçika'daki atıksu arıtma tesisleri ve geri kazanım tesislerinde incelemelerde bulunmuştur.

2017 yılında yayınlanan, **"Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri"** adlı kitabın yazarıdır.

TEŞEKKÜR

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı, Dünya'da son yıllarda hızlı bir şekilde özellikle su stresi altındaki ülkelerde yaygınlaşırken, bazı ülkelerde doğrudan veya dolaylı içmesuyu olarak kullanım noktasına kadar ilerlemiştir.

Ülkemizde arıtılmış evsel atıksuların yeniden kullanımında uygulamalar olsa da ülkemizin yeniden kullanım potansiyelinin çok altındadır. Bu potansiyelin uygulamaya dönüşmesinde önemli katkıları olacağına inandığım ve ülkemizde bu konuda yapılan en kapsamlı projenin yürütülmesi görevini Selçuk Üniversitesi'ne verdikleri için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Müsteşarı Prof.Dr. Mustafa ÖZTÜRK'e, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne, Su ve Toprak Yönetimi Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Projenin Üniversitemiz tarafından yürütülmesi sürecinde destek olan Selçuk Üniversitesi Rektörü Prof.Dr. Mustafa ŞAHİN ve Mühendislik Fakültesi Dekanı Prof.Dr. Ferruh YILDIZ'a teşekkür ederim.

Proje ekibinde yer alan;
Prof.Dr. Sinan UYANIK, Y.Doç.Dr. Ahmet AYGÜN, Yrd.Doç.Dr. Selim DOĞAN, Arş.Gör. Taylan DOLU, Çevre Yüksek Müh. Mustafa COP, Çevre Müh. Sefa TURGUT, Çevre Müh. Kaan Batuhan NAS'a değerli katkıları için teşekkür ederim.

Atıksu arıtma tesisi ve sanayi tesisi incelemelerimizde bilgi paylaşımı yapan yerel yönetimlere ve sanayicilerimize de bu kitabın hazırlanmasında kullandığımız bazı bilgilerin ve verilerin paylaşılmasında ki izinleri için şükranlarımı arz ederim.

Sanayi sektörleri uygulama kılavuzlarının sanayiciler için atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımında bir kılavuz olarak kullanılabilmesi dileğimle.

PROF.DR. BİLGEHAN NAS
Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Proje Koordinatörü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Su ve atıksu döngüsü 13
Şekil 2. Su ve atıksu döngüsünde yeniden kullanım 14
Şekil 3. Çeşitli ülkelerin kişi başına yıllık su tüketim miktarları 16
Şekil 4. Falkenmark Su Stres Endeksi'ne göre havzalarda kişi başına düşen su miktarı 17
Şekil 5. Türkiye 2012 ve 2023 su kullanım oranları 18
Şekil 6. Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre sektörel su kullanımlarının dağılımı ve Türkiye'de sektörel su kullanımı 19
Şekil 7. AB ülkeleri yeniden kullanım miktarları 19
Şekil 8. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı alternatifleri 23
Şekil 9. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları 23
Şekil 10. Dünya'da atıksuyun yeniden kullanım alanları 24
Şekil 11. Ülkemizde endüstrilerde kullanılan suyun çekildikleri kaynaklara göre dağılımı 27
Şekil 12. Endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımının yıllara göre değişimi 27
Şekil 13. Termik santrallerde kullanılan suyun son kullanım alanlarına göre dağılımı 27
Şekil 14. İmalat sanayinde kullanılan suyun son kullanım alanlarına göre dağılımı 28
Şekil 15. İmalat sanayinde kullanılann suyun alt sektörlere göre dağılımı 28
Şekil 16. İmalat sanayinde endüstriyel su tüketimi fazla olan alt sektörlerde endüstriyel suyun son kullanım alanları 29
Şekil 17. Üretim tesisinde su ve atıksu döngüsü 30
Şekil 18. Endüstriyel proseste su ve atıksuyun kullanımı 32
Şekil 19. Soğutma kulesi su akım şeması 33
Şekil 20. Buhar kazan sistemi su ve buhar akım şeması 35
Şekil 21. Sanayi sektöründe proses suyu hazırlama 37
Şekil 22. Endüstri'de atıksuyun yeniden kullanım alanları 38
Şekil 23. Suyun yeniden kullanım alternatifleri 39
Şekil 24. Atık suların yeniden kullanımında uygulanabilecek arıtma teknolojileri 40
Şekil 25. Arıtma proseslerinde atıksuyun geri dönüşüm oranı 40
Şekil 26. Filtrasyon proseslerine göre giderilen kirleticileri 41
Şekil 27. Filtrasyon tiplerine göre giderilen kirleticiler 45
45

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Türkiye'nin su potansiyeli 17
Tablo 2. Dünyada ve ülkemizde suyun sektörel kullanım durumu(FAO 2012) 18
Tablo 3. Avrupa ülkelerinde kullanılan endüstriyel su oranları 26
Tablo 4. Ülkemizde endüstrilerin su ve atıksu istatistikleri 26
Tablo 5. Farklı sanayi sektörlerinde oluşan atıksuların karakteristik özellikleri 31
Tablo 6. Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri 34
Tablo 7. Tavsiye edilen kazan suyu limitleri 35
Tablo 8. Yoğun su tüketimi olan endüstrilerde proseste kullanılacak olan su özellikleri 36
Tablo 9. Artan arıtım seviyeleri için uygun yeniden kullanım örnekleri 42
Tablo 10. Filtre tipi özelliklerinin özeti 45

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Şebeke suyu) 59
Şekil 2.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yerüstü suyu) 60
Şekil 3.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yeraltı suyu) 61
Şekil 4.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Arıtılmış evsel/kentsel atıksu) 62
Şekil 5.Sanayi tesisinde yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı 63
Şekil 6.Sanayi tesislerinde su yeniden programı oluşturmada izlenebilecek adımlar 64

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.Proje kapsamında incelenen ve uygulama kılavuzları hazırlanan sanayi sektörleri 55
Tablo 2.Sanayi tesisleri için yeniden kullanım kaynakları ve uygulama alanları matrisi 57
Tablo 3.Sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi örneği 58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.Alkolsüz içecek sektörü alt kategori dağılımı 67
Şekil 2.Gazlı içecek sektörü alt kategori dağılımı 67
Şekil 3.CIP ünitesi akım şeması 71
Şekil 4.Kesikli şekilde çalışan gazlı içecek üretim akım şeması 73
Şekil 5.Sürekli şekilde çalışan gazlı içecek üretim akım şeması 73
Şekil 6.Gazlı içecek sektörü su kullanımı ve atıksu oluşumu 74
Şekil 7.İncelenen gazlı içecek tesisinin atıksu arıtma tesisi akım şeması 77
Şekil 8.Arıtılmış atıksuların geri kazanım tesisi akım şeması 78
Şekil 9.CIP son durulama, membran prosesleri konsantre suları ve su hazırlama ünitesi ters yıkama suları geri kazanım tesisi akım şeması 79
Şekil 10.Su hazırlama ünitesi akım şeması 79
Şekil 11.Gazlı içecek sektöründe su kaynakları, su kullanımı, atıksu oluşumu ve yeniden kullanım diyagramı 81

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.Gazlı içecek sektöründe istenilen proses suyu kalite parametreleri 69
Tablo 2.Proseste su kullanımı 75
Tablo 3.Proseste atıksu oluşumu 75
Tablo 4.Gazlı içecek sektörü atıksu karakterizasyonu 76
Tablo 5.Gazlı içecek sektörü su kullanım miktarı 77
Tablo 6.İncelenen tesisin atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış analiz sonuçları (2016 yılı ortalaması) 78
Tablo 7.Gazlı içecek üretim tesisi geri kazanım tesisleri analiz sonuçları* 80

ÖZET

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Selçuk Üniversitesi arasında 08.06.2017 tarihinde imzalanan protokol ile gerçekleştirilmiştir.
Proje ile; kentsel ve endüstriyel arıtılmış atık suların yeniden kullanımı için ulusal ve uluslararası uygulamaların ve standartların araştırılarak ülkemize özgü arıtılmış atık suların her türlü yeniden kullanımı için gerekli olan yasal çerçeveyi oluşturmaya yönelik teknik ve idari kriterlerin önerilmesi hedeflenmiştir.
Proje kapsamında; Ülkemizdeki mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinden arıtılmış atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı uygulaması bulunan tüm tesisler ziyaret edilerek mevcut geri kazanım prosesleri, prosesin verimi, ilk yatırım ve işletme maliyetleri, işletme sorunları ve yeniden kullanım kategorileri değerlendirilmiştir.
Çevre ve insan sağlığının korunabilmesi için atık suların yeniden kullanımında son zamanlarda uygulanan arıtma teknolojileri değerlendirilmiştir.
Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin uluslararası mevzuat ve uygulamalar değerlendirilmiş, kentsel ve endüstriyel sektörlerdeki arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin ulusal ve ülkemize özgü yasal düzenlemelerin oluşturulabilmesine çerçeve oluşturabilecek şekilde farklı yeniden kullanım kategorilerinin her biri için (kentsel, tarımsal, çevresel, endüstriyel, akifer besleme, tuzlu su girişinin olduğu alanlarda perde uygulamaları vb.) uygulanabilecek alternatif arıtma teknolojileri, su kalite kriterleri ve izleme sıklıkları önerilmiştir.
Projenin önemli bileşenlerinden biri de sanayi sektörlerinde atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımıdır. Projede; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Ek'inde yer alan sanayi sektörlerinden 6 ana sektör olmak üzere toplam 9 sanayi sektöründe araştırma yapılmıştır.
Proje kapsamında incelenen ve bu kitapta yer verilen sanayi sektörleri aşağıdadır.

MADEN SANAYİ

Maden Sektörü

Hazır Beton Sektörü

GIDA SANAYİ

Sebze, Meyva Yıkama ve İşleme Sektörü

Şeker Üretimi Sektörü

İÇKİ SANAYİ

Alkolsüz İçkiler, Meşrubat Üretimi Sektörü

SELÜLOZ, KÂĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİ

KÖMÜR HAZIRLAMA, İŞLEME VE ENERJİ ÜRETME TESİSLERİ

Termik Santraller

Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralleri

KARIŞIK ENDÜSTRİLER

Organize Sanayi Bölgeleri

Yukarıda verilen sanayi sektörlerinde faaliyet gösteren tesisler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile birlikte değerlendirilerek toplam ülke genelinde farklı bölgelerde bulunan 31 tesis proje kapsamında incelenmek üzere seçilmiştir. İncelenecek sektörler ve o sektörde faaliyet gösteren tesisler seçilirken; sektörün Türkiye'deki yaygınlığı, sektörün su kullanım miktarları, sektörde atıksu geri kazanım ve yeniden kullanım potansiyeli, farklı coğrafi bölgelerde yer alması (su kısıtı, su birim fiyatı açısından) gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen tesisler proje ekibi tarafından ziyaret edilmiş ve hazırlanan bilgi alma formları tesise ilişkin bilgiler yerinde alınmıştır. Tesiste; su kaynağı, su hazırlama prosesleri, su kullanılan ve atıksu oluşan prosesler, atıksu arıtma tesisi değerlendirilerek farklı noktalardan su numuneleri 2017 yılının Haziran-Eylül ayları arasında 3 tekrar olmak üzere farklı tarihlerde alınmıştır. Her bir tesiste tabi olduğu SKKY sektör tablosunda yer alan su kalite parametreleri yanında sektörde muhtemel yeniden kullanım alternatifleri de (proses suyu, sulama suyu, soğutma kulesi/ kazan tamamlama suyu vb) göz önüne alınarak ilave su kalitesi parametreleri de analiz edilmiştir.

Kitap; 1. Bölüm: Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı, 2. Bölüm: Sanayi sektörleri uygulama kılavuzları olmak üzere 2 Bölüm'den oluşmaktadır.

1. Bölümde; Türkiye'nin su potansiyeli ve arıtılmış atıksuların yeniden kullanım potansiyeli, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında riskler ve faydalar, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları incelenmiş, sanayide yeniden kullanım daha detaylı olarak ele alınmıştır. Atıksuların yeniden kullanımında ülkemizde ve yurtdışında uygulanan arıtma teknolojileri değerlendirilmiştir.

2. Bölüm'de sanayi sektörlerinde uygulama kılavuzları verilmiştir. Her bir sanayi sektörü aşağıdaki ana başlıklar çerçevesinde incelenmiştir.
   - Sektörün Dünya'daki ve Türkiye'deki durumu
   - Sektörün üretim prosesi
   - Sektörde su kullanımı ve atıksu oluşumu
   - Sektörde atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı
   - Değerlendirme

   Bu bölümde atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı başlığı altında, ilgili sektörden alınan atıksu numunelerinin ortalama değerleri her bir tesis için verilerek sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, sanayi tesislerinin atıksu geri kazanımı programı oluşturmada izleyecekleri yol haritasına destek olabilecek matrisler ve karar ağaçları oluşturulmuştur.

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

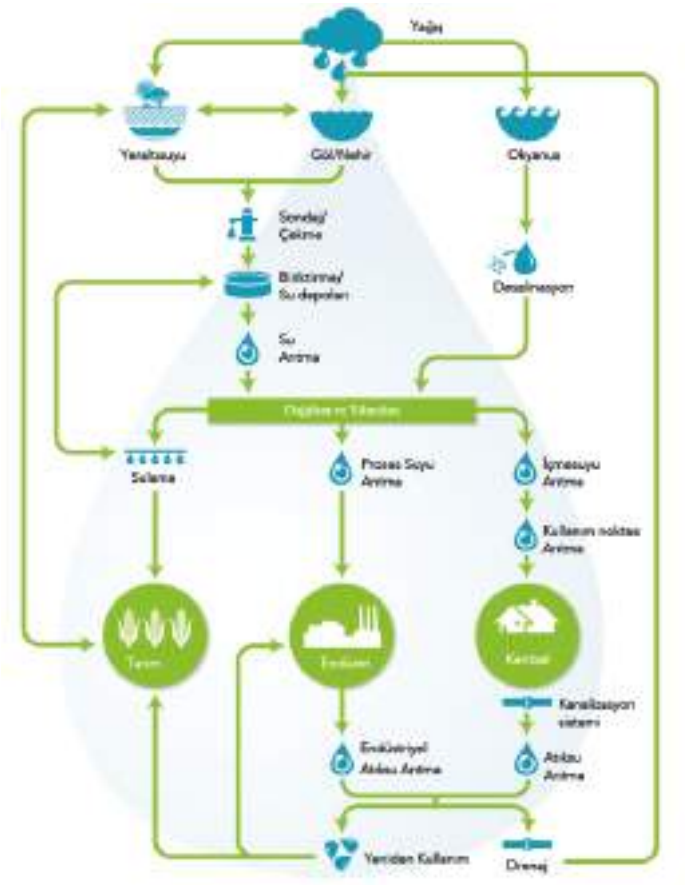
Bölüm Yazarları:

Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Sinan UYANIK
Y. Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Y. Doç. Dr. Selim DOĞAN
Arş. Gör. Taylan DOLU
Çevre Yüksek Müh. Mustafa COP
Çevre Müh. Sefa TURGUT
Çevre Müh. Kaan Batuhan NAS

1 BÖLÜM

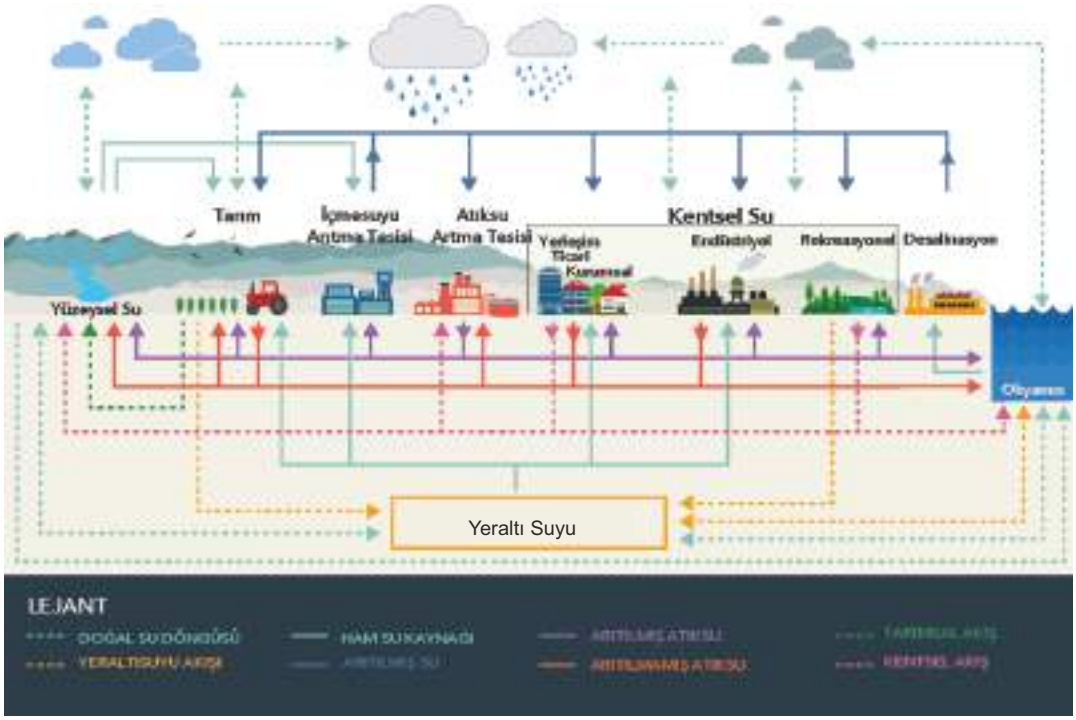
GİRİŞ

Yağışlar ile yeraltısuyu, göl/nehir ve okyanusların beslenmesi ile doğrudan veya içmesuyu arıtma tesisi sonrası içmesuyu temin edilebilceği gibi desalinasyon tesisleri ile denizsuyundan da içme/kullanma suyu temin edilebilmektedir. Su, farklı sektörel kullanımlar (kentsel, tarımsal, endüstri vb) ile tüketilmekte ve evsel/kentsel atıksu arıtma tesisleri ile endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde arıtılarak veya arıtılmadan alıcı ortamlara (göl, nehir, deniz vb) deşarj edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Su ve atıksu döngüsü

Yeryüzünde doğal su döngüsü içerisinde, içmesuyu temini (yerüstü, yeraltı suyu, denizsuyu) ve atıksu oluşumu ile çeşitli sektörel su kullanımlarına bağlı olarak arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları Şekil 2'de özetlenmiştir. Evsel atıksular ve endüstriyel atıksular arıtıldıktan sonra farklı alanlarda yeniden kullanılabilir.



Şekil 2. *Su ve atıksu döngüsünde yeniden kullanım (WWAP,2017'den adapte edilmiştir).*

Yeniden kullanım ile ilgili Dünya'da çeşitli terminolojiler kullanılmaktadır.

"Su yeniden kullanımı (water reuse)", atıksu arıtma tesisleri yardımıyla kullanılmış suyun, su çevrimine geri kazandırılması döngüsünü ifade eder. Bu nedenle, suyun yeniden kullanımı, ilave bir su kaynağı değil, amaçlanan kullanımlara göre hazırlanması gereken bir üründür (EU, 2016).

Dünya'da suyun yeniden kullanımını tanımlamak için kullanılan bir dizi terminoloji ve tanımlar vardır: **suyun yeniden kullanımı (water reuse), su geri dönüşümü (water recycling), arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı (treated wastewater reuse) ve geri kazanılmış su (reclaimed water)** alternatifli olarak kullanılmakta ve bu da ülkeler arasında karışıklığa yol açmaktadır (EPA, 2012).

Öngörülen kullanıma bağlı olarak su yeniden kullanım sistemleri, farklı arıtma yöntemleriyle ulaşılan farklı kalite standartlarına sahip olabilir. Su yeniden kullanımı için kullanılan bir dizi tanım aşağıdaki özetlenmiştir (EU, 2016).

Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (Urban Waste Water Treatment Directive)

Kentsel Atık Su Arıtma Direktifi (UWWTD), "suyun yeniden kullanımı" tanımını içermezken, 12. Madde 'arıtılmış atık su uygun olduğunda yeniden kullanılmalıdır' ifadesi yer almaktadır.

Suyun Yeniden Kulllanımında Ortak Uygulama Stratejileri Klavuzu (CIS Guidelines on Water Reuse)

Su yeniden kullanımı, atık sudan veya herhangi bir marjinal sudan üretilen ve amaçlanan kullanımı için uygun standarda getirilen arıtılmış suyun kullanılmasıdır.

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Standardization Organisation, ISO)

ISO 6075-1: 2014 "Sulama projeleri için arıtılmış atık su kullanımına "ilişkin esaslar" bölümünde suyun yeniden kullanımını "yararlı kullanım için arıtılmış atık suyun kullanılması" olarak tanımlanmaktadır; Belediyeler tarafından toplanan atıksu evsel, kamusal, ticari, endüstriyel kaynaklardan oluşan atık veya kullanılmış su ile yağmur suyu içerebilir".

Avustralya'da Su Geri Kazanımı (Recycled Water in Australia)

Avustralya'da su geri kazanımı, suyun tekrar kullanılması için kullanılan genel terimdir. "Atıksu çıkış (deşarj) akımından alınan ve yararlı amaçlar için güvenli ve sürdürülebilir şekilde kullanılmak için uygun bir seviyeye getirilen su" olarak tanımlanır. Bu, geri kazanılmış suyu içerebilen genel bir terimdir ".

ABD Çevre Koruma Ajansı, (US Environment Protection Agency, US EPA)

ABD EPA, geri kazanılmış suyu belirli su kalitesi kriterlerine göre arıtılmış olan kentsel atıksuların yararlı bir şekilde yeniden kullanılabilmesi olarak nitelendirmiştir. EPA aşağıdaki kategorileri birbirinden ayırmaktadır:

Fiilen yeniden kullanım (De facto reuse): Arıtılmış atık suyun yeniden kullanılmasının gerçekte uygulandığı, ancak resmen tanınmadığı bir durum (Örneğin, bir atık su arıtma tesisi deşarj noktasının mansabında yer alan bir içme suyu temin noktası);

Doğrudan içmesuyu olarak yeniden kullanım (Direct potable reuse, DPR): Geri kazanılmış suyun (mühendislik tasarımı yapılmış bir depolama olsun veya olmasın), doğrudan ileri atıksu arıtma tesisinin yanında veya uzağında bulunan içme suyu arıtma tesisine verilmesi;

Dolaylı içmesuyu olarak yeniden kullanım (Indirect potable reuse, IPR): içme suyu arıtımından önce çevresel bir tamponu takiben; içme suyu kaynağına (yüzey veya yer altı suları) geri kazanılmış suyun eklenmesi,

İçilebilir olmayan yeniden kullanım (Non potable reuse): İçme amaçlı yeniden kullanımı içermeyen tüm yeniden kullanım uygulamaları

İçmesuyu olarak yeniden kullanım (Potable reuse): İçme suyu kaynaklarına geri kazanılmış suyun planlı olarak ilave edilmesi.

Global Water Research Coalition (Küresel Su Araştırma Koalisyonu)

'Su Yeniden Kullanımının Durumu ve Rolü' üzerine yapılan araştırmada, Küresel Su Araştırma Koalisyonu, suyun yeniden kullanımı ve geri kazanılmış su için aşağıdaki tanımları kullanmaktadır:

Geri kazanılmış su (Reclaimed water): faydalı amaçlar için kullanılan arıtılmış kentsel ve diğer atıksular;

Su yeniden kullanımı (Water reuse): herhangi bir amaç için geri kazanılmış suyun kullanılması;

Dolaylı içmesuyu olarak yeniden kullanım (Indirect potable reuse): Geri kazanılmış suyun çevresel bir tamponun sonrasında ham su kaynağına ilave edilmesi. Karışım tipik olarak içme suyu olarak dağıtımdan önce ilave arıtıma tabi tutulur. Dolaylı içmesuyu olarak yeniden kullanımın tanımı "planlı dolaylı içme suyu olarak yeniden kullanma" (su kaynaklarında artış sağlamak amacıyla içilebilir su kaynağına geri kazanılmış suyun deşarjı) veya "plansız dolaylı içme suyu olarak yeniden kullanma" (yani, arıtılmış atık suyun, içme suyu kaynağının arttırılması için amaçlanmış bir araç olarak değil, bir bertaraf yöntemi olarak bir içme suyu kaynağına deşarjı) olarak ayrılabilir.

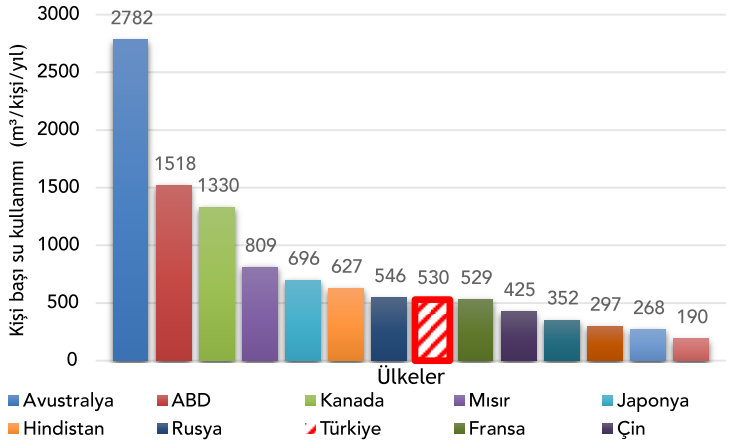
Doğrudan içme suyu olarak yeniden kullanım (Direct potable reuse): Arada bir depolama olmaksızın geri kazanılmış suyun doğrudan bir su dağıtım sistemine girişi (borudan-boruya)

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20 Mart, 2010)

Ülkemizde atıksuların yeniden kullanımının tanımı, hiç bir yönetmelikte yapılmamış olmakla birlikte Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nin Ek 7'sinde "Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri" belirlenmiştir. Ülkemizde bu konudaki tek mevzuat düzenlemesi de bu tebliğdir.

TÜRKİYE'DE SU VE ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM POTANSİYELİ

Dünyada ülkelerin nüfusu, su potansiyelleri, gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak kişi başına su tüketim miktarları değişmektedir. Şekil 3'te çeşitli ülkelerin kişi başına su tüketim miktarları incelendiğinde Avustralya, ABD ve Kanada'nın en yüksek su tüketim değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Türkiye ise kentsel, sanayi ve tarımsal kullanım değerlerinin hepsini dikkate alarak, kişi başına yılda 530 m^3 su tüketimi olduğu bilinmektedir (Gleick ve diğ., 2011).



Şekil 3. *Çeşitli ülkelerin kişi başına yıllık su tüketim miktarları*

Dsİ istatistiklerine göre Türkiye'de yıllık kişi başına düşen su miktarı yaklaşık 1500 m^3 olup ülkemiz su varlığı açısından değerlendirildiğinde Şekil 4'te Falkenmark İndeksine göre su azlığı yaşayan veya su sıkıntısı olan ülke sınıfına girmektedir (Muluk ve diğ., 2013). Bilindiği gibi bu indeks ülkelerin su varlığını yıllık kişi başına düşen su miktarı ile değerlendirmektedir. Bu bağlamda su kıtlığı veya stres durumu tayininde kişi başına düşen su miktarı açısından;

- 1.700 m^3'ten fazla olması durumunda su sorunu olmayan
- 1.700-1.000 m^3 arasında ise su sıkıntısı olan
- 1.000-500 m^3 arasında ise su kıtlığı olan
- 500 m^3'ten az olması durumunda ise mutlak su kıtlığı olan ülke veya bölgede olarak tanımlanmaktadır (Falkenmark ve Lindh, 1976).

Şekil 4. *Falkenmark Su Stres Endeksi'ne göre havzalarda kişi başına düşen su miktarı (Muluk ve diğ., 2013)*

Türkiye'nin 1951-2000 dönemi hidrometeorolojik verileri ile ortalama yağış yüksekliği 643 mm/yıl olup yılda ortalama $501x10^9 m^3$ suya tekabül etmektedir. Düşen yağışın ~%55'i ($274x\ 10^9 m^3$) buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere geri dönmekte, $69x10^9 m^3$'lük kısmı (~%14'ü) yüzeyaltı ve yeraltı sularını beslemekte, $158x10^9 m^3$ (%31) 'lik kısmı ise akışa geçerek akarsular vasıtası ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır (ÇOB, 2008). Yüzeyaltı ve yeraltı sularını besleyen $69x10^9 m^3$'lük suyun $28x\ 10^9 m^3$'lük kısmı (~%41) pınarlar vasıtası ile tekrar yerüstü suyuna katılmaktadır. Böylece yıllık toplam akış $186x10^9 m^3$ olmaktadır.

Ayrıca komşu ülkelerden gelen ~ $7x10^9 m^3$/ yıl su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli $193x10^9 m^3$'e ulaşmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen $41x10^9 m^3$ de dikkate alınmakla ülkenin toplam yenilenebilir su potansiyel, $243x10^9 m^3$/ yıl olarak hesaplanmaktadır. Tablo 1'de Türkiye'nin su potansiyeli verilmiştir.

Teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde çeşitli maksatlar için tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli, yurt içindeki akarsulardan $95x10^9 m^3$ ve komşu ülkelerden gelen akarsulardaki $3x10^9 m^3$ su ile birlikte yıllık ortalama olarak $98x10^9 m^3$'tür. Teknik ve ekonomik olarak çekilebilir yeraltı suyu potansiyeli de $14x10^9 m^3$ (toplamın ~%34'ü) olarak hesaplanmıştır (Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2014).

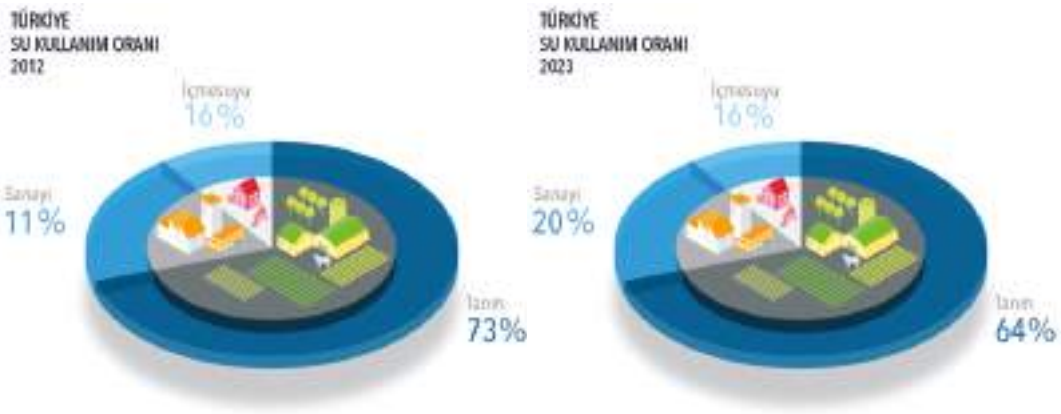
Tablo 1. *Türkiye'nin su potansiyeli* (http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, Erişim Tarihi: 28.10.2017)

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

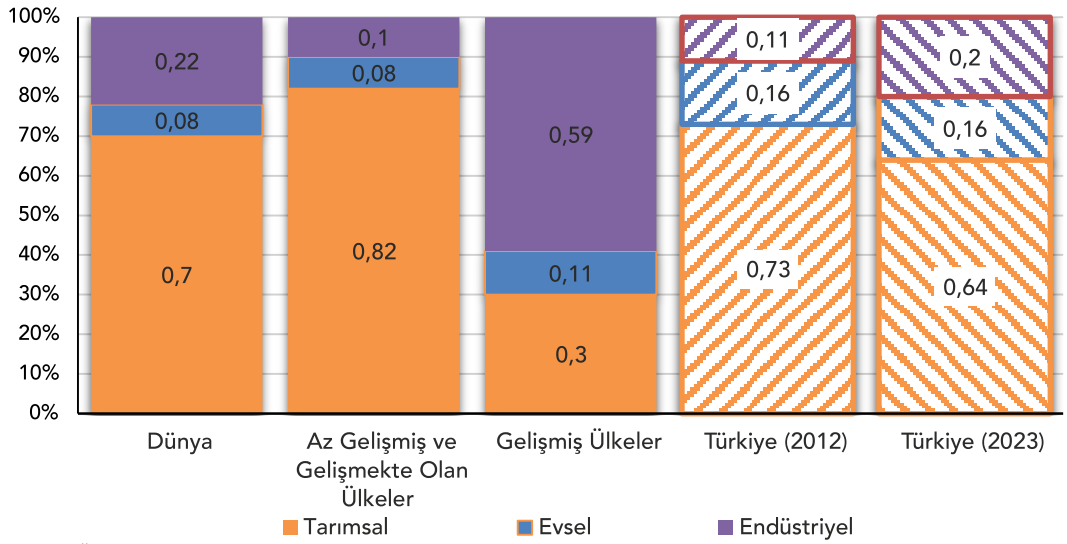
Ülkemizde mevcut 112 milyar m^3 kullanılabilir su kaynağından mevcut yararlanma oranı yaklaşık %39 olup, 32 milyar m^3'ü sulamada, 7 milyar m^3'ü içme ve kullanmada, 5 milyar m^3'ü sanayide kullanılmaktadır. Bu durumda ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık % 73'ü sulama, % 11'i sanayi, % 16'i kentsel tüketim için kullanılmakta iken bu oranlar Avrupa'da ise % 33, % 51 ve % 16'dır. Tablo 2'de dünyada ve ülkemizde suyun sektörel kullanımı verilmiştir. Şekil 5'te Türkiye'de 2012 ve 2023 yılı su kullanım oranları gösterilmiştir.

Tablo 2. *Dünyada ve ülkemizde suyun sektörel kullanım durumu (FAO, 2012)*

Sektör Adı	Dünya (%) 2006 yılı	Türkiye 2012 yılı başı (milyar m^3/yıl)	Türkiye Oran %	Türkiye 2023 (milyar m^3/yıl)	Türkiye Oran %
Sulama	69	32	73	72	64
İçmesuyu	12	7	16	18	16
Sanayi	19	5	11	22	20
Toplam	100	44	100	112	100



Şekil 5. Türkiye 2012 ve 2023 su kullanım oranları

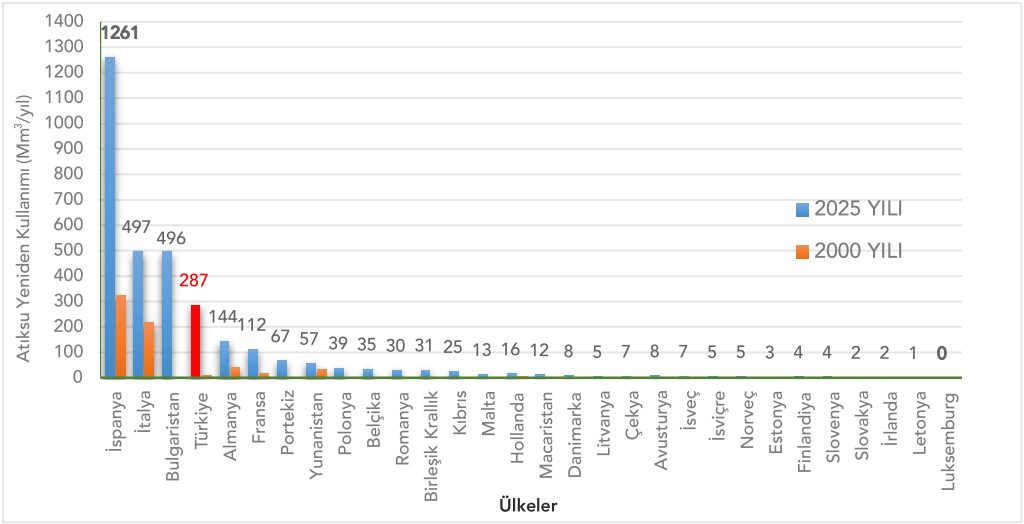


Şekil 6. *Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre sektörel su kullanımlarının dağılımı ve Türkiye'de sektörel su kullanımı*

Şekil 6'da ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre sektörel su kullanımlarının dağılımı ve Türkiye'de sektörel su kullanımının diğer ülkeler ile karşılaştırılması verilmiştir.

AB tarafından desteklenen AQUAREC Projesi (2006) ile AB'de arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını tahmin edecek bir model geliştirilmiştir. Buna göre; 2000 yılında mevcut yeniden kullanım miktarları ve 2025 yılında modele göre ülkelerin arıtılmış atıksuları yeniden kullanım potansiyelleri belirlenmiştir (TYPSA, 2013).

Buna göre Şekil 7'de 2000 yılı için, Türkiye mevcut durumda İspanya, İtalya ve Almanya hariç olmak üzere diğer tüm AB üye ülkeleri gibi çok düşük yeniden kullanım miktarına sahip iken, model sonuçlarına göre 2025 yılında İspanya, İtalya ve Bulgaristan'ın ardından 287 milyon m^3/yıl yeniden kullanım potansiyeli ile 4. sırada yer aldığı görülmektedir. Bu potansiyel değerlendirildiğinde ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına ilişkin araştırmaların, mevzuat hazırlıklarının yapılması önem kazanmaktadır.



Şekil 7. *AB ülkeleri yeniden kullanım miktarları*

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA RİSKLER VE FAYDALAR

Suyun yeniden kullanımı çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sunarken aynı zamanda olası dezavantajları da beraberinde getirir. Sağlık ve çevre güvenliğini sağlamak için suyun yeniden kullanılmasıyla birlikte ortaya çıkan risklerde giderilmelidir. Su yönetiminde suyun tekrar kullanılmasına ilişkin ele alınması gereken önemli potansiyel faydalar ve riskler aşağıda özetlenmiştir (CIS, 2016).

ÇEVRESEL FAYDALAR

- Suyun yeniden kullanımıyla, akarsuların ve göletlerin doğal ve yapay debisi arttırılabilir, bu da yer üstü (yüzey) su miktarını arttırmaya yardımcı olur. Geri kazanılan suyla beslenen akarsu, sulak alan ve göletlerde sucul ekosistemin tekrar canlanmasına neden olmaktadır.
- Akifer deşarjında, suyun kimyasal özelliklerinin olumsuz bir şekilde etkilenmemesi sağlanabilirse; geri kazanılan su akiferlere deşarj edilerek suyun miktarı istenen seviyelerde tutulabilir, yeraltı sularının durumunun bozulmasını önlemeye yardımcı olur.
- Temiz su kaynağının sınırlı olduğu bölgelerde dahil olmak üzere, kıyı bölgelerde ki atıksu arıtma tesislerinde arıtılan sular denize deşarj edilir bu da tatlı su kaynaklarının boşa gitmesine neden olur. Suyun yeniden kullanımı, nüfus değişiklikleri ve iklim değişikliği sonucu suyun talebinde ki değişimi yönetebilmek adına da önemlidir.
- Suyun yeniden kullanılmasıyla su sıkıntısı çeken alanlarda alternatif bir kaynak oluşturulur, böylece suyun kullanılabilirliği arttırılır ve mevcut su kaynağının miktarı da korunmuş olur.
- Su sıkıntısı çeken ülkelerde suyun yeniden kullanılması, desalinasyon (tuz arıtımı) gibi alternatif su temini yöntemlerine göre daha düşük çevresel etkiye neden olabilir.
- Suyun tekrar kullanımı ile sulama için besin maddeleri sağlanarak, suni gübre ihtiyacı azaltılabilir.
- Planlanarak yapılan suyun yeniden kullanımı, atıksuyun doğrudan kullanımı gibi planlanmamış yeniden kullanımla yaratılabilecek çevre ve insan sağlığı üzerindeki riskleri azaltır (EU, 2016).

SAĞLIK VE ÇEVRE İÇİN RİSKLER

- Arıtılmamış atıksular hem insan sağlığı hem de çevre için risk oluşturabilecek kirletici madde ve organizmalar içerir. Bu maddeler ve organizmalar ikincil (biyolojik) arıtma prosesleriyle giderilir ancak suyun tekrar kullanılması için ilave ileri arıtma proseslerinden faydalanılması gerekir.
- Eğer su tekrar kullanılmadan önce uygun bir şekilde arıtılmaz ise, çevre ve insanlar sulama sırasında patojenlere ve kirleticilere maruz kalabilirler. Suyun pişmemiş- yıkanmamış mahsülle direkt teması halinde patojenler riskleri ortaya çıkarabilir. Zamanla, kirletici maddeler topraklarda ya da yer altı sularında birikebilir, bu da çevresel bozulmaya neden olur.
- Suyun arıtılması ve uygun yönetimiyle tekrar güvenli bir şekilde kullanılması mümkün olabilir. Nüfus ve çevrenin güvenliğini sağlamak için bu riski anlamak ve değerlendirmek önemlidir. Suda bulunabilecek maddeler, toprağa sızarken heterojen olarak farklı tutunma, bozunma ve davranışa sahip yapıdadır. Bazı maddeler diğerlerinden daha kalıcıdır ve bazı maddeler için (mikro kirleticiler de dahil olmak üzere) sağlık ve çevre riskleri hakkında öngörülemeyen kalıntıları vardır.
- Su yeniden kullanımından kaynaklanan riskleri kontrol altına almak için, arıtılmış atık su kalitesine ek olarak, alıcı ortamdaki suyun kalitesi, yeraltı su seviyesi, vadoz zonunun derinliği (akifer deşarjı için) ve toprak drenajı (sulama için) göz önüne alınmalıdır.
- Suyun yeniden kullanımı, ikincil arıtımdan geçmiş atık suyun deşarjlarını önleme açısından çevreye faydalı olabilir. Bununla birlikte, deşarjların çevre üzerindeki beklenmedik olumsuz etkilerinden kaçınmak için su kütlesinin debisini korumak, sürekliliğini dikkate almak önemlidir.
- Geri kazanılmış su klor ile dezenfekte edildiğinde, suyun tekrar kullanılmasının olumsuz bir etkisi de klorun dezenfeksiyon yan ürünlerinin sucul sistemlere verebileceği zarardır (EU, 2016).

EKONOMİK FAYDALAR

- Su bir kaynaktır. Bu kaynağın kaybından kaçınarak, ekonomik yararlar sağlanabilir.
- Suyun yeniden kullanılması suyun daha uygun fiyatlandırılmasını teşvik edebilir ve bu da su talebini azaltmak için özendirici olabilir.
- Geri kazanılan suyun, su sıkıntısı çeken bölgelerde bulunan arazilerde kullanılmasına izin verilmesi, suyun yeniden kullanılması ile arazi değeri üzerinde olumlu bir etki yaratabilir. Geri kazanılan su, tarımsal sulamada kullanıldığında daha verimli tarımı teşvik edebilir.
- Su geri kazanım sektörü, artan rekabet gücü ile yenilikçi ve dinamik bir su geri kazanım endüstrisini teşvik edebilir (EU, 2016).

EKONOMİK RİSKLER

- Suyun yeniden kullanımı, su kütlelerinden su temini ile karşılaştırıldığında daha pahalı bir seçenek olarak görülmektedir. Özellikle su sektöründe maliyet iyileştirme ve mali sürdürülebilirlik ihtiyacı göz önünde bulundurulur. Daha fazla dikkate alınması gereken ise suyun yeniden kullanımının arz ve talebini desteklemek için doğrudan veya dolaylı olarak devlet desteklerinden yararlanılabilir. Bununla birlikte, konvansiyonel su kaynaklarının maliyetinin genellikle devlet tarafından finanse edildiği veya masraflarının özellikle sulama için düşük tutulduğu unutulmamalıdır.
- Arıtma sistemleri, su dağıtım sistemleri ve sulama sistemleri de dahil olmak üzere yeniden kullanım projesinin altyapı maliyetleri finansman desteğine ihtiyaç duyabilir ve bu yüzden projelerin ekonomik olarak uygulanabilirliği şartlara bağlı olacaktır (EU, 2016).

- **SOSYAL FAYDALAR**
- Su kullanımıyla mümkün olan artan ekonomik faaliyetler, istihdam gibi sosyal faydalara yol açacaktır. Özellikle önemli turizm endüstrisine sahip ülkeler için suyun yeniden kullanımı, golf sahaları, parklar veya oteller gibi suyla ilgili faaliyetlerin geliştirilmesine izin vererek dolaylı olarak turizmin gelişmesini destekler.
- Su yeniden kullanımı, tarımsal sulama için alternatif bir kaynak sağlayarak gıda güvenliğini artırabilir ve bu da kırsal yerleşimleri ve işletmeleri destekleyebilir.
- Su yeniden kullanımı hem içme suyu hem de atık su dikkate alındığında, su yönetimine daha entegre bir yaklaşım getirebilir (EU, 2016).

SOSYAL RİSKLER

- Bazı ülkelerde, suyun yeniden kullanılması konusundaki kamuoyu algısı negatif olabilir ve suyun yeniden kullanılması uygulamalarına karşı bir güvensizlik olabilir (EU, 2016).

Yukarıda özetlendiği gibi, atık suyun yeniden kullanımı iki önemli temel fayda sağlayabilir. Öncelikle, mevcut su kaynaklarına ilaveten güvenilir bir su kaynağı olarak değerlendirilebilir. İkincisi, arıtılmış atık su deşarjını azaltarak veya ortadan kaldırarak çevresel etkilerin azaltılması ve bunun sonucunda alıcı su ortamlarında su kalitesinin korunmasının sağlamasıdır.

Bu nedenle, havza ölçeğinde bütüncül su yönetimi çerçevesinde değerlendirildiğinde havzanın su kaynaklarının geliştirilmesi yanında alıcı ortamlara deşarj edilen atıksu miktarını azaltır. Bunun yanında, sulamada geri kazanılmış atıksu kullanımı içerdiği besin maddelerinden dolayı gübreye olan ihtiyacı azaltır. Besin elementleri (Azot ve Fosfor) giderimi yapmamak hassas alanlarda yapılacak atıksu arıtma tesislerinde ileri arıtma yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırır.

Besin elementleri açısından hassas su kütleleri ve bu kütleleri etkileyen kentsel alanlar ve nitrata hassas alanlar ile bu alanlarda su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik alınması gereken tedbirlerin yer aldığı "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik" 23.12.2016 tarih ve 29927 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

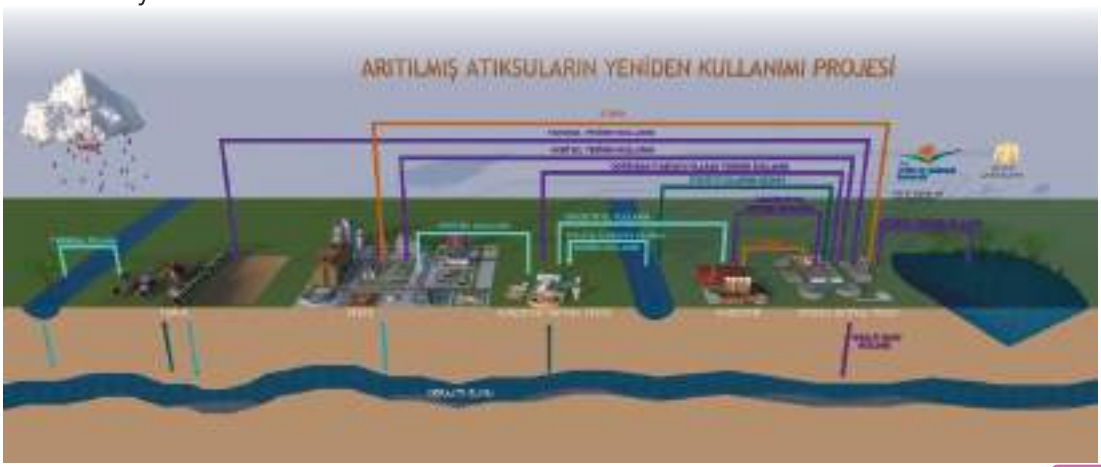
Bu yönetmelik ile ülkemiz yüzölçümünün %50'den fazlası kentsel hassas alan olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile mevcut atıksu arıtma tesislerinden besin elementi giderimi yapılmak üzere ileri arıtıma dönüştürülmesi gereken atıksu arıtma tesislerinde bunun yerine atıksu geri kazanımı uygulaması yapılarak fayda-maliyet açısından daha fizibıl bir çözüme gidilebilir.

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM ALANLARI

Şekil 8 ve 9'da arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları özetlenmiştir. Buna göre evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış atıksular aşağıda verilen farklı alanlarda yeniden kullanılabilir.

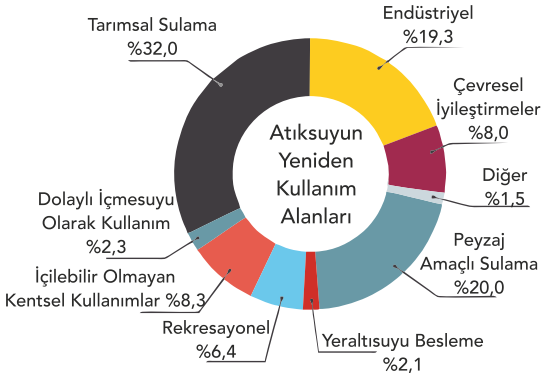
- Kentsel Yeniden Kullanım
- Tarımsal Yeniden Kullanım
- Su Kaynaklarının Desteklenmesi Amacı İle Yeniden Kullanım
  - o Çevresel Yeniden Kullanım
  - o Operasyonel Depolama
  - o Yüzeysel Biriktirme – Su Rezervuarları
  - o Yüzey Suyu Depolama ve Beslemesi
  - o Akifer Beslemesi
- Endüstriyel Yeniden Kullanım

Şekil 8. *Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı alternatifleri*



Şekil 9. *Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları*

2011 yılında; Dünya'da 7 milyar m^3/yıl arıtılmış atıksu yeniden kullanılmış ve bu değerin toplam su kullanımına oranı %0.59'dur. 2030 yılında; Dünya'da 26 milyar m^3/yıl arıtılmış atıksu yeniden kullanılacağı öngörülmektedir ve toplam su kullanımına oranı %1.66'dır (GWI, 2015). Şekil 10'da Dünya'da geri kazanılmış atıksular %32 oranında tarımsal sulama amaçlı yeniden kullanılmaktadır. Tarımsal sulama amaçlı su kullanımını; peyzaj amaçlı sulama %20 ve endüstriyel kullanım %19 ile takip etmektedir. Yeraltı suyunun arıtılmış su ile beslenmesi ise global ölçekte en az yapılan uygulamadır ve oranı %2'dir (GWI, 2016).



Şekil 10. *Dünya'da atıksuyun yeniden kullanım alanları*

Dünya'da; Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, İsrail, Kuveyt, Namibya, Singapur, Güney Afrika, İspanya ve Tunus arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımında önemli projeleri ve uygulamaları olan ülkelerdir.

ABD'e atıksu geri kazanım oranı %7-8 olarak verilmektedir (Miller, 2006 ve GWI, 2009). Geri kazanılan suyun %95'i 4 eyalette (Kaliforniya, Florida, Teksas ve Arizona) gerçekleşmektedir. ABD dışında, suyun yeniden kullanım potansiyelinin daha yüksek olduğu ve farklı su kaynaklarına ihtiyaç duyan ülkelerde bulunmaktadır. Avustralya ve Singapur da dahil olmak üzere bir çok ülke, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımın yüzdesini arttırmak, ileri arıtma teknolojilerini geliştirmek, geri kazanılan suyun daha faydalı kullanımını arttırmak için hedefler belirlemiştir.

Avustralya'da 2013 yılı verilerine göre arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranı %18'dir. 2015 yılı hedefi %30 olarak belirlenmiştir. Suudi Arabistan ise şu anda %16'lık bir yeniden kullanma yüzdesine sahip iken, 2016 yılına kadar bu oranı %65'e çıkarmayı planlamaktadır. Singapur arıtılmış atıksuların %30'unu yeniden kullanmakta ve hamsu kaynaklarını çeşitlendirmek ve su konusunda Malezya'ya bağımlılığını azaltmak için uzun vadeli planlamalar yapmaktadır. Namibya'da içmesuyu ihtiyacının %35'ini geri kazanılmış atıksudan sağlanmaktadır. Geri kazanım tesisi 1968 yılında inşa edilmiştir.

İsrail ise atıksularının %70'ini yeniden kullanarak bu konuda ulusal alanda en yüksek orana sahip ülkedir (EPA, 2012). Çin'de 2013 yılı verilerine göre; arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranı %11.6'dır ve 2020 yılı hedefi %22'dir.

2006 yılında; Avrupa Birliğinde 964 milyon m^3/yıl arıtılmış atıksu yeniden kullanılmıştır ve bunun tüm atıksulara oranı %2.4'dür (Hochstrat ve diğ., 2006). Avrupa'da son yıllar için yeni bir veri bulunmamaktadır. Avrupa'da İspanya ve İtalya öncü ülkelerdir. Tüm Avrupa'da yeniden kullanımın %60'ı İspanya ve İtalya'da gerçekleşmektedir.

Avrupa'da şu anda; 1.1 milyar m^3/yıl arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı söz konusu olsa da potansiyelin çok daha fazla olduğu öngörülmekte ve 2025 yılında 6 milyar m^3/yıl potansiyel öngörülmekle birlikte, AB politikalarında yeniden kullanımı teşvik edici bir düzenleme olmaz ise 2025 yılında 1.7 milyar m^3/yıl değerine ulaşılacağı beklenmektedir (BIO, 2015).

Artılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı: Sanayi Sektörleri Uygulama Kılavuzlarında, yukarıda bahsedilen yeniden kullanım alanlarına değinilmeyip, dünyada %19.3 pay ile önemli bir orana sahip olan endüstriyel yeniden kullanım değerlendirilmiştir.

ARITILMIŞ ATIKSULARIN SANAYİDE YENİDEN KULLANIMI

Su;

- Ucuz ve erişimi kolay bir hammadde olması,
- İyi bir solvent (çözücü) olması,
- İletken özelliklerinin güçlü olması,
- Taşıma için kullanıldığında hammadde özelliklerini bozmaması,
- Enerji kaynağı olması,

gibi özelliklerinden dolayı endüstrilerde hammadde olarak ve/veya üretilen ürünün kalitesini arttırmak amacı ile yardımcı madde olarak endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yoğun su kullanımına ihtiyaç duyan endüstriler;

- Petrol ve doğalgaz rafineleri
- Termik Santraller ve elektrik üretim tesisleri
- Maden endüstrisi
- Gıda ve içecek endüstrisi
- Tekstil endüstrisi
- Kağıt endüsrisi
- Kimya endüstrisi
- Demir çelik endüstrisi

şeklinde sıralanabilir. Tablo 3'te Avrupa ülkelerinde kullanılan endüstriyel su oranları verilmektedir.

Tablo 3. *Avrupa ülkelerinde kullanılan endüstriyel su oranları (http://ec.europa.eu/eurostat)*

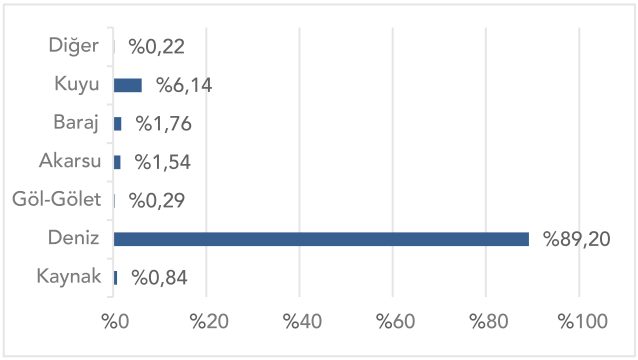
	Gıda End. (%)	Kağıt End. (%)	Petrol Rafineleri ve Kimya End. (%)	Metal Üretimi (%)	Elektrik üretimi ve dağıtımı (Soğutma için su kullanımı) (%)	Maden ve Taş ocakçılığı (%)
Belçika (2009)	2,2	0,9	16,6	2,2	76,5	0,8
Bulgaristan (2011)	0,7	0,6	1,9	0,5	94,6	0,6
Çek Cumhuriyeti	1,5	4,5	10,5	3	75,4	3,3
Almanya (2010)	1,6	1,9	10,7	2,6	78,3	3,4
İspanya (2010)	3,2	2	5,9	2,5	84,4	0,1
Kıbrıs (2010)	0,2	0	0	0	99,4	0,1
Letonya(2007)	10,4	0,2	4,1	16,8	52,2	0,7
Litvanya (2011)	2,9	0,6	7,7	0	87,3	0,2
Malta (2009)	58,3	0	8,3	0	0	0
Hollanda (2010)	2	0,7	21,5	2	73,3	0
Polonya (2011)	1	1,2	5,1	0,5	90,6	0,7
Slovenya (2011)	10,4	31,4	24,5	15,5	0,4	2
İsveç (2010)	0,5	7	4,3	2,8	84,6	0,1
Norveç (2009)	3,2	16,8	46	14,3	0	4
Makedonya(2009)	90,4	3,4	4,5	0,9	0	0
Sırbistan (2011)	0,6	0,1	0,4	1,1	97,1	0,3
Türkiye (2010)	3,8	0,5	2,3	15,6	72,3	0,9

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TUİK) ülkemizde her iki yılda bir derlediği su ve atıksu istatistikleri incelenmiş ve endüstrilerde su kullanımı, atıksu oluşumu, kullanılan su kaynakları ve suyun endüstrilerde kullanım alanları tablo ve grafik haline getirilmiştir.
Tablo 4'te ülkemizde endüstrilerin kullandıkları su miktarları, deşarj ettikleri atıksu miktarları ve kullanılan endüstriyel suyun atıksuya dönüşüm oranlarının yıllara göre değişimi verilmektedir.

Tablo 4. *Ülkemizde endüstrilerin su ve atıksu istatistikleri*

	2012	2014	2016
İmalat Sanayi			
Çekilen Su Miktarı (bin m^3/yıl)	1792010	2355547	2300646
Deşarj Edilen Atıksu Miktarı (bin m^3/yıl)	1539818	1931282	1900356
Atıksuya Dönüşüm Oranı (%)	86	82	83
Maden Sanayi			
Çekilen Su Miktarı (bin m^3/yıl)	115661	219678	240974
Deşarj Edilen Atıksu Miktarı (bin m^3/yıl)	100903	138607	145910
Atıksuya Dönüşüm Oranı (%)	87	63	60
Termik Santraller			
Çekilen Su Miktarı (bin m^3/yıl)	6407505	6536015	8611221
Deşarj Edilen Atıksu Miktarı (bin m^3/yıl)	6305997	6400042	8476219
Atıksuya Dönüşüm Oranı (%)	98	98	98
Toplam			
Çekilen Su Miktarı (bin m^3/yıl)	8315176	9111240	11152841
Deşarj Edilen Atıksu Miktarı (bin m^3/yıl)	7946718	8469931	10522485
Atıksuya Dönüşüm Oranı (%)	96	93	94

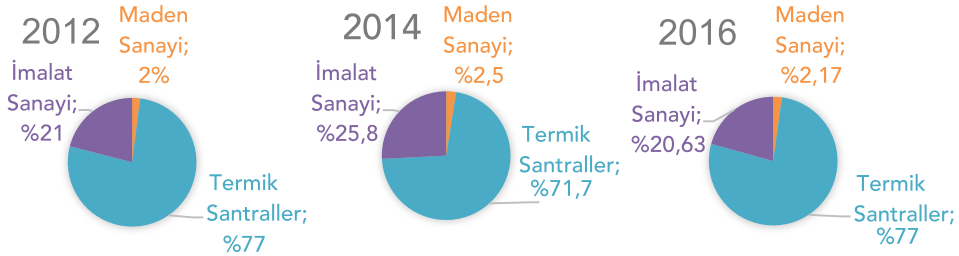
Tablo 4 incelendiğinde endüstrilerde kullanılan su miktarı ve dolayısı ile deşarj edilen atıksu miktarının yıllara göre arttığı (imalat sanayi hariç) görülmektedir. 2012 yılında endüstriler tarafından 8,3 milyar m^3 su kullanımı gerçekleşmiştir. Bu miktar 2014 yılında 9,1 milyar m^3 olarak gerçekleşirken 2016 yılında ise 11,1 milyar m^3 olarak gerçekleşmiştir. Endüstrilerde kullanılan su 2014 yılında % 9,5 artarken 2016 yılında ise % 22 artmıştır.



Şekil 11. *Ülkemizde endüstrilerde kullanılan suyun çekildikleri kaynaklara göre dağılımı*

Şekil 11'de 2014 yılında ülkemizde kullanılan 9,1 milyar m³ endüstriyel (imalat sanayi, termik santraller, OSB ve maden işletmeleri) suyun çekildikleri kaynaklara göre dağılımı verilmektedir. Endüstrilerin en çok kullandığı su kaynağının deniz olduğu görülmektedir. Termik santraller için denizden su çekim miktarı 2014 yılı için yaklaşık 6.4 milyar m^3 olarak gerçekleşmiş ve bu miktar denizlerden su çekiminin % 79'unu oluşturmaktadır.

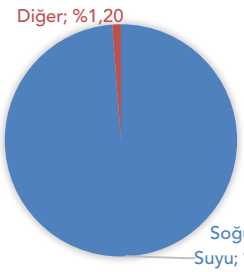
Denizlerden çekilen su hesaba katılmadığında ise ülkemizde endüstriyel kullanım için 2014 yılında çekilen suyun toplamının yaklaşık 974 milyon m^3 olduğu görülmektedir. Şekil 12'de yıllara göre endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımı verilmektedir.



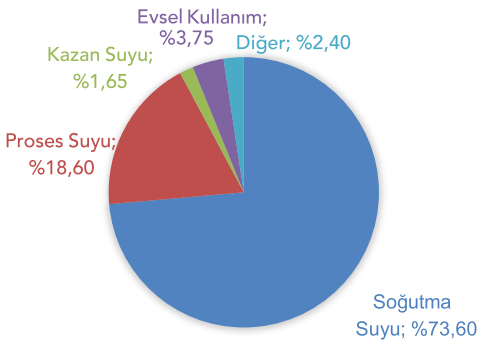
Şekil 12. *Endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımının yıllara göre değişimi*

Şekil 12 incelendiğinde ülkemizde endüstriyel su kullanımının en fazla termik santrallerde gerçekleştiği, termik santrallerden sonra ise imalat sanayinde gerçekleştiği görülmektedir. Endüstrilerde kullanılan su miktarı ve su kaynakları kadar endüstriyel suyun sektörlerde kullanım alanlarında önemlidir. Endüstriyel suyun en fazla kullanımının olduğu termik santraller ve imalat sanayinde suyun son kullanım alanlarının belirlenmiştir. Endüstriyel suyun son kullanım alanlarının belirlenmesinde TUİK 2016 verileri kullanılmıştır.

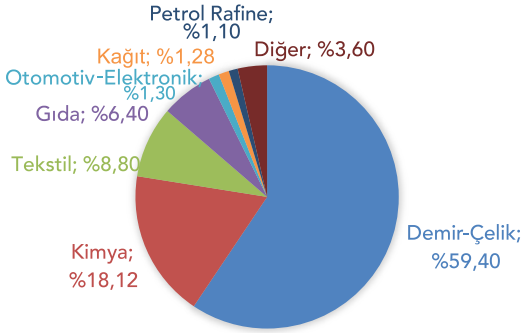
Şekil 13'te termik santrallerde suyun son kullanım alanları verilmektedir. Termik santrallerde kullanılan endüstriyel suyun neredeyse tamamının soğutma işlemi için kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 13. *Termik santrallerde kullanılan suyun son kullanım alanlarına göre dağılımı*



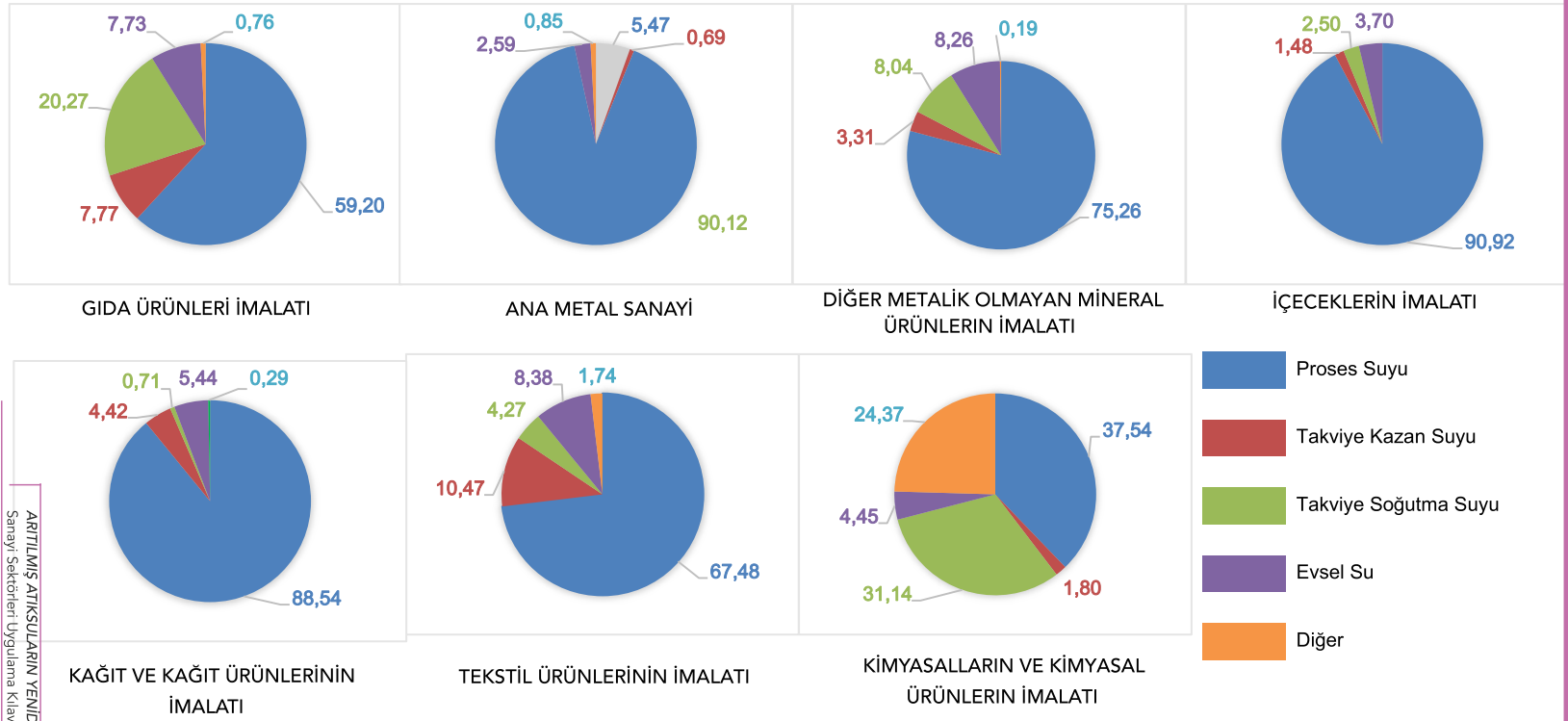
Şekil 14. *İmalat sanayinde kullanılan suyun son kullanım alanlarına göre dağılımı*



Şekil 15. *İmalat sanayinde kullanılan suyun alt sektörlere göre dağılımı*

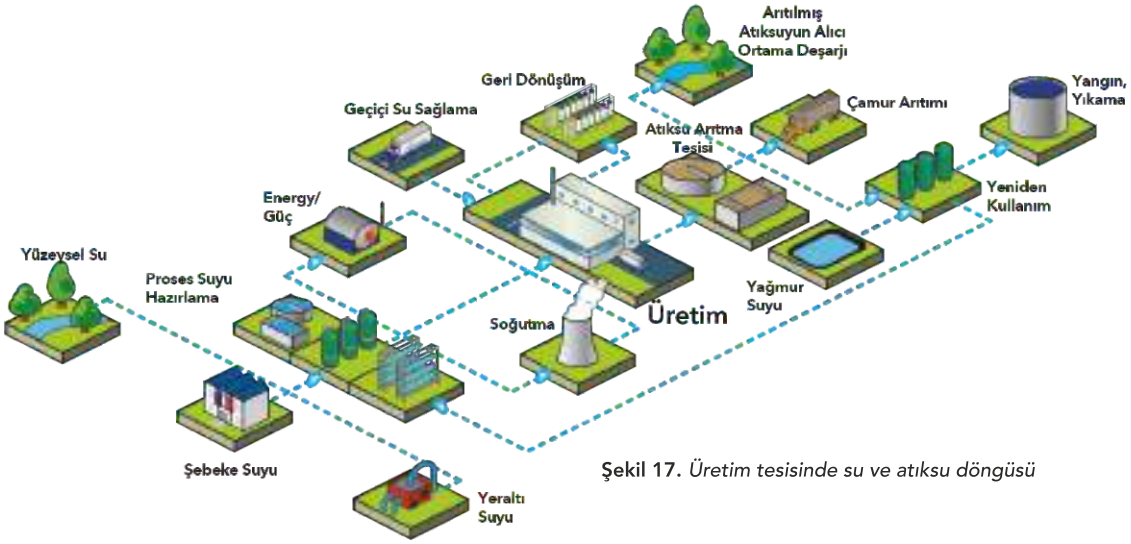
Şekil 14'te imalat sanayinde suyun son kullanım alanları verilmektedir.
Şekil 14 incelendiğinde imalat sanayinde endüstriyel su en çok %73,60 oranında soğutma suyu olarak kullanımaktadır, soğutma suyundan sonra % 18,60 ile proses suyu olarak kullanılmaktadır.
2016 yılında TUİK imalat sanayi endüstrisi verilerinde, imalat sanayi alt sektörlere ayrılmış ve her sektör için su kullanım miktarları verilmiştir. Şekil 15'te imalat endüstrisinde kullanılan suyun alt sektörlere göre dağılımı verilmektedir.

İmalat sanayinde su kullanımının en fazla gerçekleştiği sektörler sırası ile %59,40 ile ana metal sanayi (demir-çelik üretimi), %18,12 ile kimya endüstrisi, %8,80 ile tekstil endüstrisi ve %6,40 ile gıda ürünlerinin imalatı olarak gerçekleşmiştir.
TUİK 2008 istatistiklerinden yararlanılarak imalat sanayinde endüstriyel su tüketimi fazla olan alt sektörlerde endüstriyel suyun son kullanım alanları incelenmiştir. Şekil 16'da imalat sanayinde endüstriyel su tüketimi fazla olan alt sektörlerde endüstriyel suyun son kullanım alanları verilmektedir.



Şekil 16. *İmalat sanayinde endüstriyel su tüketimi fazla olan alt sektörlerde endüstriyel suyun son kullanım alanları*

Şekil 16 incelendiğinde gıda ürünleri imalatı sanayinde su en fazla, %59,20 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %20,27 ile takviye soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.
Ana metal sanayinde su en fazla, %90,12 ile en çok takviye soğutma suyu olarak kullanılmakta sonra ise %5,47 ile proses suyu olarak kullanılmaktadır.
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sanayinde su en fazla, %75,26 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %8,26 ile evsel su olarak ve %8,04 ile takviye soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.
İçeceklerin imalatı sanayinde su en fazla, %90,92 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %3,70 ile evsel su ve % 2,50 ile takviye soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.
Tekstil ürünleri imalatı sanayinde su en fazla, %67,48 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %10,47 ile takviye kazan suyu ve % 4,27 ile takviye soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı sanayinde su en fazla, %88,54 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %5,44 ile evsel su ve % 4,42 ile takviye kazan suyu olarak kullanılmaktadır.
Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı sanayinde su en fazla, %37,54 ile en çok proses suyu olarak kullanılmakta sonra ise %31,14 ile takviye soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.
Bazı önemli sanayi sektörlerinde suyun kullanım miktarları ve sektör içindeki kullanım amaçları yukarıda görüldüğü gibi çok değişkendir.
Sanayide su kullanımında soğutma suyu olarak kullanım öne çıkmak ile birlikte bazı sanayi sektörlerinde de proseste kullanım fazladır.
Şekil 17'de üretim tesisinde kullanılan su ve oluşan atıksuyun döngüsü ve yeniden kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 17. *Üretim tesisinde su ve atıksu döngüsü*

Sanayide suyun yeniden kullanımında; mevcut su kaynağı, su ihtiyacı, farklı kullanım alanları için ihtiyaç duyduğu su kalitesi ve ürettiği atıksuyun karakterizasyonu önemlidir.
Tablo 5'te farklı sanayi sektörleri için oluşturdukları atıksuların karakteristik özellikleri verilmiştir (IWA Publishing; UNEP (2010); ve Moussa (2008)).

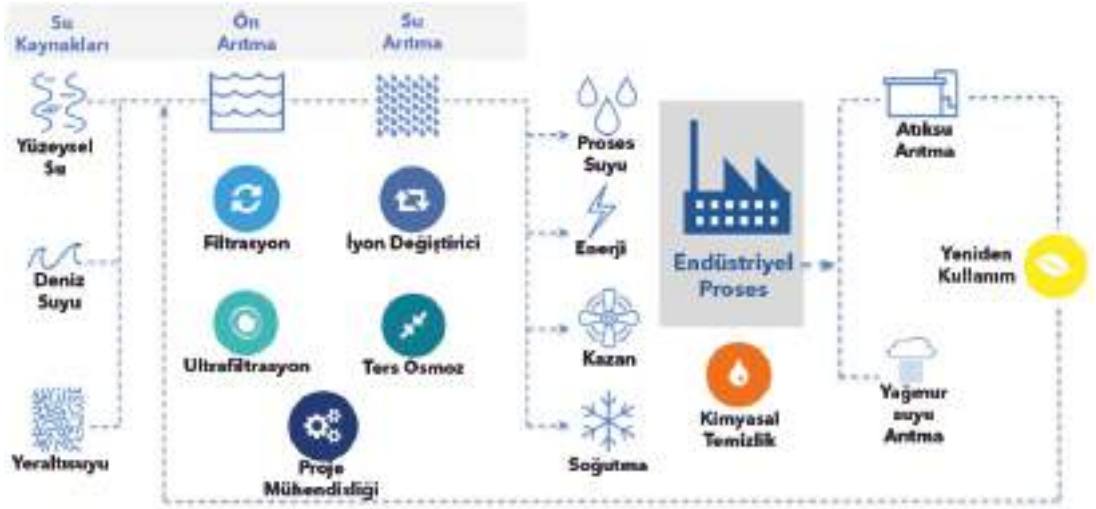
Tablo 5. *Farklı sanayi sektörlerinde oluşan atıksuların karakteristik özellikleri*

Endüstri	Atıksu Karakteristiği
Selüloz,Kağıt, Karton vb. Endüstrisi	• Klorlu organik bileşikler (Klorlu fenolleri klorlu hidrokarbonlar vb.) • Absorbe edilebilir organik halojenler • Kirleticiler BOİ, KOİ, AKM, Toksisite ve Renk parametreleri ile karakterize edilirler.
Demir Çelik Endüstrisi	• Soğutma suları amonyak ve siyanür içerir • Gazlaştırma Ürünleri; benzene, naftalin, antrasen, siyanür, amanyok, fenol, kresoller ve kresoller ve poli aromatik hidrokarbonlar • Hidrolik yağlar, makina yağları ve partiküler maddeler • Asidik durulama suları ve atık asitler (hidroklorik ve sulfirik asit)
Maden Endüstrisi	• Şlam ve taş parçaları • Surfaktanlar • Hidrolik yağlar ve makine yağları • Arsenik gibi istenmeyen mineraller • Çok ince parçacıklara sahip maden atıkları
Gıda Endüstrisi	• Yüksek konsantrasyonlarda BOİ ve AKM • Sebze, meyve ve et sezonuna bağlı olarak değişken değişken BOİ ve pH • Et endüstrisinde; güçlüorganikler, antibiyotikler, hormonlar, pestisitler ve insektisitler • Hazır gıda ve meyve sebze işleme endüstrisinde; organik bitki metaryalleri, tuz, katkı maddeleri, renklendiriciler, asitler, alkaliler ve yağlar
Tekstil Endüstrisi	• Boİ, KOİ, AKM, metaller, üre, tuz, sülfit, H_2O_2, NaOH • Dezenfektan, biyosit ve insektisit atıkları, deterjanlar, yağlar, solventler, surfaktanlar, boya • Yüksek asitlik veya alkalilik • Isı ve köpük • Toksik materyaller ve temizlik atıkları
Enerji Üretim Tesisleri	• Sıcak soğutma suları

Endüstrilerde proses sonucu oluşan atıksular herhangi bir işleme tabi tutulmadan yine tesis içerisinde başka bir proseste "geri döngü" şeklinde (örneğin meyve sebze işleme tesislerinde pastörizasyon suları herhangi bir işleme tabi tutulmadan taşıma işlemi için yeniden kullanılabilmektedir) veya bir geri kazanım tesisinde (istenilen su kalitesine göre değişmekle birlikte genellikle multimedia filtreler, membran prosesler ve iyon değiştirici sistemleri içeren) arıtılarak "geri kazanım" şeklinde tesis içerisinde;

- Kazan tamamlama suları
- Soğutma kulesi tamamlama suları
- Proses suları
- Yangın suyu
- Su hazırlama ünitesi geri yıkama suları
- Tesis içi toz kontrolü/Saha sulaması
- Sanitasyon ve genel temizlik
- Tesis içi yeşil alan sulama
- Tesis içi pisuvar ve sifonlarda

gibi amaçlar için yeniden kullanılabilir. Şekil 18'de endüstriyel proseste kullanılabilecek su kaynakları, arıtma yöntemleri, suyun kullanım alanları ve yeniden kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 18. *Endüstriyel proseste su ve atıksuyun kullanımı*

Bilindiği üzere kâğıt hamuru ve kâğıt, tekstil ve geri kazanılmış suları soğutma kulelerinde kullanan diğer endüstriler, geri kazanılmış suyun ana endüstriyel kullanıcıları olmuştur. 2004 yılında ABD'de "Guidelines for Water Reuse" yayımlandığından bu yana, geri kazanılmış suyun endüstriyel kullanımı, elektronikten, gıda işleme alanlarına kadar çeşitli sektörlerin yanı sıra, elektrik üretim endüstrisi tarafından daha geniş bir uygulama alanında artmıştır. Son yıllarda, bu endüstriler, proses suyu, kazan besleme suyu ve soğutma kulesi kullanımından tuvalet, lavabo yıkama ve saha sulamasına kadar değişen amaçlar için geri kazanılmış su kullanımını benimsemiştir. Buna ek olarak, LEED sertifikası isteyen sanayi ve ticaret kuruluşları, yeşil profillerini geliştirmek için geri kazanılmış suya yönlendirilmektedir. İlaveten, bu tesisler, geri kazanılmış suyun, daha pahalı içilebilir suyun yerini alabilen, istenen kullanımlar için performans düşüşü yapmayan bir kaynak olduğunu fark etmiştir.

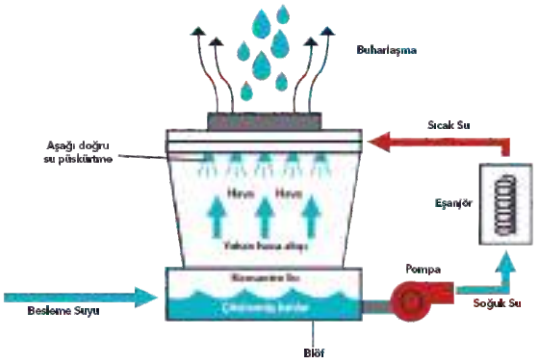
Geri kazanılmış su ilk kez endüstriyel amaçlarla kullanıldığında (ilk kullanım kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrilerinde) genellikle geri kazanılmış su arıtılmış ve tesis içinde yeniden kullanılmıştır. ABD'de kurak eyaletlerde (Arizona, Kaliforniya ve Teksas) su kaynakları giderek strese girmektedir ve yeraltı sularına ulaşım son derece kısıtlı hale gelmeye (Florida), belediye tesisleri sulama, sanayi ve enerji şirketi kullanıcıları için geri kazanılmış su üretmeye başlamıştır. Bu bölümde, bilinen endüstriyel tesislerde (soğutma kuleleri ve kazan suyu beslemesi) suyun yeniden kullanımını açıklanmıştır.

Sanayide yeniden kullanıma örnek olarak; Coca-Cola, Kuzey Amerika ve Avrupa'daki su arıtma sistemlerinin 12'sinde geri dönüşüm ve geri kazanım tesisleri kurmuş, bu sistemlerin sayısını 2012 yılı sonuna kadar 30'a çıkarmayı hedeflemektedir. Bu tesislerde fabrikaların soğutma kulelerinde, kazanlarda veya temizlikte, arıtılmış suyun yeniden kullanılması sağlanmış ve böylece yılda ortalama 220 milyon litre su tasarrufu yapılmıştır (EPA, 2012).

Soğutma Kulesi Tamamlama Suyu Olarak Kullanımı

Soğutma kuleleri, proses ısısını düşürmek ve bu ısıyı buharlaşma ile transfer eden devir daimli buharlaşmalı soğutma sistemleridir. Soğutma suyu devridaim yaparken, buharlaşmayla kaybolan suyun yerini almak için make-up suyu (tamamlama suyu) gereklidir. Soğutma suyunda çözünmüş katıların birikmesini önlemek için su periyodik olarak soğutma suyu sisteminden

çıkarılmalıdır. Soğutma kuleleri ve sprey (püskürtme) havuzları olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki tip buharlaştırmalı soğutma suyu sistemleri vardır. Püskürtme havuzları yaygın olarak kullanılmamakla birlikte genel olarak geri kazanılmış su kullanmazlar. Teknolojik gelişmelerle birlikte daha verimli hale gelen soğutma kulelerinde make-up (tamamlama) suyu ihtiyacı azalmıştır. Şekil 19'da soğutma kulesi su akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 19. *Soğutma kulesi su akım şeması*

Devirdaim suyunun sadece %1.5-1.75'i, proses suyu sıcaklığındaki her 6 °C düşüş için buharlaşır. Su buharlaştırıldığından, çözünmüş katılar ve mineraller devridaim suyunda kalır ve bu katıların ekipmanda birikmesini önlemek için ya sistemden giderilmelisi ya da arıtılması gerekmektedir. Bu katıların uzaklaştırılması, soğutma suyunun blöf suyu olarak adlandırılan bir bölümünün boşaltılması ve yerel bir atık su arıtımında atılmadan önce genellikle bir kimyasal proses ve /veya bir filtreleme/yumuşatma/çökeltme işlemi ile başarılır. Soğutma kulesi tasarımları çok çeşitlidir. Büyük hiperbolik beton yapılar, 76 ila 122 m boyunda ve 46 ila 61 m çap aralığında olabilir.

Çeşitli sanayi kollarında kullanılabilen daha küçük soğutma kuleleri, ahşap, beton, plastik ve /veya her bir hücre için dairesel fan muhafazalı fiberglas takviyeli plastikten yapılmış dikdörtgen kutu olabilir. Her hücre, yaklaşık 190 ila 315 L/s arasında su dolaşımı (soğutma) sağlar. Ticari klima soğutma kulesi sistemleri, 6 L/s kadar az miktarda ve 2500 L/s kadar çok miktarda su sirküle edebilir.

Proses sızıntısı, atmosferik çökelme veya arıtma kimyasalları yoluyla soğutma suyunda bulunabilecek herhangi bir kirlilik su kalitesini etkiler. Geri kazanılmış su, genellikle yüksek düzeyde arıtma nedeniyle mikroorganizmaların çok düşük konsantrasyonlarına sahipken, soğutma kulelerinde geri kazanılmış su kullanımı ile ilgili en önemli konulardan biri, nutrient mevcut olduğunda biyolojik büyümenin oluşumu ile ilgilidir. Biyolojik büyüme, ısı transferini etkileyebilen ve asit veya aşındırıcı yan ürünlerden kaynaklanan mikrobiyolojik korozyona neden olan ve metal yüzeylerin su arıtma korozyon inhibitörlerinden koruyabileceği ve mikroorganizma birikiminin altında korozyon oluşturabileceği, istenmeyen biyofilm tabakaları üretebilir. Biyolojik filmler hızla büyüyebilir ve ısı değiştiricilerini tıkayabilir, soğutma kulesi ortamında film oluşturabilir veya soğutma kulesi su dağıtım püskürtücülerini/spreylerini tıkayabilir.

Soğutma kulelerinde scale (kazantaşı) de bir sorun olabilir. Geri kazanılmış suda scale potansiyeline neden olan başlıca bileşenler kalsiyum, magnezyum, sülfat, alkalinite, fosfat, silika ve florürdür. Konsantre soğutma suyunda scale oluşturan mineraller arasında genellikle kalsiyum fosfat (en yaygın), silika (oldukça yaygın) ve kalsiyum sülfat (oldukça yaygın) bulunur; Daha az bulunan diğer mineraller kalsiyum karbonat, kalsiyum florür ve magnezyum silikatı içerir. Scale oluşturma potansiyeline sahip bileşenler, kimyasal arıtma ve/veya konsantrasyon döngüleri ayarlanarak değerlendirilmeli ve kontrol edilmelidir (EPA, 2012).

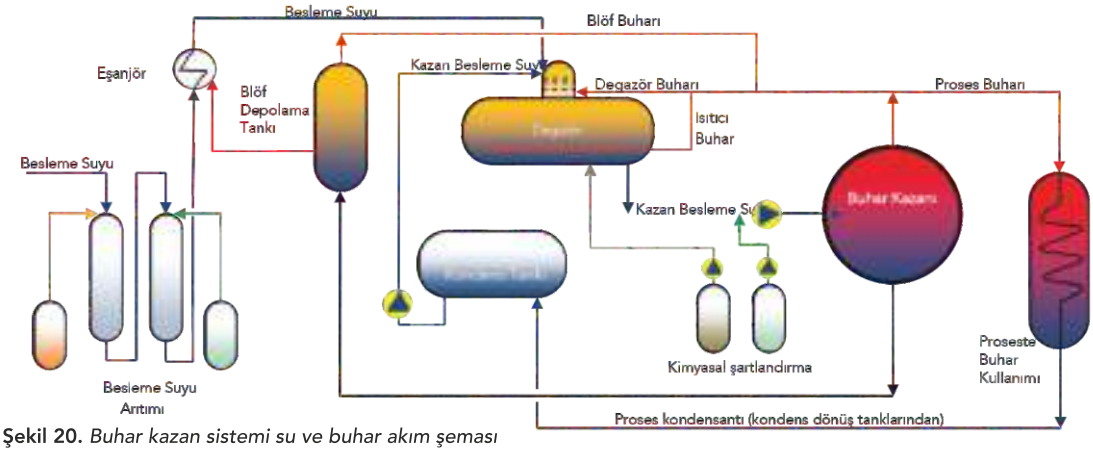
Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri Tablo 6'da verilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2007).

Tablo 6. *Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri*

Parametre	Birim	Soğutma Kulesi			
		Tek Geçişli Sistem		Resürkilasyonlu Sistem	
		Tatlı su	Tuzlu su	Tatlı su	Tuzlu su
Silika (SiO_2)	mg/L	50	25	50	25
Alimünyum (Al)	mg/L			0,1	
Demir (Fe)	mg/L			0,5	
Mangan (Mn)	mg/L			0,5	
Kalsiyum (Ca)	mg/L	200	520	50	420
Bikarbonat (HCO_3)	mg/L	600		25	
Sülfat (SO_4)	mg/L	680	2700	200	2700
Klorür (Cl)	mg/L	600		500	
Florür (F)	mg/L	600	19	500	19
Çözünmüş Madde	mg/L	1000	35	500	35
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	5000	2500	100	100
Sertlik	mg/L $CaCO_3$	850	6250	130	6250
Alkalinite	mg/L $CaCO_3$	500	115	20	115
pH	-	5-8,3			
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	75	75	75	75
Sıcaklık	^{O}C	38	49	38	49
Bulanıklık	NTU	5000	100		

Kazan Tamamlama Suyu Olarak Kullanımı

Kazan make-up suyu için geri kazanılmış su kullanımı konvansiyonel içilebilir su kullanımından çok farklıdır, her ikisi de kapsamlı ön arıtmaya tabi tutulmalıdır. Kazan make-up suyu için su kalitesi gereksinimleri, kazanın çalıştırıldığı basınca bağlıdır; Genel olarak yüksek basınçlar daha kaliteli su gerektirir. Birincil kaygı scale büyümesi ve ekipman korozyonudur. Kazan make-up suyu olarak kullanmak için içme suyu veya geri kazanılmış suda sertlik kontrolü yapılmalı ve sertliğin giderilmesi gereklidir; Ek olarak, çözünmeyen kalsiyum ve magnezyum scale kontrolü ve silika ve alüminanın kontrolü de gereklidir. Bikarbonat, karbonat ve hidroksil içeriği ile belirlendiği üzere yeniden kazanılmış suyun alkalinitesi de önemli olduğundan, kazan besleme suyundaki aşırı alkalinite konsantrasyonları, kazan içi köpük oluşumu ve kazan buhar hattında taşınımlara neden olabilir, bu da ısıtıcılarda ve türbinlerde birikintilere neden olur. Buharı kullanan ekipmanların ve kondens dönüş sistemlerinde bölgesel korozyonun ana kaynağı besleme suyundaki bikarbonat alkalinitesidir. Alkalinite, ana kaynağı olan karbondioksiti serbest bırakmak için kazan sıcaklığının etkisi altında parçalanır. Karbon adsorpsiyonu veya iyon değişimi ile kontrol edilebilen geri kazanılmış sudaki organik maddeler ayrıca kazanlarda köpürmeye neden olabilir. Şekil 20'de buhar kazan sisteminde kullanılan su ve buhar hatları gösterilmiştir. Tablo 7'de Kazan işletmecileri için Amerikan Kazan Üreticileri Birliği (ABMA) su içerisindeki parametreler için maksimum konsantrasyon limitleri verilmektedir.



Şekil 20. *Buhar kazan sistemi su ve buhar akım şeması*

Tablo 7. *Tavsiye edilen kazan suyu limitleri*

Kazan İşletme Basıncı (psig)	0-300	301-450	451-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500	1501-2000	OTSG
Buhar									
TDS mak. (ppm)	0.2-1.0	0.2-1.0	0.2-1.0	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1	0.1	0.05
Kazan Suyu									
TDS mak. (ppm)	700-3500	600-3000	500-2500	200-1000	150-750	125-625	100	50	0.05
Alkalinite mak. (ppm)	350	300	250	200	150	100	n/a	n/a	n/a
TSS Mak. (ppm)	15	10	8	3	2	1	1	n/a	n/a
İletkenlik mak. (µmho/cm)	1100-5400	900-4600	800-3800	300-1500	200-1200	200-1000	150	80	0.15-0.25
Silika mak. (ppm SiO_2)	150	90	40	30	20	8	2	1	0.02
Besleme Suyu (Degazör Sonrası, Kondens ve Tamamlama Suyu)									
Çözünmüş Oksijen (ppm O_2)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	n/a
Toplam Demir (ppm Fe)	0.1	0.05	0.03	0.025	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Toplam Bakır (ppm Cu)	0.05	0.025	0.02	0.02	0.015	0.01	0.01	0.01	0.002
Toplam Sertlik (ppm $CaCO_3$)	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	ND	ND	ND
pH @ 25 °C	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.3-10.0	8.8-9.6	8.8-9.6	8.8-9.6	n/a
TOK (ppm C)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	ND
Yağ-Gress (ppm)	1	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	ND

ABD'de kazan make-up suyu olarak geri kazanılmış su kullanımı uygulamalarına örnek olarak; 2000 yılından bu yana, Los Angeles, Kaliforniya'daki birkaç rafineride, birincil make-up suyu kaynağı olarak geri dönüştürülmüş su kullanılmaktadır. Çökeltme, filtrasyon ve RO kullanarak, su temini, kimyasal ve enerji tasarrufu sağlayan yüksek kaliteli kazan make-up suyu üretilmektedir. El Segundo, Kaliforniya'daki Chevron rafinerisinde alçak basınçlı kazan için beslenen su için yaklaşık 254.1 L/s, tek kademeli RO arıtması kullanılırken, ilave 105 L/s ikinci

kademe yüksek basınç kazanı beslemesi için RO arıtması kullanılmaktadır. Ürün suyu Chevron rafinerisi yakınında ki bir depolama tankına pompalanmaktadır.

Proses Suyu Olarak Kullanımı

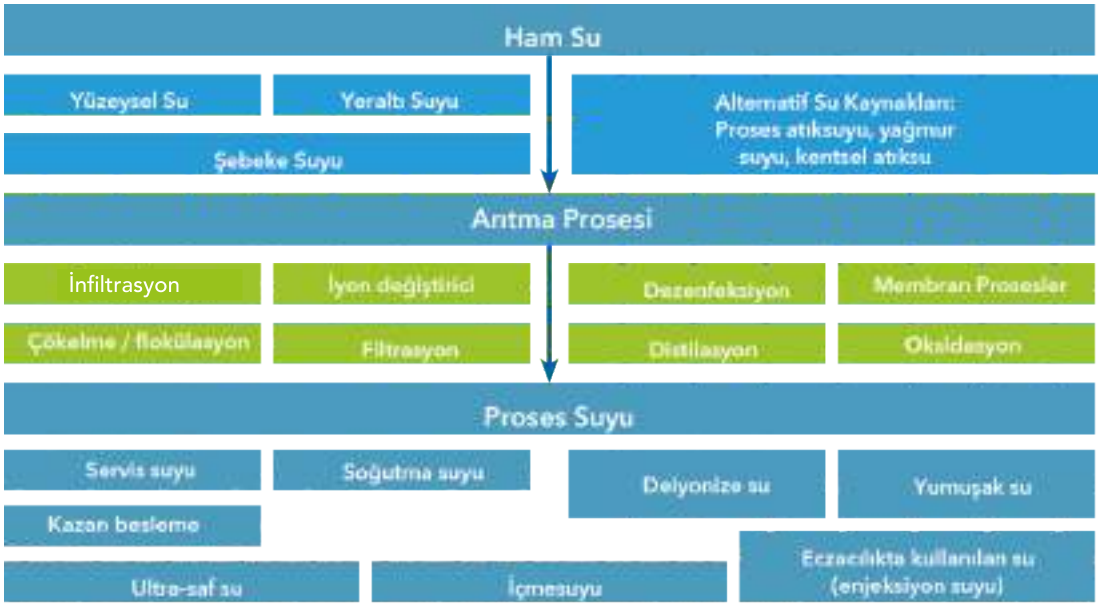
Sanayi sektörlerinin her birinde farklı üretim ve prosesler mevcut olduğundan ihtiyaç duydukları su kaliteleri de çok değişkendir. Her bir sanayi sektörü için su kullanacağı prosese göre farklı su kalitesi parametreleri öne çıkabilmektedir. Örnek olarak; korozyon ve kireçlenme için önemli parametreler; pH, alkalinite, organik maddeler, nütrientler, toplam çözünmüş madde ve sertlikdir.

Tablo 8'de yoğun su tüketiminin olduğu tekstil, kağıt, petrol ve kömür ürünleri, madencilik ve kimya endüstrilerinde kullanılacak olan proses suyunda olması gereken su kaliteleri verilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2007).

Tablo 8. *Yoğun su tüketimi olan endüstrilerde proseste kullanılacak olan su özellikleri*

Parametre	Birim	Endüstriler				
		Tekstil	Kağıt	Petrol ve Kömür Ürünleri	Madencilik	Kimya
Silika (SiO_2)	mg/L	25	50	60		
Alimünyum (Al)	mg/L	8				
Demir (Fe)	mg/L	0,1-0,3	0,3	1		0,1
Mangan (Mn)	mg/L	0,01-0,05	0,1			0,1
Bakır (Cu)	mg/L	0,01-5				
Kalsiyum (Ca)	mg/L		20	75		70
Magnezyum (Mg)	mg/L		12	30		20
Sodyum (Na)	mg/L			230		
Amonyak (NH_3)	mg/L			40		
Bikarbonat (HCO_3)	mg/L			480		130
Sülfat (SO_4)	mg/L	100		600		100
Klorür (Cl)	mg/L		200	300	500	500
Florür (F)	mg/L			1,2		5
Nitrat (NO_3)	mg/L			10		
Çözünmüş Madde	mg/L	100-200	100	1000	1500	1000
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	0-5	10	10	3000	5
Sertlik	mg/L $CaCO_3$	0-50	475	350	1000	250
Alkalinite	mg/L $CaCO_3$			500	200	125
Asidite	mg/L $CaCO_3$				75	
pH	-	6-8	4,6-9,4	6-9	5-9	5,5-9
Renk		0-5	10	25		20
Sıcaklık	^oC		38		38	
Bulanıklık	NTU	0,3-5				

Her sanayi sektörü proseslerinde farklı su kalitesine ihtiyaç duyduklarından atıksuların yeniden kullanımında da o sektör için yeniden kullanıma uygun prosesin ve en uygun arıtma teknolojilerinin seçilmiş olması gerekmektedir. Örneğin, AKM parametresi için bazı sektörlerde prosesde izin verilen konsantrasyon 0-5 mg/L iken (Tekstil Endüstrisi) Maden endüstrisinde 3000 mg/L değerine kadar kullanılabilmektedir. Aynı şekilde suyun sertliği farklı sekörlerin proseslerinde 0-50 mg/L $CaCO_3$ değerinden 1000 mg/L $CaCO_3$ e kadar değişken olabilmektedir. Sonuç olarak, proseste kullanılan suların yeniden kullanımı veya arıtıldıktan sonra yeniden kullanımında her bir sanayi sektörü için tesisinin kendi özelinde değerlendirme yapması gerekmektedir. Şekil 21'de sanayi sektörü için ham su kaynakları, arıtma prosesleri ve oluşacak proses suları gösterilmiştir.



Şekil 21. *Sanayi sektöründe proses suyu hazırlama*

Sanitasyon ve Genel Temizlik İşlerinde Kullanımı

Sanitasyon özellikle gıda ve içecek endüstrisi için güvenli ve güvenilir üretimin temelini oluşturmaktadır. Sanitasyon genel olarak; ürün temizliği, tesis temizliği, personel temizliği ve üretimde kullanılan ekipman temizliğini kapsamaktadır. Tesis ve ekipman temizliğinde yoğun su kullanımı gerçekleşmektedir. Genel olarak tesis ve ekipman temizliği yıkama, kimyasal ile yıkama ve durulama şeklinde kademeli olarak yapılmaktadır. Sanitasyon işlemi için kullanılacak su için birincil kaygı mikroorganizma varlığıdır, buna ilave olarak sanitasyon işleminde kullanılacak suların "yumuşak su" olması istenir. Özellikle, gıda endüstrisinde geri kazanılmış atıksuların sanitasyon ve genel temizlik işlemlerinde yeniden kullanılması durumunda geri kazanılmış atıksuyun yüksek kalitede olması gerekmektedir. Gıda hariç olmak üzere bazı farklı sektörler için temizlik amaçlı kullanılan suyun geri kazanılmış su olması durumunda yüksek kalitede suya ihtiyaç duyulmayabilir.

Geri Kazanılmış Atıksuların Yeniden Kullanımında Diğer Uygulamalar

Geri kazanılmış atıksuların endüstrilerde önceki bölümlerde anlatılan amaçlardan farklı olarak yeniden kullanım uygulamaları olabilmektedir. Geri kazanılmış atıksuların yangın suyu olarak yeniden kullanımında birincil kaygı insan teması olasılığı nedeni ile mikroorganizma varlığıdır. Ayrıca yangın suyu hatlarında ve özellikle kapalı mekanlarda yangın suyunun püskürtme şeklinde verildiği nozullarda tıkanma yaşanmaması için yangın suyunda askıda katı madde, yüksek bulanıklık ve/veya nozulları tıkayacak herhangi bir malzeme istenmez.

Geri kazanılmış atıksuların su hazırlama ünitesinde bulunan multimedya filtreler ile membran proseslerin geri yıkamasında ve membran proseslerin kimyasal yıkamasında yeniden kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli parametreler ise; İletkenlik, askıda katı madde, mikroorganizma varlığı, sertlik, alkalinite ve asiditedir. Multimedya filtrelerin geri yıkanmasında askıda katı madde ve mikroorganizmaların giderilmesi yeterli olurken membran proseslerde, membranlarda birikim

yapabilecek ve/veya membranlara zarar verebilecek mikroorganizma, yağ-gres, askıda katı madde, sertlik, alkalinite ve asiditenin giderilmesi gerekir.
Geri kazanılmış atıksuların genellikle maden ve hazır beton endüstrisinde toz kontrolü/saha sulama suyu olarak yeniden kullanımında birincil kaygı insan teması olasılığı nedeni ile mikroorganizma varlığıdır. Ayrıca saha sulamanın püskürtme şeklinde yapıldığı nozullarda tıkanma yaşanmaması için saha sulama suyunda askıda katı madde ve/veya nozulları tıkayacak herhangi bir malzeme istenmez.

Geri kazanılmış atıksuların tesis içinde bulunan pisuvar ve sifon suyu olarak yeniden kullanımında mikroorganizma ve askıda katı maddelerin giderilmesi yeterlidir. Şekil 22'de endüstride atıksuyun yeniden kullanım alanları gösterilmiştir.

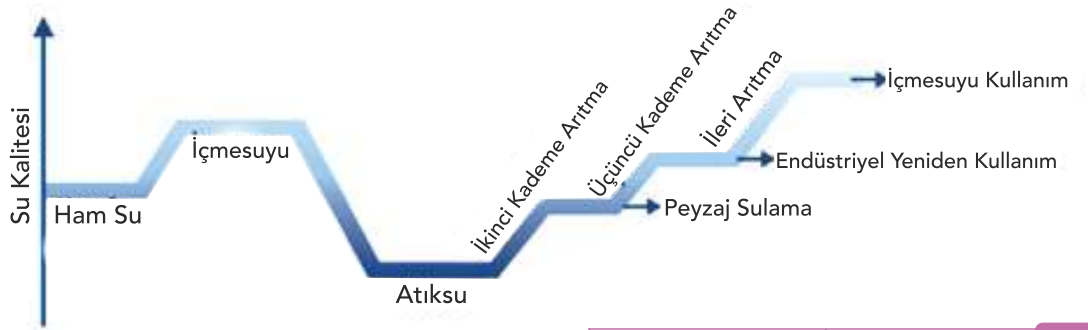
Şekil 22. *Endüstri'de atıksuyun yeniden kullanım alanları*

ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

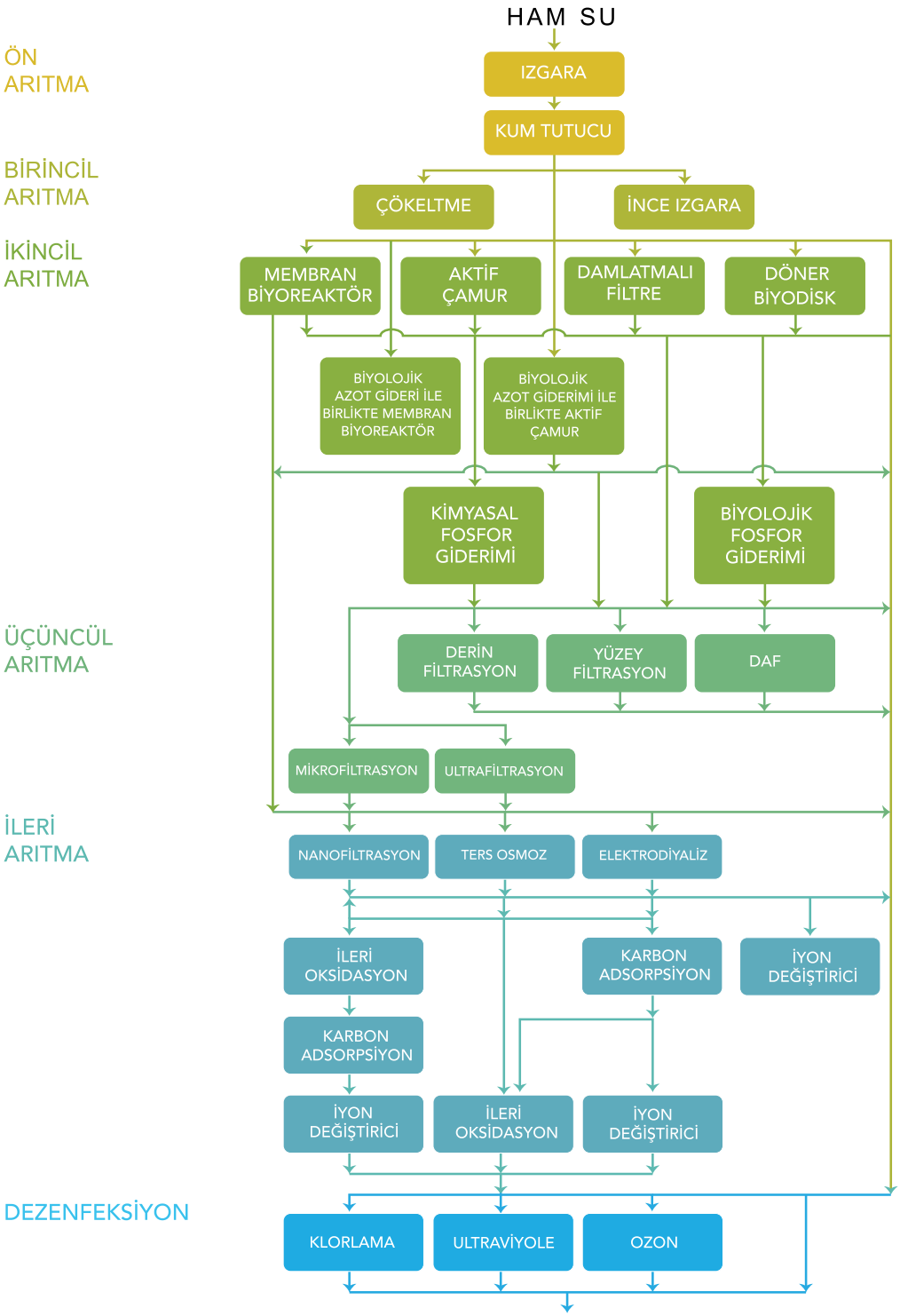
Yerüstü su kaynağından alınan ham suyun içmesuyu olarak kullanılabilmesi için çeşitli artıma prosesleri ile su kalitesinin arttırılması gerekebilir. İçmesuyu olarak kullanılan su, atıksuya dönüştüğünde su kalitesi azalır. Atıksu arıtma tesisinde, ikinci kademe sonrası peyzaj sulama suyu, üçüncü kademe arıtma sonrası endüstriyel yeniden kullanım suyu kalitesine ulaşılabilir. Atıksu arıtma tesislerinde uygulanabilecek ileri arıtma prosesleri ile Dünya'da doğrudan veya dolaylı içmesuyu olarak kullanım kalitesinde su elde edilebilmektedir. Şekil 23'te su kalitesinin çeşitli arıtma prosesleri ile ulaşabileceği farklı yeniden kullanım alternatifleri verilmiştir.

Herhangi bir proje için gerekli olan atık su arıtma seviyesi, son kullanıma veya deşarj yerine bağlıdır. İkincil arıtım; parçalanabilir organik maddeler ve askıdaki katıların giderimini sağlamak için tasarlanmıştır. Filtrasyon ve dezenfeksiyon; patojenlerin ve nütrientlerin ilave giderimini sağlarken, İleri Oksidasyon Prosesi (İOP) ise iz kimyasal bileşenlerin giderimini hedeflemektedir.

Geri kazanılmış suların birçok uygulamasındaki uygun su kalitesi; klasik, yaygın olarak kullanılan ikincil, filtrasyon ve dezenfeksiyon prosesleri ile elde edilir. Fakat, potansiyel insan teması arttıkça, ikincil arıtımın ötesinde ileri arıtım gerekebilir. Şekil 24'te yeniden kullanılması planlanan su için farklı arıtma uygulamaları gösterilmiştir.

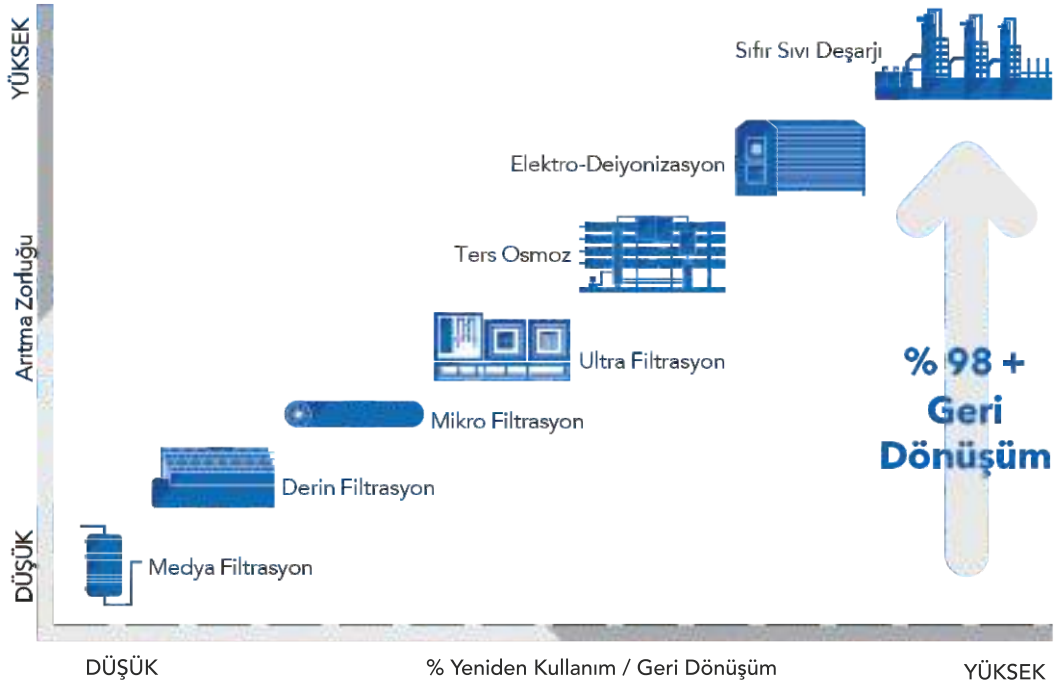


Şekil 23. *Suyun yeniden kullanım alternatifleri*



Şekil 24. *Atık suların yeniden kullanımında uygulanabilecek arıtma teknolojileri*

Arıtma seviyesi ve yeniden kullanım projesi için uygulanan arıtma proseslerinde; su kalitesi hedefleri ile birlikte arıtma hedeflerine ulaşılabilmesi için, nihai kullanımın düşünülmesi gereklidir. Şekil 25'de arıtma proseslerin yeniden kullanım yüzdesi ve kullanılan prosesin arıtma zorluğu gösterilmiştir.



Şekil 25. *Arıtma proseslerinde atıksuyun geri dönüşüm oranı*

Tüm bileşenler, bütün kullanımlar için olumsuz etkilere sahip değildir. Örneğin, ek olarak uygulanan gübre ihtiyacının ortadan kaldırılması kapsamında; tarımsal sulama amaçlı suyun yeniden kullanımında nütrientler yararlı olabilir. Bu durumlarda, arıtımda nütrient giderimi faydalı olmayabilir. Diğer taraftan, çevresel akışlar için suların yeniden kullanımında, nütrient giderimi; sucul ekosistemlerin bu maddeler ile aşırı yüklenmesinin önüne geçilmesinde kritik bir durum olabilir. Benzer şekilde, geri kazanılmış suların; yer altı suları gibi gelecekteki içme suyu kaynaklarını etkileyeceği durumlarda, aşırı nütrientlerin insan sağlığına zararlı olabilmesinden kaynaklı nütrient giderimi hedeflenebilir.

Geri kazanılmış suların nihai kullanımı için gerekli olan arıtım seviyelerinin özeti Tablo 9'da verilmiştir. Filtrasyon, dezenfeksiyon ve ileri oksidasyon son yıllarda önemli teknolojik ilerlemeler kaydetmiştir.

Tablo 9. *Artan arıtım seviyeleri için uygun yeniden kullanım örnekleri (EPA, 2012)*

<table>
<tr><th rowspan="2">Arıtım Seviyesi</th><th colspan="4">Artan Arıtım Düzeyleri →</th></tr>
<tr><th>Birincil</th><th>İkincil</th><th>Filtrasyon ve Dezenfeksiyon</th><th>İleri</th></tr>
<tr><td>Prosesler</td><td>Çökeltme</td><td>Biyolojik oksidasyon ve dezenfeksiyon</td><td>Kimyasal koagülasyon, biyolojik veya kimyasal nütrient giderimi, filtrasyon ve dezenfeksiyon</td><td>Aktif karbon, ters osmoz, ileri oksidasyon prosesleri, toprak akifer arıtımı vb.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Nihai kullanım</td><td rowspan="6">Önerilen kullanım yok</td><td>Bağ bahçenin yüzeysel sulanması</td><td>Peyzaj ve golf sahası sulaması</td><td rowspan="6">İçilebilir su akiferinin yeraltı suyu enjeksiyonu ile yüzey suyu rezervuar artırımı ve içilebilir yeniden kullanım dahil dolaylı içilebilir yeniden kullanım</td></tr>
<tr><td>Gıda dışı mahsul sulaması</td><td>Tuvalet sifonu</td></tr>
<tr><td>Erişimi kısıtlı peyzaj alanları
Yüzeysel biriktirme</td><td>Araç yıkama</td></tr>
<tr><td>İçilebilir olmayan akiferlerin yer altı suyu enjeksiyonu</td><td>Gıda ürünleri sulaması</td></tr>
<tr><td>Sulak alanlar, vahşi yaşam alanı, akış artırma</td><td>Erişime açık rekreasyonel yüzeysel biriktirme</td></tr>
<tr><td>Endüstriyel soğutma prosesleri</td><td>Endüstriyel sistemler</td></tr>
<tr><td>İnsan maruziyeti</td><td colspan="4">Kabul edilebilir insan maruziyeti seviyelerinin artışı →</td></tr>
<tr><td>Maliyet</td><td colspan="4">Artan maliyet seviyeleri →</td></tr>
</table>

KAYNAK KONTROLÜ

Herhangi bir suyun yeniden kullanımı programının kritik bir bileşeni, istenmeyen kimyasalların ya da kimyasal konsantrasyonların sisteme girmesini önleyen ve ilk bariyer görevi gören etkili bir endüstriyel kaynak kontrol programı geliştirmek ve uygulamaktır. Endüstriyel atıksulardaki kirleticiler; kentsel arıtma proseslerini tehlikeye atabilir ya da arıtılmış suları geçiş yolları vasıtasıyla kirletebilir. Su ve Kanalizasyon İdareleri; atıksu arıtma tesislerinde işletme sorunları oluşturan kanalizasyon sistemlerine yapılan deşarjların önlenmesi için veya arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı/bertarafı kapsamında endüstriler için kanalizasyona deşarj standartlarını belirleyip uygulayabilirler. Genellikle, kirlilik önleme programları belirli şartların sağlanması ile etkili olmaktadır:

- Kirletici, girişte ve toplama sisteminde ölçülebilir seviyelerde bulunabilir.
- Giriş yükünün çoğunu oluşturan tek bir kaynak veya benzer kaynaklar grubu tanımlanabilir.
- Kaynaklar, kontrol etmek için kurumun yetki alanı dahilindedir.

Endüstriyel kaynaklar oldukça kolay kontrol edilir, çünkü endüstriler izlenir ve kanalizasyon kullanım izin şartlarını karşılaması zorunludur. Eğer kirletici civa termometreleri ya da lindan saç biti ilaçları gibi ticari bir ürün ise; ürünün yasaklanması veya kısıtlanması yerel idarenin yetkisi dahilinde olmayabilir. Bu gibi durumlarda, etkili olmak için; Avrupa Birliği'nde nonilfenol (endokrin bozucu özelliklere sahip bir yüzey aktif madde bileşeni) kullanımının yasaklanması gibi, ürün kullanımı kısıtlamaları ulusal bazda zorunlu kılınmalıdır.

FİLTRASYON

Filtrasyon, filtre türüne bağlı olarak partikülleri, askıda katı maddeleri ve bazı çözünmüş bileşenleri giderir. Ayrıca, ikincil arıtımdan sonra kalan partiküllerin gideriminde; filtrasyon daha etkili bir dezenfeksiyon prosesi ile sonuçlanabilir. Kimyasal veya biyofiziksel dezenfeksiyon işlemleri birçok mikroorganizma sınıfını etkisiz hale getirmesine ya da yok etmesine rağmen; filtrasyon ile giderilen patojenler, fiziksel adsorpsiyon ya da yakalama ile giderilir. Filtrasyonun patojenleri azaltabilme yeteneği; kullanılan medyanın gözenek büyüklüğü, patojenin boyutu ve eğer kullanılırsa eklenen kimyasalların bir fonksiyonudur. Çoğu filtrasyon türleri, protozoon kistler gibi en büyük patojenlerden bazılarını giderebilir. Bakterilerin ve virüslerin de dahil olduğu daha küçük patojenler; ya çok küçük gözenek boyutlarına sahip filtreler tarafından boyut eleme/dışlama yoluyla veya daha küçük patojenlerin adsorbe edildiği daha büyük partikülleri filtreleme yoluyla filtrasyon prosesi ile giderilir. Dezenfeksiyondan önce arıtılmış atık sulardaki patojenlerin büyük bir kısmı parçacıklarla ilişkili olma eğilimindedir. Yeniden kullanım düzenlemelerine sahip birçok ülkede ayrıca partiküllerin giderilmesi için ek gereksinimlerde mevcuttur. Bu gereksinimlerin gerekçesi; etkili filtrasyon ve dolayısıyla partikül giderimi ile birlikte çok bariyerli bir arıtım sürecinin bir parçası olmasıdır. İkinci faydası daha az tanecikle dezenfeksiyon veriminin artması, düşük bulanıklık ve yüksek geçirgenliktir. Son yıllarda, yeniden kullanım için arıtımların geliştirilmesi konusundaki önemin artması ile birlikte; filtrasyon konusunda birçok yenilik ortaya konulmuştur. Bu gelişmeler ile birlikte, günümüzde ticari olarak mevcut çok sayıda fitrasyon teknolojileri bulunmaktadır. Filtrelerin konfigürasyonlarında ve özelliklerinde ciddi değişikliklere bakılmaksızın, ticari olarak mevcut filtrasyon teknolojilerinin üç türü vardır: kum filtrasyonu, yüzey filtrasyonu ve membran filtrasyonu (EPA, 2012).

Kum Filtrasyonu

Kum filtreleri, AAT'leri için en uzun kullanım geçmişine sahiptir. Kum filtreleri, sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz medya yatağından oluşur. Kum, antrasit ya da lal taşı/granat gibi sıkıştırılamaz medya en çok kullanılanlardır. Filtre tipine (örneğin; tekli, çiftli ya da karışık medya) bağlı olarak, sıkıştırılamaz ortamlardaki medyanın efektif boyutları, ortalama çap için; 0.4 ile 2.0 mm dir. Sıkıştırılamaz ortam filtreleri 30-60 cm'lik ortamla dolu kolonlar içerir ve filtre konfigürasyonuna bağlı olarak; sürekli, yarı sürekli ya da kesikli geri yıkama prosesininden faydalanır.

Yüzey Filtrasyonu

Yüzey ve kum filtreleri arasındaki temel fark, dolgulu ortamın derinliği ve ortam malzemesidir. Kum filtrasyonu tipik olarak 30-60 cm'e kadar dolgu ortamı içerirken, yüzey filtreleri genellikle milimetre kesirinden birkaç milimetre kalınlığa kadar dolgu ortamı kullanır. Yüzey filtreleri tipik olarak naylon, polyester, akrilik ve paslanmaz çelik liflerden üretilen elekler veya kumaşlardan oluşur. Çoğu yüzey filtreleri; doğal akışlı beslemeli, geri yıkamalı ve yarı sürekli olmakla birlikte; kısa süreler için geri yıkama işlemini sürekli şekilde gerçekleştirmek gerekebilir.

Yüzey filtresinin bir türü olan ve bir dizi disk üzerine filtrasyon ekranı monte edilen, disk filtreleri üreticileri; performans ve verim konularında iyileştirmeler yapmışlardır.

Membran Filtrasyonu

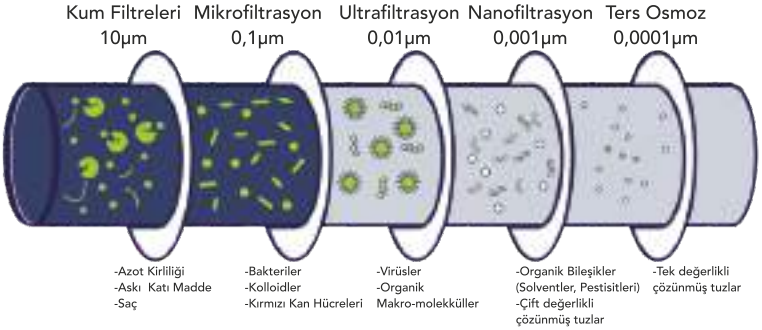
Membran, iki fazı ayıran ve maddenin taşınmasına karşı seçici bir bariyer gibi davranan ince bir film olarak tanımlanabilir. Suyun membran boyunca akması için bazı türlerde itici güçlere ihtiyaç vardır. Yeniden kullanım uygulamalarında, membran prosesleri tipik olarak basınç ile işletilen proseslerdir. Tuzlu suların arıtımı için uygulama alanı bulan bazı yeni desalinasyon/tuzunu giderme yaklaşımları; itici olarak osmotik gradyanları kullanmaktadır. Önemli, piyasada mevcut filtrasyon prosesleri için, itici gücün ve nominal gözenek boyutunun özeti Tablo 10'da verilmiştir.

Mevcut çeşitli filtre türlerinin gözenek boyutlarında önemli farklılıklar vardır. Membran grubu filtrelerinin kullanılması ile, yüzey filtreleri ya da kum filtreleri kullanılarak elde edilenlere göre, daha yüksek kaliteli filtre çıkış suyu elde edilebilir. MF veya UF membranlar kullanılarak elde edilen bu yüksek çıkış suyu kalitesi; enerji ve ekipman maliyetleri dolayısı ile kum ya da yüzey filtresi sistemlerine kıyasla 1.5 ile 2 kat daha yüksek bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Yüksek enerji maliyetleri ve özel ekipman gerektirmeleri nedeniyle NF ve RO maliyetleri önemli ölçüde daha yüksektir.

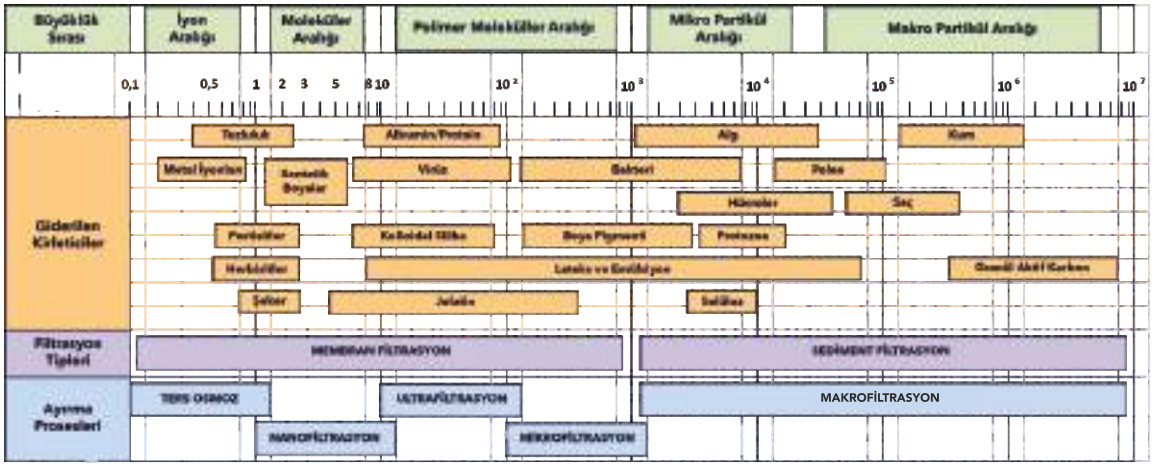
Bir filtreleme sisteminin kapasitesi, genellikle filtrasyon hızı ve filtrasyon sistemindeki mevcut yüzey alanına bağlı olarak değerlendirilir. Üreticiler, hidrolik yükleme hızlarını ya da su kalitelerini arttırmak suretiyle; filtre performansını arttırmak için sürekli olarak yeni filtreleme teknolojileri geliştirmekte ya da var olan teknolojilerini değiştirmektedirler ve bu sayede filtrelerini daha ekonomik ya da daha iyi sonuçlar alabilen duruma getirmektedirler. Şekil 26 ve 27'de filtrasyon proseslerine göre giderilen kirleticiler gösterilmiştir

Tablo 10. *Filtre tipi özelliklerinin özeti*

Filtre Tipi	Filtrasyon İtici Gücü	Nominal Gözenek Boyutu (µm)	Giderimi Hedeflenen Kirleticiler
Kum			
Sıkıştırılamaz Medya	Yerçekimi veya basınç farkı	60 – 300	TSS, bulanıklık, bazı protozoan oositler ve kistler
Sıkıştırılabir Medya			
Yüzey Filtrasyonu			
Yüzey Filtrasyonu	Yerçekimi	5 – 20	TSS, bulanıklık, bazı protozoan oositler ve kistler
Membran			
Mikrofiltrasyon	Basınç farkı	0.05	TSS, bulanıklık, bazı protozoan oositler ve kistler, bazı bakteri ve virüsler
Ultrafiltrasyon	Basınç farkı	0.002– 0.050	Makromoleküller, kolloidler, çoğu bakteri, bazı virüsler, proteinler
Nanofiltrasyon	Basınç farkı	<0.002	Küçük moleküller, biraz sertlik, virüsler
Ters Osmoz	Basınç farkı	<0.002	Çok küçük moleküller, renk, sertlik, sülfatlar, nitrat, sodyum ve diğer iyonlar



Şekil 26. *Filtrasyon proseslerine göre giderilen kirleticiler (www.suez.com)*



Şekil 27. *Filtrasyon tiplerine göre giderilen kirleticiler*

Biyofiltrasyon: Biyolojik filtrasyon ya da biyofiltrasyon; granül bir medya filtresinin TOK gibi biyolojik olarak parçalanabilir bileşenleri gidermek için, biyolojik olarak aktif olmasının sağlandığı bir arıtım tekniğidir. Filtrelenen sularda dezenfektan kalıntısı olmadığı varsayılırsa, herhangi bir granül medya filtresinin çoğu, mikrobiyal büyümeyi destekleme özelliğindedir. Sonuç olarak, biyolojik aktivitenin arıtım performansına olan katkı seviyeleri değişiklik gösterse de; biyolojik aktivite; pestisitler, endokrin bozucu bileşikler ve farmasötiklerin de dahil olduğu çözünmüş organik kirleticiler kapsamında olmak üzere, geniş bir yelpazede su kalitesinin iyileştirilmesi için, partikül gideriminin ötesinde arıtım performansını artırabilir (Bonne ve dig., 2006; Wunder ve dig., 2008; Van der Aa ve dig., 2003). Yavaş kum filtresi, yüksek hızlı ve granül aktif karbonun (GAK) da içerisinde bulunduğu çok farklı türde biyofiltrasyon kullanılabilir (Evans, 2010).

Filtre medyasının gözenek boyutuna bağlı olarak, iz kimyasal bileşikler için ciddi giderimler elde edilebilir. Fiziksel giderim mekanizması; kimyasal ile sorblanan partiküllerin giderimi, medya gözeneklerine emilim (sorpsiyon) yoluyla geçen kimyasalların giderimi ya da elektrostatik itiş proseslerini içerir (WRRF, 2012a; Kimura ve dig., 2003). İçilebilir yeniden kullanım planlarında yaygın olarak kullanılan biyofiltrasyon, biyolojik parçalanma ile kirleticileri gidermek için yaygın fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kullanımını arttırır. Daha yüksek kaliteli geri kazanılmış su elde etme konusundaki artan ilgi ile beraber, çoklu arıtma prosesinin bir parçası olan biyofiltrasyon; belirli uygulamalarda RO gibi yüksek enerjili proseslerinin yerini alabilir

Yavaş Kum Filtrasyonu: Nehir seti/kıyısı filtrasyonu (RBF) ve toprak-akifer arıtımı (SAT) gibi doğal filtrasyon prosesleri ile birlikte yavaş kum filtrasyonu aslında halen günümüzde kullanılmakta olan en eski içme suyu arıtma proseslerinden biridir. Yavaş kum filtrasyonu, kimyasal koagülasyon olmaksızın yüzey yüklenme oranlarının düşük olduğu küçük çaplı kum kullanır. Yavaş kum biyofiltrasyonunda; kumun üst yüzeyi, sistemin hidrolik kapasitesini yenilemek için periyodik olarak kazınarak çıkarılan veya tırmıklanan "schmutzdecke" adı verilen biyolojik olarak aktif bir tabaka ile kaplanır. Yavaş kum filtrasyonu, kirleticileri gidermek için esasen hem fiziksel hem de biyolojik mekanizmaları kullanmasına rağmen, biyolojik mekanizma baskındır (EPA, 2012).

Yüksek Hızlı Filtrasyon: Yüksek hızlı filtrasyon; yavaş kum filtrasyonundan yaklaşık 100 kat yüksek yüzey yükleme oranlarına sahip olacak şekilde, kum ve antrasit gibi daha büyük çaplı ortamlar kullanır. Bulanıklığı ve organik maddeyi gidermek için, demir klorür veya alum gibi bir koagülant prosese dozlanır. Filtrelere periyodik olarak klorlu veya klorlu olmayan su ile geri yıkama uygulanmalıdır. Yüksek hızlı filtrasyon ile kolay bir şekilde giderilebilmeleri için kompleks organik maddelerin oksitlenerek; daha küçük ve biyolojik olarak daha kolay parçalanabilen organik bileşikler haline getirilmesi ile beraber biyolojik etkinliğin arttırılmasına yönelik olarak; bazı zamanlarda ozon, klor, klor dioksit veya permanganat kullanan ön oksidasyon işlemleri uygulanır (EPA, 2012).

Granül Aktif Karbon (GAK) Filtrasyonu: Kum ya da antrasit ortam ile kıyaslandığında, GAK ilave adsorpsiyon özelliklerine sahip olmakla birlikte aktif karbon ortamında daha büyük mikrobiyal biyokütle (veya biyofilm) biriktirebilir. Biyokütle, kirleticilerin biyolojik olarak parçalanmasında ve GAK filtrasyonunun tamamlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. GAK kullanım ömrü (medya değişimleri arasındaki süre), biyolojik prosesler ile uzatılabilir. Bu yüzden; GAK filtrasyonu, kirletici giderimi için fiziksel ve biyolojik prosesleri kullanmaktadır. Hedef kirleticileri gidermek için temas süresi gereksinimlerine bağlı olarak, GAK filtrasyonu; GAK yüksek hızlı filtre, tekli medya derin yatak kontaktörü ya da kum veya antrasit

filtre yatağının üzerinde filtre katmanı olarak tasarlanabilir. Konvansiyonel yüksek hızlı filtrelerde olduğu gibi, kirletici gideriminin geliştirilmesi için yukarı akış koagülantlar ve oksitleyiciler sıklıkla kullanılır. Bunlara ek olarak, GAK'ın adsorptif (emici) özellikleri, adsorpsiyon yoluyla istenen filtrelenmiş su kalitesinin üretilmesine yardımcı olmaktadır. Bu yüzden, özellikle adsorpsiyonun; kirletici gideriminin biyolojik mekanizmasından daha baskın arıtma rolü olduğu durumlarda GAK periyodik olarak yenilenmelidir (EPA, 2012).

DEZENFEKSİYON

Amaçlanan kullanım için uygun geri kazanılmış suların sağlanabilmesi amacı ile dezenfeksiyon teknolojilerden bir veya daha fazlasının kullanılması, herhangi bir yeniden kullanım planının önemli bir parçasıdır. Dezenfeksiyon; virüslerin, bakterilerin, protozoan oositlerin ve kistlerin de içerisinde bulunduğu mikroorganizmaların etki(n)sizleştirilmesi için tasarlanır. Geri kazanılmış sular için bugüne kadar en yaygın kullanılan dezenfeksiyon yöntemi klorlamadır. UV dezenfeksiyonu, kesin olarak kanıtlanmış ve klorun alternatifi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Diğer dezenfeksiyon alternatifleri; perasetik asit (PAA), ozon, pastörizasyon ve ferrat (demir tozu)'dır (WERF, 2008).

Klorlama

Klor dezenfeksiyonu, serbest klor veya kloraminler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Klorlama şeklinden bağımsız olarak, klorlama dezenfeksiyonunun verimi; su sıcaklığı, pH, karıştırma derecesi, temas süresi, engelleyici maddelerin varlığı, klorlama türlerinin formları ve konsantrasyonları ile birlikte yok edilecek organizmaların türü ve konsantrasyonuna bağlıdır. Genel olarak, bakteriler; virüslere oranla klora karşı daha az dirençli iken, virüsler de parazit yumurta(cık)lara ve kistlere kıyasla klora daha az dirençlidir.

Dezenfeksiyon gereksinimleri, genellikle, belirli bir temas süresinden sonra arıtılmış suda kalan toplam klorun (serbest klor, kloraminler ve diğer klor/organik maddeleri kapsar) izlenmesini içerir. Atıksularda amonyak mevcut olduğunda; Amonyak, dezenfektan olarak serbest klora göre daha az etkili ve dezenfektan dozu olarak serbest klora kıyasla daha fazla dozaj gerektiren kloraminleri oluşturmak üzere serbest klor ile birleşecektir (WEF, 2010). Buna ek olarak, klor; arıtılmış atıksularda kalan diğer organik bileşenler ile ölçülebilir birleşik klor kalıntısına neden olan ancak potansiyel olarak düşük dezenfeksiyon yeteneğine sahip bileşikler oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu doğal hadisenin oluşumu ve etkileri iyi bir şekilde kanıtlanmıştır (Black ve Veatch, 2010; Szerwinski, ve dig., 2012).

Giyardiya lamblia, kriptosporidyum parvum ve hominis gibi patojenik protozoan parazitleri; kendilerini çevresel hasarlardan ve klor gibi oksitleyicilerin etkisizleştirmesinden koruyan oositler ya da kistler olarak çevrede bulunmaktadır (EPA, 2004).

Giyardiya ve Kriptosporidyum etkinsizleştirilmesinde yaşanan zorluklardan dolayı, klor dezenfeksiyonunu UV ile birleştirme; son zamanlarda artan şekilde ilgi çekmektedir. Çünkü; bu durum; daha geniş bir yelpazede patojenlerin dezenfeksiyonu, bakiye yoluyla gelişmiş güvenilirlik, azalan dezenfeksiyon yan ürünleri (DBPs) ve potansiyel maliyet düşüşü gibi birçok faydayı da beraberinde getirmektedir.

Ultraviyole Dezenfeksiyon

Giderek artan enerji verimliliği ve düşük maliyetli UV teknolojileri nedeniyle geri kazanılmış suyun UV dezenfeksiyonu uygulamaya girmektedir. 2012 itibariyle, UV; kanıtlanmış ve sağlam bir dezenfeksiyon yöntemidir. UV dezenfeksiyon performansını ve verimliliğini etkileyebilecek iki önemli su kalitesi konusu; partikül ilişkili mikroorganizmaların bulunması ve atıksuyun UV geçirgenlik (UVT) durumudur.

Partiküller hedef mikropları saklayabilir, onları UV ışığından korur ve bakteriler çoğunlukla partikül halindeki maddeye gömüldükleri için, partikül tarafından kısmen ya da tamamen UV ışığından korunurlar (Paraskeva ve dig., 2002; Emerick ve dig., 1999). Suyun dezenfeksiyondan önce filtreden geçirilmesi; hem partiküllerin azaltılması (Gömülmüş ve korunmuş mikroorganizmalara sahip büyük partiküllerin sayısının azalması) hem de UVT'nin artmasıyla (Daha küçük parçacıkların azaltılması; organizmaları korumayan fakat UVT'nin azalmasına ve böylelikle UV verimliliğini düşürmesi) nedenleri ile UV dezenfeksiyon verimini iyileştirir.

Ozon

Geri kazanılmış suda farmasötik açıdan aktif ve endokrin bozucu bileşiklerin (EDC'ler) saptanması, ozon dezenfeksiyonunun uygulanmasına olan ilginin artması ile sonuçlanmıştır. Ozon, renk giderimi kadar CEC'lerin giderimi konusunda da ikincil faydaları olan oturmuş bir dezenfeksiyon teknolojisidir. Dezenfeksiyon ile ilgili olarak, mikrobiyal etki(n)sizleştirme mekanizması; hücre zarlarını ve nükleik asitleri bozması ve zar boyunca transferi/taşınmayı değiştirmesi yönüyle klora benzeyen kimyasal bir prosestir.

Atıksu dezenfeksiyonunda ozon ile bakterilerin etki(n)sizleştirilmesi, büyük ölçüde çıkış suyu kalitesine bağlıdır. İçme sularındaki uygulamalar ile karşılaştırıldığında, proses; atıksuya ilk olarak ozon verildiğinde, ozon konsantrasyonuna kıyasla temas süresine daha az bağlıdır (Tyrrell ve dig., 1995; Janex ve dig., 2000; Ishida ve dig., 2008). Atıksulardaki ozona hidrojen peroksitin ilave edilmesi ile birlikte bromat oluşumunun azaldığı fakat bu durumun da bromür varlığından dolayı endişelere sebep olduğu görülmüştür.

İLERİ OKSİDASYON

İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP); UV/H_2O_2, ozon/ H_2O_2, ozon/UV, UV/TiO_2 (titantum dioksit) ve çeşitli Fenton reaksiyonlarını (Fe/H_2O_2, Fe/ozon, Fe/H_2O_2/UV) (Asano ve dig., 2007; Stasinakis, 2008; Munter, 2001) içeren su arıtımı teknolojilerinin bir sınıfıdır. Bu teknolojilerin, endüstriyel atıkların ve atıksularının CEC'lerinin ve toksisitelerinin azaltılmasından yüksek teknolojiler için arıtılmış sulara kadar olan geniş bir yelpazede uygulama alanı vardır (Munter, 2001; WRRF, 2012f). Klasik atıksu arıtma proseslerinde önemli seviyelerde arıtılamayan farmasötikler ve kişisel bakım ürünleri (PPCPs) ve endokrin bozucu bileşikleri (EDCs) hedef alabilme kabiliyeti nedeniyle bu proses, içilebilir uygulamalar için geri kazanılmış su arıtımında özellikle değerlidir (Miège ve dig., 2008). Yeniden kullanım uygulamaları için umut vaat eden ileri oksidasyon için mevcut birçok teknoloji vardır.

İleri oksidasyon prosesleri; PPCP'ler ve geniş çeşitlilikte potansiyel EDC'ler gibi zor ayrışabilir organik maddeleri kapsayan arıtım hedeflerine hitap etmek için içilebilir yeniden kullanım uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Aktif karbon gibi diğer arıtma alternatifleri ile karşılaştırıldığında, İOP'leri ayrıca geniş çeşitlilikteki mikrobiyal hedefleri dezenfekte edebilir ve adsorpsiyon ya da fiziksel ayırım yolları ile yapılan bileşiklerin basit şekilde ayrılmasının aksine, patojenlerin ve CEC'lerin kapsamlı olarak giderilmesi ile sonuçlanır (WRRF, 2012g).

DOĞAL SİSTEMLER

Doğal filtrasyon işlemleri; nehir kıyılarının, akiferlerin ve medya-toprak ve bitkilerden oluşan sulak alanların temel özelliklerinden faydalanarak; suları süzer ve bazı durumlarda biyolojik olarak oksitleyebilen ve kirleticileri azaltan biyofilm büyümesi için yüzey sağlar. İki doğal arıtma yaklaşımı; sulak alanlar ve toprak akifer filtrasyonu (SAT)'dur (EPA, 2012).

KAYNAKLAR

American Water Works Association (AWWA). 1996. Water Treatment Membrane Processes. McGraw-Hill. New York, NY.

Asano, T., F. Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi, and G. Tchobanoglous. 2007. Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. McGraw-Hill. New York, NY.

Black & Veatch. 2010; White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.

Bonne, P. A. C.; J. A. M. H. Hofman; and J. P. van der Hoek. 2006. "Long-term capacity of biological activated carbon filtration for organics removal." Water Science and Technology: Water Supply. 2(1):139.

California Department of Public Health (CDPH). 2012. Alternative Treatment Technology Report for Recycled Water. October 2012. http://www.cdph.ca.gov/certlic/drinkingwater/Documents/DWdocuments/AlternativeTreatmentTechnologyReportforRecycledWater-October2012.pdf

Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive And The Floods Directive (CIS). 2016. Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD, June 2016. Amsterdam.

Emerick, R. W., F. Loge, D. Thompson, and J. Darby. 1999. "Factors Influencing Ultraviolet Light Disinfection Performance Part II. Association of Coliform Bacteria with Wastewater Particles." Water Environment Research. 71(6):1178.

EU (2016) EU-level instruments on Water reuse, final report to support the Commission's Impact Assesment

Eurostat, 2013, Agri-environmental indicator: irrigation. http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Agri-environmental_indicator_-irrigation

Evans, P. J. 2010. "Nature Works Biological Treatment Methods Yield High-Quality Water." Opflow, July 2010.

Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M.J., Morikawa, M., Morrison, J. ve Palaniappan, M. 2011. The World's Water Vol.7: The Biennial Report on Freshwater Resources, Pacific Institute Washington DC, ABD: Island Press.

Global Water Intelligence (GWI). 2009. Municipal Water Reuse Markets 2010. Media Analytics Ltd. Oxford, UK.
Global Water Intelligence (GWI). 2015, Industrial Water Technology Markets 2015: Meeting Industrial Needs in Process Water Treatment and Wastewater Reuse. Oxford, United Kingdom
Muluk, Ç.B., B. Kurt, A. Turak, A. Türker, M.A. Çalışkan, Ö. Balkız, S. Gümrükçü, G. Sarıgül ve U. Zeydanlı. 2013. Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
Falkenmark M., Lindh G., 1976. How can wr cope with the water resources situation by the year 2015, Ambio 3, 114-22
Global Water Intelligence, 2016 in Ohkuma N, 2016, the situation of the international standardisation for water reuse
http://www.horiba.com/uploads/media/R43E_04_011_____01.pdf
Ishida, C., A. Salveson, K. Robinson, R. Bowman, and S. Snyder. (2008) "Ozone disinfection with the HiPOXTM reactor: streamlining an "old technology" for wastewater reuse." Water Science and Technology, 58(9):1765.
IWA (International Water Association) Publishing. n.d. Industrial Wastewater Treatment. IWA Publishing website.
www.iwapublishing.com/news/industrial-wastewater-treatment
Janex, M. L., P. Savoye, P. Xu, J. Rodriguez, and V. Lazarova. 2000. "Ozone for Urban Wastewater Disinfection: A New Efficient Alternative Solution." Proceedings of the Specialized Conference on Fundamental and Engineering Concepts for Ozone Reactor Design, Toulouse, France.
Kimura, K., G. Amy, J. Drewes, T. Heberer, T.U. Kim, and Y. Watanabe. 2003. "Rejection of Organic Micropollutants (Disinfection By-Products, Endocrine Disrupting Compounds, and Pharmaceutically Active Compounds) by NF/RO Membranes." Journal of Membrane Science. 227(1-2):113.
Metcalf and Eddy, 2007, Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, McGraw-Hill, New York.
Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed. McGraw-Hill. New York, NY.
Miège, C., J. M. Choubert, L. Ribeiro, M. Eusèbe, and M. Coquery. 2008. "Removal efficiency of pharmaceuticals and personal care products with varying wastewater treatment processes and operating conditions – conception of a database and first results." Water Science and Technology. 57(1):49.
Miller, W. G, 2006. Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs, Desalination (187: 65-75).
Moussa, M. S. 2008. Process Analysis of Textile Manufacturing: Environmental Impacts of Textile Industries. E-textile toolbox. yeumoitruong.vn/attachments/u2s3-4-environmental-impact-of-textile-industriespdf.355/
Munter, R. 2001. "Advanced Oxidation Processes-Current Status and Prospects." Proceedings of the Estonian Academy of Science and Chemistry., 50(2):59.
Paraskeva, P., and Nigel J. D. Graham. 2002. "Ozonation of Municipal Wastewater Effluents." Water Environment Research 74(6):569.
Stasinakis, A. S. 2008. "Use of Selected Advance Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment-Mini Review." Global NEST Journal. 10(3):376.
Szerwinski, A., K. Y. Bell, and K. Bordewick. 2012. "Chloramination in a Partially Nitrified Effluent: Process Control Solutions and Case Study." Proceedings of the 2012 Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference.
TÜRAAT, 2016. Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti,

Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı & Selçuk Üniversitesi
Tyrrell, S. A., R. Rippey, and W. Watkins. 1995. "Inactivation of bacterial and viral indicators in secondary sewage effluents, using chlorine and ozone." Water Research. 29(11):2483.
U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2012. Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
UNEP (United Nations Environment Programme 2010. Clearing the Waters: A Focus on Water Quality Solutions. Nairobi, UNEP.
Van der Aa, L. T. J., R. J. Kolpa, A. Magic-Knezev, L. C. Rietveld, and J. C. van Dijk. 2003. "Biological activated carbon filtration: pilot experiments in the Netherlands." Water Technology Conference, November 2-6, 2003.
Water Environment Federation (WEF). 2010. WEF Manual of Practice No. 8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. 5th Edition. WEF Press. Alexandria, VA.
Water Environment Research Foundation (WERF). 2008. Disinfection of Wastewater Effluent – Comparison of Alternative Technologies. Final Report 04-HHE-4. Water Environment Research Foundation. Alexandria, VA.
WateReuse Research Foundation (WRRF). 2012a. Study of Innovative Treatment on Reclaimed Water. WRF-02-009. WateReuse Research Foundation: Alexandria, VA.
WateReuse Research Foundation (WRRF). 2012f. Risk Assessment Study of PPCPs in Recycled Water to Support Public Review. WRF-09-07. WateReuse Research Foundation: Alexandria, VA.
WateReuse Research Foundation (WRRF). 2012g. Demonstration of Filtration and Disinfection Compliance through SAT. WRF-10-10. WateReuse Research Foundation: Alexandria, VA.
Wunder, D. B., V. A. Horstman, and R. M. Hozalski. 2008. "Antibiotics in slow-rate biofiltration processes: biosorption kinetics and equilibrium." American Water Works Association Water Quality Technology Conference Proceedings, 2008.
www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4123
WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO.

SANAYİ SEKTÖRLERİ UYGULAMA KILAVUZLARI

2 BÖLÜM

Bölüm Yazarı:
Prof. Dr. Bilgehan NAS

2011 yılında; Dünya'da 7 milyar m^3/yıl arıtılmış atıksu yeniden kullanılmıştır ve toplam su kullanımına oranı %0.59'dur. 2030 yılında; Dünya'da 26 milyar m^3/yıl arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılacağı öngörülmektedir ve toplam su kullanımına oranı %1.66 olacaktır. Dünya'da geri kazanılmış atıksular %32.01 oranında tarımsal sulama amaçlı yeniden kullanılmaktadır. Tarımsal sulama amaçlı sulamayı; peyzaj amaçlı yeşil alan sulaması %20.01 ve sanayide yeniden kullanım %19.32 ile takip etmektedir.

Arıtılmış atıksuların sanayide yeniden kullanımı önemli bir oranı oluşturmaktadır. "Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı" projesi kapsamında, atıksu geri kazanımı yapan evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinin yanı sıra Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine (SKKY) tabi 6 farklı sanayi sektöründe, 11 alt sektörde olmak üzere toplam 31 sanayi tesisi incelenmiştir. Sanayi sektörleri belirlenirken; sektörün ülkemizdeki yaygınlığı, proseslerde kullanılan su miktarı, atıksu oluşumu, geri kazanılan atıksuyun sanayide yeniden kullanım potansiyeli gibi hususlar göz önüne alınmıştır. Her bir sektörde inceleme yapılacak alt sektörler ve sanayi tesisleri belirlenmiştir. Sanayi tesisleri belirleme sürecinde ise; tesisin kapasitesi, atıksu debisi, atıksu arıtma tesisi proses özellikleri, atıksu geri kazanımı uygulamasının olup olmadığı, soğutma kulesi veya buhar kazanı gibi yeniden kullanım alternatifi olabilecek yardımcı tesislerinin mevcudiyeti, ülke genelindeki bölgesel dağılım vb özellikler göz önüne alınmıştır.

Proje kapsamında incelenenen sanayi sektörleri ve alt sektörleri Tablo 1'de verilmektedir.

Proje ile, Tablo 1'de verilen sanayi sektörlerinde faaliyet gösteren sanayi tesisleri proje ekibi tarafından ziyaret edilmiştir. Atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı uygulaması yapan tesislerde mevcut geri kazanım prosesleri, prosesin verimi, ilk yatırım ve işletme maliyetleri, işletme sorunları ve yeniden kullanım kategorileri gibi hususlar değerlendirilmiş; her bir tesis için belirlenen noktalardan Haziran 2017- Ekim 2017 tarihleri arasında 3 farklı tarihte atıksu analizi yapılmıştır.

Tablo 1. *Proje kapsamında incelenen ve uygulama kılavuzları hazırlanan sanayi sektörleri*

Sanayi Sektörü	Alt Sektör	SKKY Tablo
Maden Sanayi	• Cevher Hazırlama ve İşleme Tesisleri	7.1 ve 7.3
	• Hazır Beton Santralleri	7.5
Gıda Sanayi	• Sebze,Meyve Yıkama ve İşleme Tesisleri	5.9
	• Şeker Fabrikaları	5.11
İçki Sanayi	• Alkolsüz İçecekler Meşrubat Üretimi ve Benzerleri	6.1
Selüloz, Kâğıt, Karton ve Benzeri Sanayi	• Hurda Kağıt, Saman ve Kağıttan Ağartılmamış Selüloz Üretimi	13.2
	• Nişasta Katkılı Kağıt	13.6
	• Yüzey Kaplamalı, Dolgulu Kağıt	13.8
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri	• Termik Santraller	9.3
	• Doğalgaz Çevrim Santralleri	20.3
Karışık Endüstriler	• Organize Sanayi Bölgeleri	19

Endüstriyel yeniden kullanım; proses, yardımcı işletmeler (soğutma kulesi, buhar kazanları vb) ve sulama suyu amaçlı olmak üzere araştırılmıştır.

Sektörel uygulama kılavuzları her bir sektör için aşağıdaki ana başlıklarda ele alınmıştır.

- Sektörün Dünya'daki ve Ülkemizdeki yeri ve önemi
- Sektörde üretim süreci
- Sektörde su kullanımı ve atıksu oluşumu
- Sektörde atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı (atıksu analiz sonuçlarının değerlendirilmesi)
- Değerlendirme

Sanayi sektörüne ve üretim proseslerine bağlı olarak proses suyu kalitesi çok değişken olabilmektedir. Her sanayi tesisi için bunun ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak; sulama suyu, soğutma kulesi ve buhar kazanlarında kullanılacak suların sağlaması gereken kalite kriterleri literatürde belirlenmiştir. Sanayi tesisleri sektörel bazda değerlendirilirken incelenen tesisin üretim prosesi özelinde değerlendirme yapılmış olmakla birlikte aynı sektör için literatür de değerlendirilmiştir.

Sanayi tesisleri normalde kullandığı su kaynağı (kuyu, şebeke suyu) yerine proses çıkış suyunu yeniden kullanması tesisin kullandığı toplam su miktarının azalmasını sağlar. Bunun yanında proses suyunun yeniden kullanılması veya arıtılmış evsel atıksuyun yeniden kullanılması aynı zamanda daha ekonomik olabilir ve üretim maliyetlerini de azaltır.

Sanayi tesisleri, tesiste suyun birden fazla kullanım fırsatlarını belirleyebilmek için aşağıda açıklanan yöntemleri uygulayabilir.

- Tesis içi akışları belirlemek için tesisin su kütle dengesi oluşturulmalıdır
- Tesis su kaynakları tanımlanmalı ve su kullanım miktarı belirlenmelidir
- Yeniden kullanım fırsatları belirlenmelidir
- Yeniden kullanım için arıtma ihtiyacı olup olmadığına karar verilmelidir
- Yeniden kullanım uygulamasının faydaları, riskleri ve maliyetleri belirlenmelidir.

Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Belirlenmesi

Yeniden kullanım programını uygulamak için, potansiyel yeniden kullanım kaynakları ve olası yeniden kullanım fırsatlarını değerlendirmek için bu kaynakların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmelidir. Yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesindeki ilk adım, tesiste yeniden kullanım için hangi potansiyel su kaynaklarının mevcut olduğunu belirlemektir. İkinci adım, içilebilir su veya arıtılmış su kullanmaktan ziyade, su yeniden kullanımının kabul edilebilir olduğu potansiyel proses uygulamalarını tanımlamaktır. Bu iki adımı geliştirirken, atıksu akışlarının kalite özellikleri ve prosesler için su kalitesi gereksinimleri hakkında bilgi sahibi olmak yararlı olacaktır.

Bu iki adım ile birlikte, yeniden kullanım fırsatları ortaya çıkacak ve yeniden kullanım uygulaması için gerekli potansiyel arıtma seviyesi belirlenecektir.

Yeniden kullanım senaryoları, belirli uygulamalar için hedef su kalitesi değerlerini karşılamak için bir miktar arıtma gerektirebilir. Arıtma gereksinimleri, su kaynağı özelliklerine ve yeniden kullanımda istenilen su kalitesi kriterlerine bağlı olacaktır. Arıtma ihtiyacı, arıtmadan kullanım (doğrudan kullanım), kısmi arıtma ve tam arıtmayı gerektirebilir.

- Doğrudan yeniden kullanım, herhangi bir arıtma gerektirmez, en uygun maliyetli olan bu yeniden kullanım stratejisini uygulamak kolaydır.
- Yeniden kullanım kaynağını daha yüksek kalitede bir suyla (şebeke veya su hazırlama ünitesi çıkış suları ile) karıştırmak, bir sonraki uygun maliyetli yeniden kullanım stratejisi olabilir ve bu, yeniden kullanılan su kaynağının yeniden kullanım uygulaması için hedef su kalitesi kriterlerini sağlamadığı zaman gerekli olabilir.
- Kısmi arıtma, ilk iki seçenekten daha yüksek bir maliyetle olsa da, daha yüksek kalitede su sağlar. Kısmi arıtma, pH kontrolü, dezenfeksiyon, çökeltme ve filtrasyondan veya kombinasyonlarından oluşabilir.
- Tam arıtma en yüksek su kalitesini sağlar ancak biyolojik arıtma, çökeltme, dezenfeksiyon, multimedya filtrasyon, membran filtrasyonu ve pH kontrolünden oluşabilecek arıtma proseslerinin bir kısmını veya tamamını içeren en yüksek maliyetli su yeniden kullanım yöntemidir. Arıtma işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleştiğinden ve istenilen su kalitesinin sağlandığından emin olmak için su kalitesi izleme gerekli olacaktır.

Tablo 2'de sanayi tesisleri için tesis içinde yeniden kullanıma uygun olabilecek su kaynakları ve yeniden kullanım uygulama alanları matrisi verilmiştir. Tesisler kendi sektörleri için su kaynakları-yeniden kullanım alanları matrisi oluşturmalıdır. Bu matriste, her bir kaynaktan elde edilecek suyun miktarı ve kalitesi değerlendirilerek, o kalitedeki suyun matriste yer alan farklı yeniden kullanım alternatifleri için uygunluğunu değerlendirmeli, uygun olmayan su kalitesi durumunda yapılması gereken arıtma maliyetlerinin fizibilitesini yaparak suyun yeniden kullanımındaki arıtma maliyeti oranını matriste değerlendirmelidir. Böylece tesis için hangi kaynaktan alınan suyun, hangi amaçla yeniden kullanımındaki su maliyetleri de değerlendirilebileceğinden en uygun yeniden kullanım senaryolarının oluşturulmasında etkin bir yöntem oluşturulabilir.

Tablo 3'te sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi verilmiştir. Tesisler, Tablo 3 ile belirledikleri yeniden kullanım alanlarının her biri için gerekli minimum su kalitesini belirleyerek, yeniden kullanımına uygunluğu veya gerekli ise arıtma proseslerine karar vermelidir. Burada verilen su kalitesi parametreleri yeniden kullanım alanına göre değişeceğinden uygun başka su kalitesi parametreleri eklenebilir.

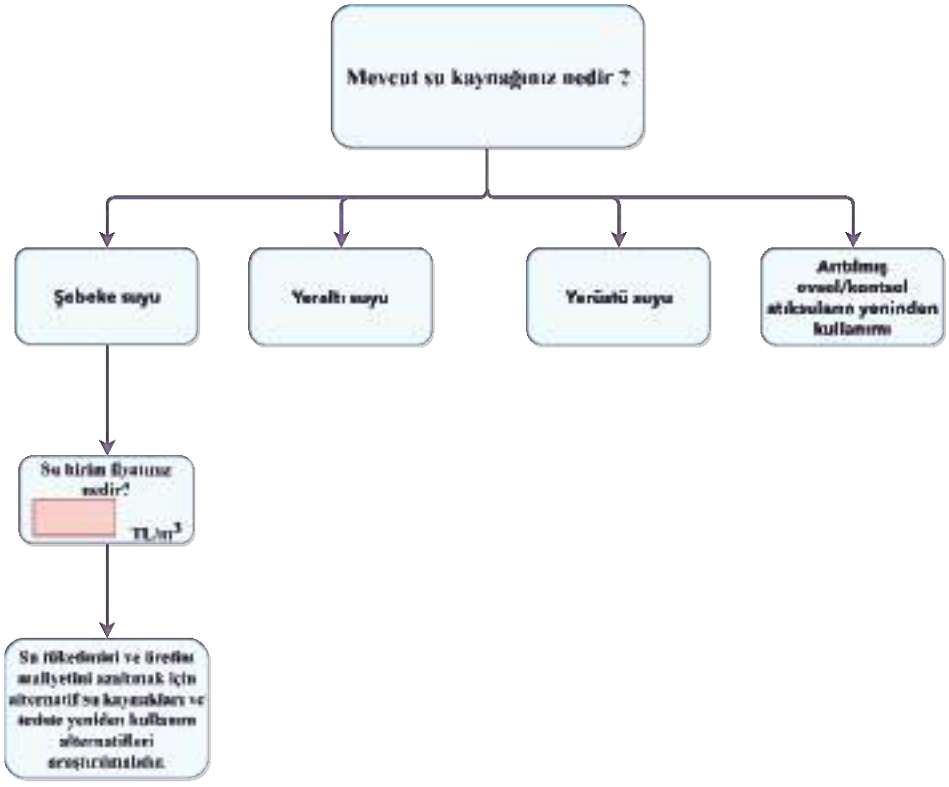
Tablo 2. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım kaynakları ve uygulama alanları matrisi*

YENİDEN KULLANIM KAYNAK-UYGULAMA MATRİSİ		YENİDEN KULLANIM UYGULAMALARI														
		Proses	Kimyasal Besleme Sistemleri	Sanitasyon	Soğutma Kulesi Tamamlama Suyu	Kazan Tamamlama Suyu	Kapalı Devre Tamamlama Suyu	Pompa Salmastra Suyu	CIP Durulama Suyu	Proses Yıkama ve Durulama Suyu	Tesis Temizliği	Atıksu Arıtma Tesis Servis Suyu	Araç Yıkama Suyu	Tesis içi Yeşil Alan Sulama	Yangın Hidratları	Ekipmanların Bakımı
YENİDEN KULLANIM KAYNAKLARI	Proses Suları															
	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suları															
	Soğutma Suları															
	Blöf Suları															
	Membran Konsantreleri															
	Multimedya Filtrelerin Ters Yıkama Suları															
	CIP Suları															
	Sanitasyon Suları															
	Pompa Salmastra Suları															
	Diğer															

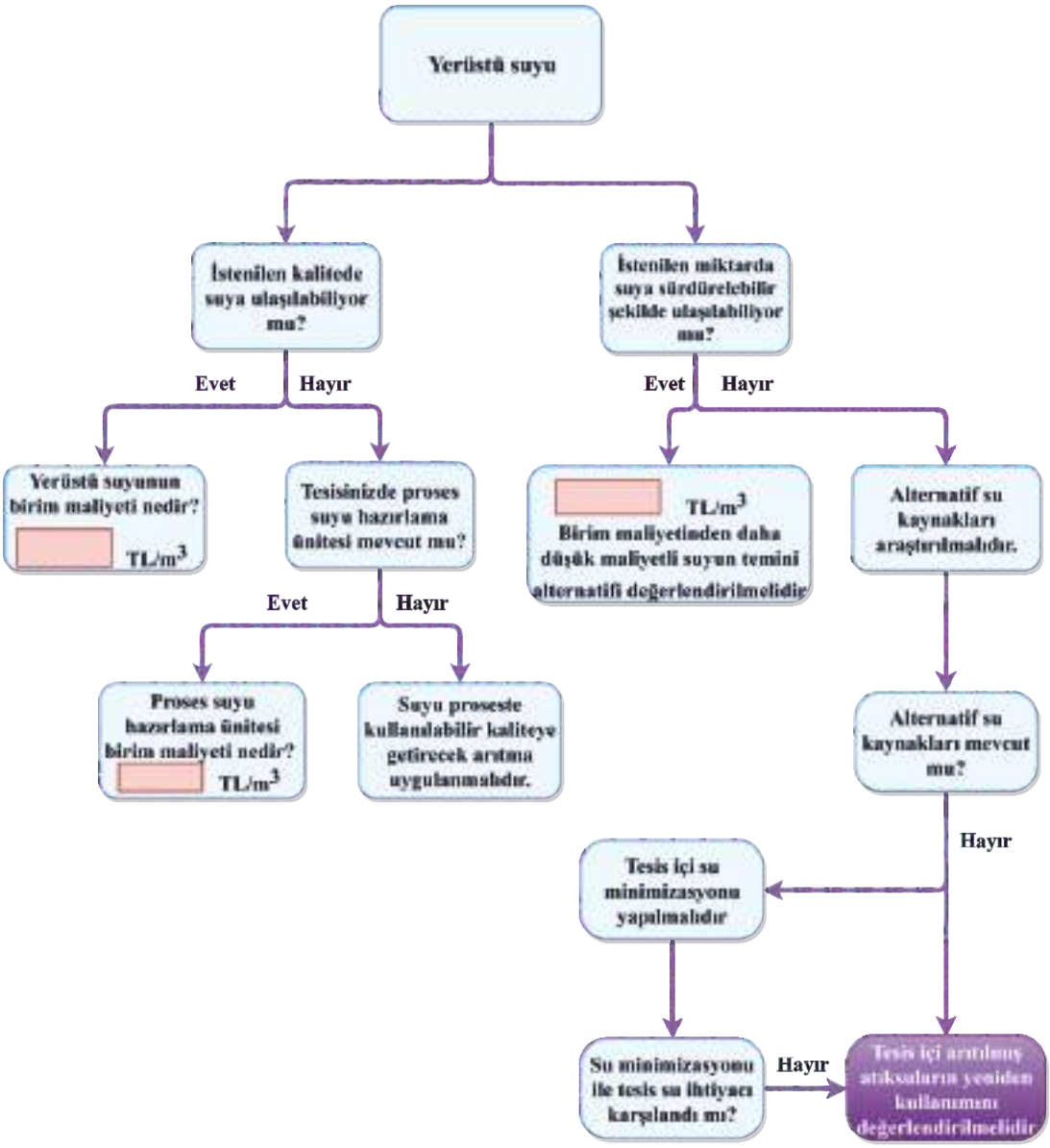
Tablo 3. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi örneği*

Yeniden Kullanım Alanları	Su yeniden kullanım alternatifleri için su kalite parametreleri								
	$BOİ_5$	KOİ	Koliform	Bulanıklık	Alkalinite	Toplam Sertlik	Ca Sertliği	İletkenlik	Klorür
Proses									
Kimyasal Besleme Sistemleri									
Sanitasyon									
Soğutma Kulesi Tamamlama Suyu									
Kazan Tamamlama Suyu									
Kapalı Devre Tamamlama Suyu									
Pompa Salmastra Suyu									
CIP Durulama Suyu									
Proses Yıkama ve Durulama Suyu									
Tesis Temizliği									
Atıksu Arıtma Tesis Servis Suyu									
Araç Yıkama Suyu									
Tesis içi Yeşil Alan Sulama									
Yangın Hidratları									
Ekipmanların Bakımı									

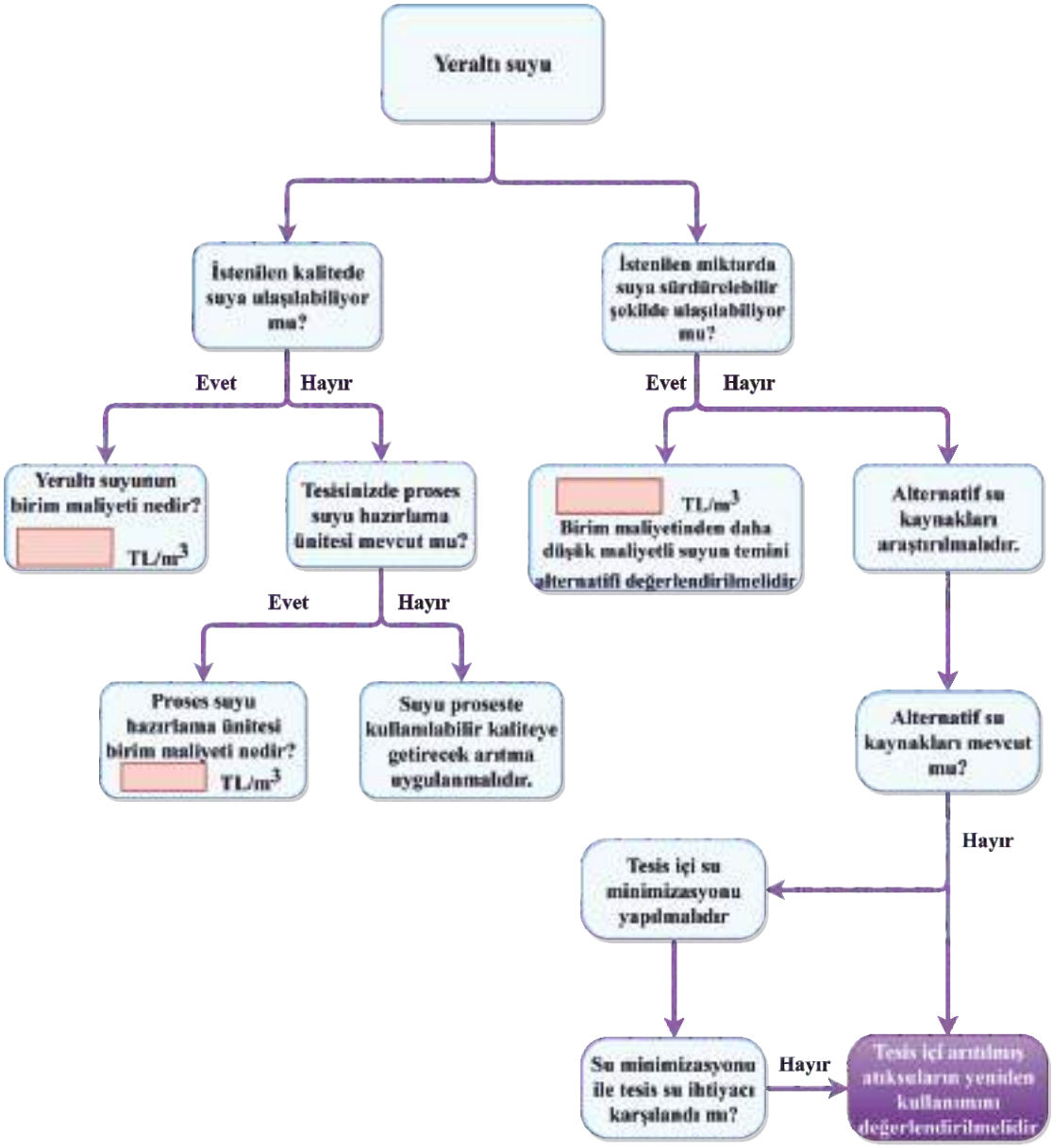
Şekil 1,2,3 ve 4'te sanayi tesislerinin su kaynağından başlanılarak su kullanımı, atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı değerlendirebilmesine imkan sağlayabilecek bir karar ağacı verilmiştir. Bu karar ağacı, sanayinin şebeke, yeraltı, yerüstü veya arıtılmış evsel atıksuyu su kaynağı olarak kullanması durumunda; kullandığı su birim fiyatı, su kalitesi ve su miktarını sorgulayan ve su minimizasyonu ve yeniden kullanıma yönlendiren bir algoritmadır.



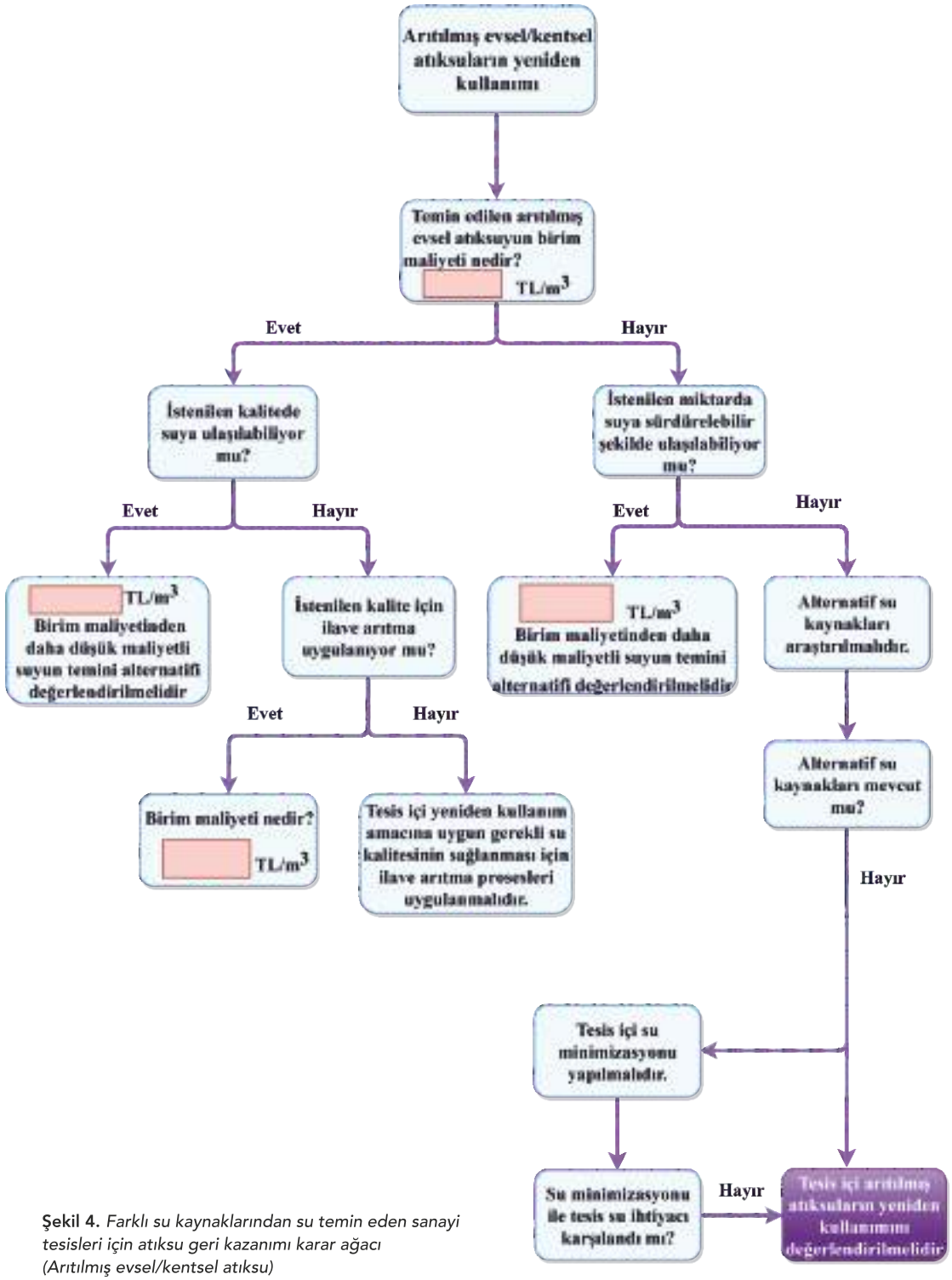
Şekil 1. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Şebeke suyu)*



Şekil 2. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yerüstü suyu)*

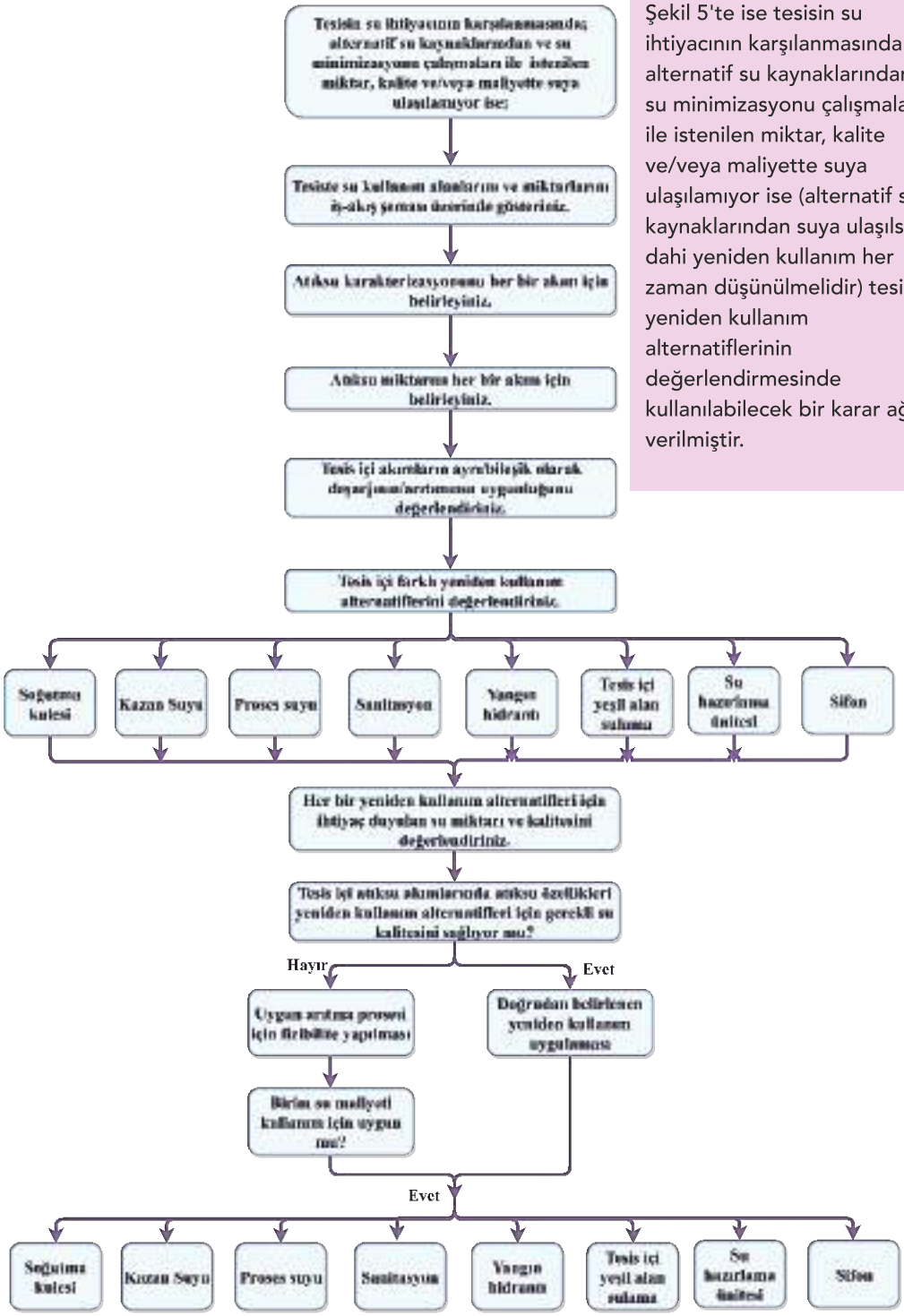


Şekil 3. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yeraltı suyu)*



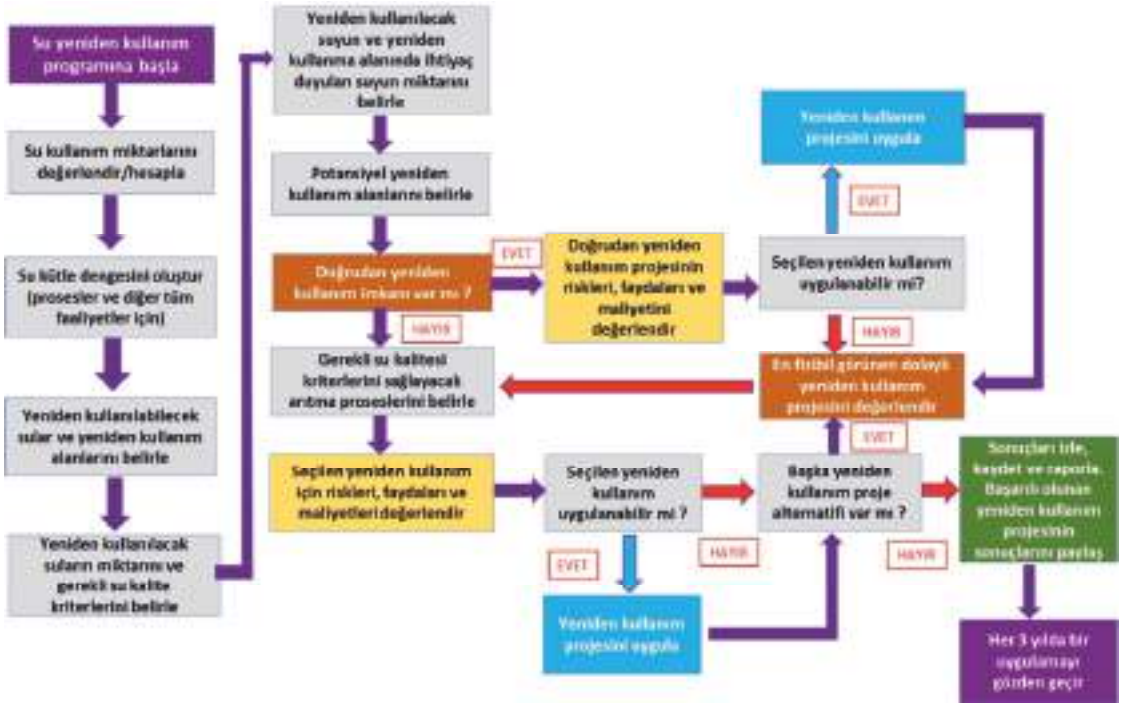
Şekil 4. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Arıtılmış evsel/kentsel atıksu)*

Şekil 5'te ise tesisin su ihtiyacının karşılanmasında alternatif su kaynaklarından ve su minimizasyonu çalışmaları ile istenilen miktar, kalite ve/veya maliyette suya ulaşılamıyor ise (alternatif su kaynaklarından suya ulaşılsa dahi yeniden kullanım her zaman düşünülmelidir) tesiste yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı verilmiştir.



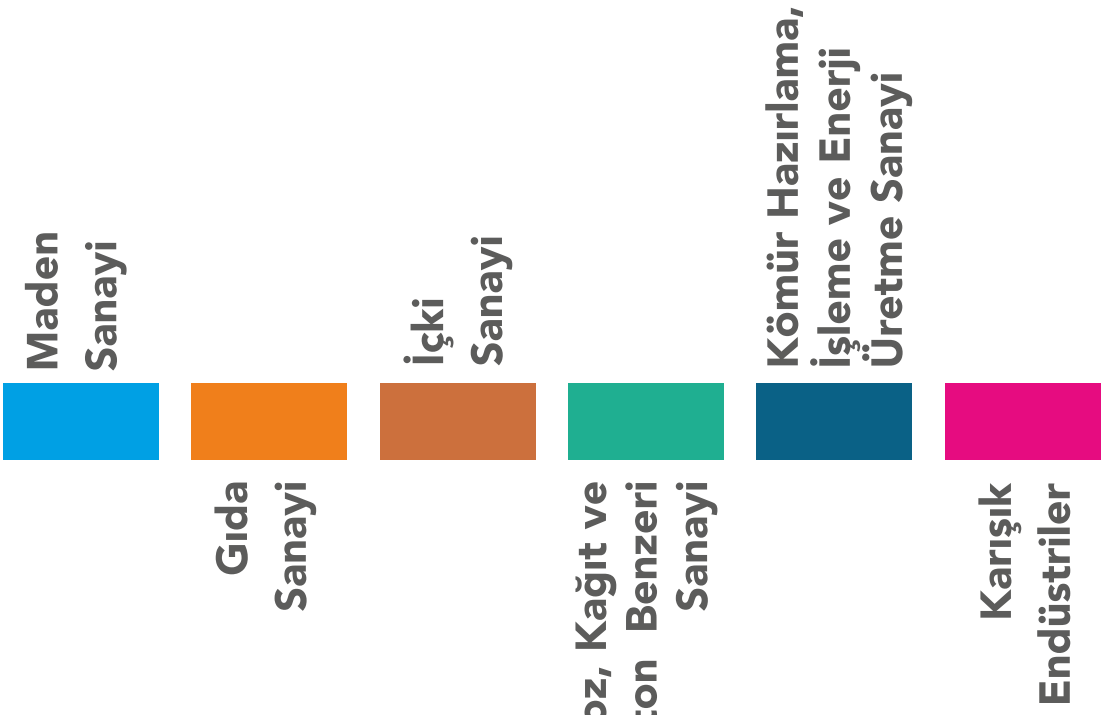
Şekil 5. *Sanayi tesisinde yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı*

Şekil 6'da ise sanayi tesislerinde su yeniden programı oluşturmada izlenebilecek adımlar verilmiştir. Buna göre, sanayi tesisi mevcut proses profilini değerlendirerek birim üretim başına su kullanım miktarını ulusal ve uluslar arası aynı faaliyeti gösteren tesisler ile kıyaslamalı ve su kullanım miktarlarını azaltabileceği/azaltması gerektiği bir noktada ise su kütle dengesini oluşturarak yeniden kullanım programına başlamalıdır. Tesiste öncelikle doğrudan kullanım, ardından uygun arıtma sonrası yeniden kullanım alanları, bu uygulamanın risklerini, faydalarını ve maliyetlerini analiz etmelidir. Risk, fayda, maliyet analizleri sonrası seçilen yeniden kullanım projesi uygulamaya konulmalı ve sonuçları izlenmelidir. Başarı ile sürdürülen yeniden kullanım programları da belli aralıklar ile (örneğin 3 yıl) gözden geçirilmelidir.



Şekil 6. *Sanayi tesislerinde su yeniden programı oluşturmada izlenebilecek adımlar*

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları



İçki Sanayi

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

İÇKİ SANAYİ

ALKOLSÜZ İÇKİLER, MEŞRUBAT ÜRETİMİ SEKTÖRÜ

Bölüm Yazarları:
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Çevre Yüksek Müh. Mustafa COP
Çevre Müh. Sefa TURGUT

ALKOLSÜZ İÇKİLER, MEŞRUBAT ÜRETİMİ SEKTÖRÜ

TÜRKİYE'DE ALKOLSÜZ İÇECEK SEKTÖRÜ

Alkolsüz içecek terimi yoruma açıktır ve dikkatli bir tanımlama yapılması gerekmektedir. En yaygın tanımlama alkol içermeyen içecekler şeklinde olup çay, kahve, süt bazlı içecekler bu grubun dışında tutulurken alkolsüz bira ve su bu tanımlamaya dâhil edilmektedir. Bazı ülkeler yasal düzenlemelerinde meyve suyunu ve suyu bu tanımlamanın dışında tutmakta bazıları ise alkolsüz içecek sınıfında değerlendirmektedir.

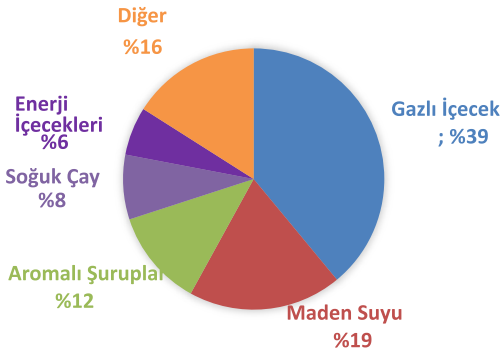
Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği Alkolsüz İçecekler Tebliğine göre alkolsüz içecekler; meyveli içecek, aromalı içecek, meyveli şurup, aromalı şurup, meyveli içecek tozu, aromalı içecek tozu, meyveli doğal mineralli içecek, aromalı doğal mineralli içecek, yapay soda, kola, tonik ve aromalı sudur.

Alkolsüz içeceklerin üretimi vücudun temel su ihtiyacını karşılamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. İnsanların temel su kaynağı sudur. Ancak 20. Yüzyıl öncesinde su ile bulaşan kolera, dizanteri gibi hastalık salgınlarının birçok Avrupa ülkesinde yaygın olması kaynatılmış ve bitkilerle aromalandırılmış içeceklerin yaygın hale gelmesine neden olmuştur.

Tarihsel olarak incelendiğinde alkolsüz içeceklerin meyve ile aromalandırılmış sulardan ve alkol içermeyen bitki ekstraktlarından köken aldığı görülmektedir. Yapay olarak basınç altında karbondioksitin suda çözündürülmesi ile yapay gazlı su üretimi ise 1760'lı yılların sonunda gerçekleştirilmiştir [1].

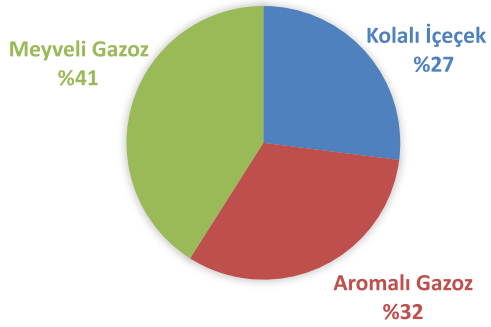
Türkiye'de meşrubat tarihi ile ilgili kesin bir bilgi olmamakla beraber 19.yüzyıl sonlarında bazı gayrimüslimlerin İstanbul'da meşrubat fabrikası (gazozhane) açarak işlettikleri bilinmektedir. Gazlı içecek sektörü son yıllarda Türkiye'de en hızlı gelişme gösteren sektörlerden birisi olmuştur. Türkiye'nin genç nüfusa sahip olması ve tüketicinin ucuz ürünleri talep etmesi, Türkiye'de bulunan firmaların gazlı içecek üretimi hakkında çalışmalar yapmaya başlamasına neden olmuştur [2]. Türkiye'de yıllık kişi başına 39 litre gazlı içecek tüketilmektedir. Bu oranı diğer dünya devletlerinin gazlı içecek tüketimi ile kıyaslarsak, Türkiye'nin gazlı içecek tüketiminin düşük olduğu ortaya çıkmaktadır [3].

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) kayıtlarına göre alkolsüz içecekler sektöründe faaliyet gösteren kayıtlı üretici sayısı 374'tür. Alkolsüz içecek sektörü alt kategorilerine göre değerlendirildiğinde ise sektör içerisinde %39 oranla en büyük paya sahip alt sektör gazlı içecek sektörüdür. Gazlı içeceklerden sonra %19 ile maden suyu sektörü ve %12 paya sahip aromalı şurup sektörü gelmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. *Alkolsüz içecek sektörü alt kategori dağılımı*

TOBB verilerine göre gazlı içecek sektöründe faaliyet gösteren kayıtlı üretici sayısı 146'dır. Gazlı içecek sektörü alt kategorilerine göre değerlendirildiğinde ise sektör içerisinde %41 oranla en büyük paya sahip alt sektör meyveli gazoz sektörüdür. Meyveli gazoz sektöründen sonra %32 ile aromalı gazoz sektörü ve %27 paya sahip kolalı içecekler sektörü gelmektedir (Şekil 2) [4].



Şekil 2. *Gazlı içecek sektörü alt kategori dağılımı*

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında SKKY Tablo 6.1: Sektör: İçki Sanayii (Alkolsüz İçkiler Meşrubat Üretimi ve Benzerleri)'e tabii olan ve üretim konusu gazlı içecek olan bir tesis incelenmiştir. Bu nedenle alkolsüz içecekler sektöründe ki diğer ürünlerin üretimine bu raporda fazla yer verilmeyecek olup, gazlı içeceklerin üretimi, su kullanımı ve atıksu oluşumu incelenmiştir. Alkolsüz içecek sektörü hakkında detaylı bilgiler, Avrupa Komisyonunun 2017 yılında hazırlattığı, "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Food, Drink and Milk Industries" isimli BREF dokümanından temin edilebilir.

GAZLI İÇECEKLERİN ÜRETİMİ

Gazlı içeceklerin içeriği, farklı tüketici zevk ve tercihlerine bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Bu içeceklerin başlıca bileşenleri; su karbon dioksit, kafein, tatlandırıcılar, asitler, aromatik maddeler ve esanslardır.

Gazlı içeceklerin ana bileşeni sudur. Klasik gazlı içecekler (Diyet olmayan) %80-90 su içerirken, diyet türleri %99'a kadar su içerebilmektedir. Gazlı içecek üretiminde kullanılacak su, saf ve tatsız olmalıdır. Bu nedenle, üretimde kullanılacak su kaynağının herhangi bir tadı varsa, bir ön arıtma gereklidir. Ön arıtma; koagülasyon-flokülasyon, filtrasyon, iyon değişimi ve adsorpsiyonu proseslerini içerebilir [5].

Gazlı içecek üretimi için kullanılacak olan suyun sertliği <50 mg/L $CaCO_3$ veya 50-100 mg/L $CaCO_3$ aralığında olmalıdır. Su içerisinde bulunan AKM karbonasyon ve köpük kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle su içerisinde bulunan AKM'nin giderilmesi için filtrasyon gerekebilir. Su içerisinde bulunan organik madde hümik asit, alg polisakkaritleri ve polipeptitleri, protozoaları ve mikrobik kirleticileri içerebilir. Organik türler, özellikle alg polisakkaritleri, gazlı içeceklerin düşük pH koşullarına tepki verdikleri ve içindeki diğer bileşenlerle reaksiyona girdikleri için, depolama esnasında göze hoş gelmeyen gözenekli kristaller halinde çökelti ortaya çıkarmaktadır. Yüksek alkalinite ise, gazlı içeceğin asitliğini tamponlayarak içeceğin tadını etkilediğinden giderilmesi gereken diğer bir parametredir. Gazlı içecek üretimi için kullanılacak suyun alkalinitesi <100 mg/l $CaCO_3$ olmalıdır. Alkalinite koagülasyon işlemi veya iyon değişimi ile azaltılabilir. Proses suyunda istenilen su kalitesi özellikleri Tablo 1'de verilmektedir [6].

Tablo 1. *Gazlı içecek sektöründe istenilen proses suyu kalite parametreleri [6]*

Parametre	Birim	Limit	Açıklama
Koku	-	Kokusuz	Tat ve kokuyu etkiler
Tat	-	Tatsız	Aromayı etkiler
Renk	Pt/Co	20	Berraklığı etkiler
Bulanıklık	NTU	1	Berraklığı etkiler
Alkalinite	mg/L $CaCO_3$	100	Ürün asiditesini etkiler
İletkenlik	µS/cm	500	İstenmeyen tat ve tuzluluk
Benzen	mg/L	5	Anemi ve Kansere neden olur
Serbest Klor	mg/L	0,05	İstenmeyen lezzet verir
Toplam Organik Karbon	mg/L	2	Leke ve kötü kokuya neden olur
pH	-	6,5 -8,5	Asit kontrolü sağlar
Fenol -Klorofenol	µg/L	0,5	Tadı etkiler
Toplam Çözünmüş Katı Madde	mg/L	500	İstenmeyen tat ve tuzluluğa neden olur
Klorür	mg/L	20	Tuzlu tat ve korozyon
Florür	mg/L	1,5	Diş lekeleri ve kemik hastalığı
Nitrat	mg/L	20	Organik kirlilik ve korozyon
Nitrit	mg/L	0,1	Organik kirlilik ve korozyon
Fosfat	mg/L	3	Mikrobiyal büyüme
Sülfat	mg/L	10	Korozyon
Sülfit	mg/L	1	Nörotiksin etki
Alüminyum	mg/L	0,2	Tortu ve bulanıklık
Arsenik	mg/L	0,05	Deri ve dolaşım sistemi rahatsızlıkları
Kadmiyum	µg/L	5	Böbrek rahatsızlıkları
Bakır	mg/L	3	Karaciğer, böbrek ve boğaz rahatsızlıkları
Demir	mg/L	0,2	Tat ve görüntüyü erkiler
Kurşun	mg/L	0,05	Böbrek rahatsızlıkları
Mangan	mg/L	0,03	Tortu ve istenmeyen tat
Civa	µg/L	1	Böbrek rahatsızlıkları
Çinko	mg/L	5	Keskin tat'a neden olur
Sodyum	mg/L	150	Klorür ile tuzluluğa neden olur

Gazlı içeceklerde bulunan gaz karbondioksittir. Karbondioksit hafif keskin kokusu olan renksiz bir gazdır. Karbondioksit suda eritildiğinde, ağız mukoza zarlarını teşvik ederek içeceği ferahlatıcı bir kaliteye kavuşturan asitli ve keskin bir tada sahiptir. Karbondioksit, gazlı içecek fabrikalarına sıvı halde gönderilir ve yüksek basınçlı metal silindirlerde depolanır. Karbonasyon, bir sıvının karbondioksit gazı ile emprenye edilmesi olarak tanımlanabilir. Tüketim sırasında karbondioksit gazının kaçması aroma arttırır, çünkü karbondioksit kabarcıkları aromatik bileşenleri gazlı içeceklerin yüzeyine kadar taşıyarak sürükler. Bunun yanında sudaki karbondioksit varlığı mikrobiyolojik büyümeyi engeller. Pek çok bakteri, karbonatlı suda, karbon olmayan suya kıyasla daha kısa sürede ölmektedir.

Kafein; kakao çekirdeği, çay yaprağı, kahve çekirdeği ve kola fıstığı gibi 60'dan fazla farklı bitkiden ekstrakte edilebilen doğal bir aromatik maddedir. Kafein, diğer tatları geliştiren ve küçük miktarlarda kullanılan acı bir tada sahip aromatik maddedir.

Klasik gazlı içecek ve diyet gazlı içecekler için farklı tatlandırıcılar kullanılır. Klasik gazlı içeceklerde glikoz ve früktoz gibi tatlandırıcılar kullanılır. Klasik gazlı içecekler, yaklaşık %7-14 oranında tatlandırıcı içerir. Çoğu klasik meşrubat, yüksek früktoz mısır şurubu, şeker veya ikisinin bir kombinasyonu ile tatlandırılır. Früktoz glikozdan %50 daha tatlıdır ve gazlı içeceklerde bulunan kalori miktarını azaltmak için kullanılır. Aspartam, sakarin, suraloz ve asesülfam gibi "diyet" veya "düşük kalorili" tatlandırıcıların diyet gazlı içeceklerde kullanımı onaylanmıştır. Birçok diyet gazlı içecek, ürüne düşük kalori sağlayan yoğun bir tatlandırıcı olan aspartam ile tatlandırılır.

Gazlı içeceklerde yaygın olarak kullanılan asitler; sitrik asit, fosforik asit ve malik asittir. Gazlı içeceklere asitlik verilmesinin nedeni ürünün tatlılığı dengelemek ve raf ömrünü uzatmaktır. Ayrıca ürünün, tazeliğini sağlar ve ferahlatıcı etkiye sahip olmasına katkıda bulunur. Sitrik asit doğal olarak narenciye, frenküzümü, çilek ve ahududu da bulunur. Malik asit elma, kiraz, erik ve şeftalilerde bulunur.

Yukarıda açıklanan temel malzemelere ilave olarak ürünün, rengini, tadını artırmak için çeşitli özelliklerde aromatik maddeler, renklendiriciler, antioksidanlar gibi katkı maddeleri de kullanılabilmektedir [5].

Bir gazlı içecek üretim işlemleri, üretilen ürüne ve kullanılacak ambalajın türüne bağlıdır. Genel olarak, konvansiyonel prosesler hala geçerlidir, ancak yıllar içinde yapılan teknolojik ilerlemeler nedeniyle, proseste otomasyon kullanımında artış, artan üretim verimi ve daha az işgücü gereksiniminde bazı değişiklikler olmuştur. Gazlı içecek üretimi aşağıda verilen prosesler ile gerçekleşmektedir [6].

- Esansın depolanması (Hammadde)
- Su arıtımı
- Şekerin eritilmesi (Granül şeker kullanılması halinde)
- Karıştırma
- Karbonizasyon/Pastörizasyon
- Şişe Üretimi (PET Şişeler için)
- Şişe yıkama/durulama (Geri dönüşümü yapılan cam şişeler)
- Cleaning In Place (CIP)
- Dolum ve Ambalajlama

Esansın Depolanması:

Genel olarak, esans tankerler aracılığıyla tedarik edilir ve üretim tesisinde depolama tanklarına pompalanır. Esansı 0 ^{0}C'nin altında tutmak için depolama alanı veya tanklar soğutulmalıdır.

Granül (toz) şeker genellikle torbalarda verilir ve daha sonra "basit şurup" veya sıvı şeker çözeltisi üretmek için arıtılmış suda çözülür. Bu basit şurup daha sonra karıştırma alanına pompalanır. Diğer hammaddeler arasında stabilizatörler, aroma verici maddeler, tatlandırıcılar (şekersiz formülasyonlar için) ve koruyucular gibi katkı maddeleri bulunur.

Şişe Üretimi:

PET şişeler bir tedarikçi tarafından sağlanabilir, ancak daha büyük üretim tesislerinde yerinde üretilir. Şişe üretimi, renk ve şişe boyun kısmı için ön kalıpların kullanılmasını içerir. Şişenin son halini vermek için, ön kalıp bir fırında 90 ^{0}C'ye ısıtılarak şişe kalıbına aktarılır, ilk olarak şişe alçak basınçla gerilir ve üflenir, daha sonra doğru şekli oluşturmak için yüksek basınçlı hava verilir.

Cleaning In Place (CIP):

İyi operasyonel yönetim ve sonuçlar için tüm operasyonel ekipmanların etkili bir şekilde temizlenmesi esastır. Bu genellikle gerekli temizleme solüsyonlarını içeren ve temizleme adımlarını kontrol eden bir temizleme ünitesi tarafından gerçekleştirilir.

Yerinde temizlik (CIP) programı genellikle işlem dört aşamadan oluşur; Sistemin durulanması, %1,5'lik kostik ile 80 ^{o}C'de sistemin 15 dakika yıkanması, sıcak su ile ilk durulama ve soğuk su ile son durulama (Şekil 3).

Şişe Yıkama/Durulama:

Yeniden kullanım için geri dönüştürülebilir cam şişelerin kullanılması, şişelerin dolumdan önce temizlenmelerini gerektirir. Bu su yoğun bir süreçtir ve cam şişelerin yeniden kullanılması için toplanması verimli bir geri dönüşüm programı gerektirir. Gazlı içeceklerin ambalajlanması için plastik şişelerin piyasaya sürülmesiyle, şişeleme tesislerinin birçoğu artık geri dönüştürülebilir şişeler kullanmamaktadır ve bu nedenle bir şişe yıkama/durulama hattına ihtiyaç duymamaktadır.

Şişe yıkamanın prosesinde ana adımlar arasında bir ön yıkama, kostik ile yıkama ve ilk/son durulama yer alır. Genel olarak, durulama suyu ve kostik yıkama suyu proses içerisinde geri dönüştürülür. Bazı üretim tesislerinde, üretilen PET şişeler ve teneke kutular da dolumdan önce arıtılmış proses suyuyla yıkanmaktadır.

Şekil 3. *CIP ünitesi akım şeması*

Su Arıtımı:

Su, gazlı içecek üretim prosesinde, şeker eritme, esans seyreltme ve son üründe karıştırmaya kadar kullanılır. Gerekli su arıtma seviyesi, üretim tesisinin su kaynağının kalitesine bağlıdır. Arıtma prosesleri arasında genellikle askıda katı maddelerin giderilmesi için kum filtrasyonu, renk ve organik maddelerin giderilmesi için aktif karbon filtrasyonu, bakterilerin giderilmesi için UV veya ozonlama, partikül küçük boyutta ki taneciklerin giderilmesi için mikro filtrasyon ve çözünmüş katıları azaltmak için ters ozmoz (RO) membran filtrasyonu vardır. Su ayrıca iyon değiştirme teknikleri ile yumuşatmayı da gerektirebilir.

Karıştırma (Harmanlama):

Harmanlama, sıvıların birleştirilmesi işlemidir ve bu işlem, sürekli veya kesikli (seri) şekilde gerçekleşebilir. Kesikli çalışan tesislerde, sıvılar (örneğin esans ve su) bir tankta ayarlanmış hacimlerde karıştırılır ve daha sonra başka bir parti karıştırılmadan önce bir sonraki işlem adımına aktarılır. Kalitenin sağlanması için her partinin sonunda örnekler alınır. Sürekli veya kesikli şeklide harmanlama, sıvıların sürekli olarak karışmasını içerir. Ürün sürekli olarak örneklenir ve doğru kalitenin elde edilmesini sağlamak için esansın ve suyun akış hızı ayarlanır.

Gazlı içecekler söz konusu olduğunda, tatlandırıcılar, renklendiriciler, asitler, koruyucular ve diğer katkı maddeleri, karbonizasyon aşamasından önce bu aşamada basit şurup (su şeker karışımı) içerisine arıtılmış su ile karıştırılarak, nihai şurup karışımını oluşturmak üzere ilave edilir. Bu aşamada önemli bir adım su içerisinde ki oksijenin giderilmesidir (deaeration). Oksijen, karbonizasyon süreci üzerinde olumsuz etki yapabilir ve köpürmeye neden olabilir.

Karbonizasyon/Pastörizasyon:

Geleneksel gazlı içecek üretiminde, harmanlanmış karışım daha sonra karbondioksitin eklendiği dolum alanına yönlendirilir. Karbondioksitin daha iyi absorbe edilmesi için, gazlı içecekler amonyak ve glikol bazlı soğutma sistemleri kullanılan soğutma kuleleriyle soğutulur. Karbondioksit sıvı halde depolanır ve gerektiğinde karbonizasyon ünitelerine aktarılır. Genel olarak, gazlı içecekler, ürün türüne bağlı olarak 15 ila 75 psi (100 ila 500 kPa) arasında karbondioksit içerirler. Son ürün daha sonra şişelere, kutulara veya plastik polietilen tereftalat (PET) kutularına paketlenir.

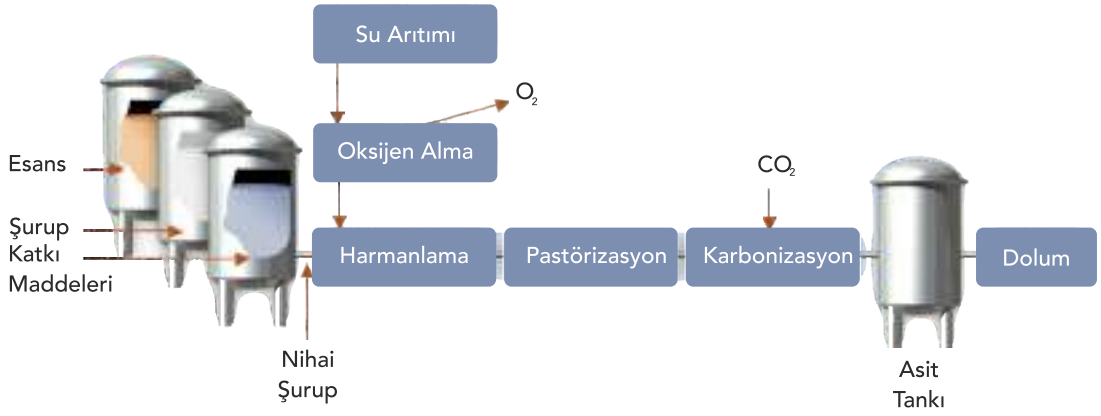
Gazlı içecekler için, harmanlanmış karışım karbonizasyon prosesinden önce pastörize edilir. Tünel ve flash olmak üzere iki ana tip pastörizasyon vardır. Tünel pastörizasyonunda, su, boru biçiminde veya plakalı ısı değiştiricilerinde 80 ila 95 ^{0}C'ye ısıtılarak işlem gerçekleşirken, flaş pastörizasyonunda, harmanlanmış sıvılar steril kaplara dökülür ve bu kaplar ısıtılarak (buhar ile) pastörizasyon gerçekleşir. Bu yöntem geleneksel pastörizasyondan daha yüksek sıcaklık kullanır ve daha az zaman gerektirir.

Dolum ve Ambalajlama:

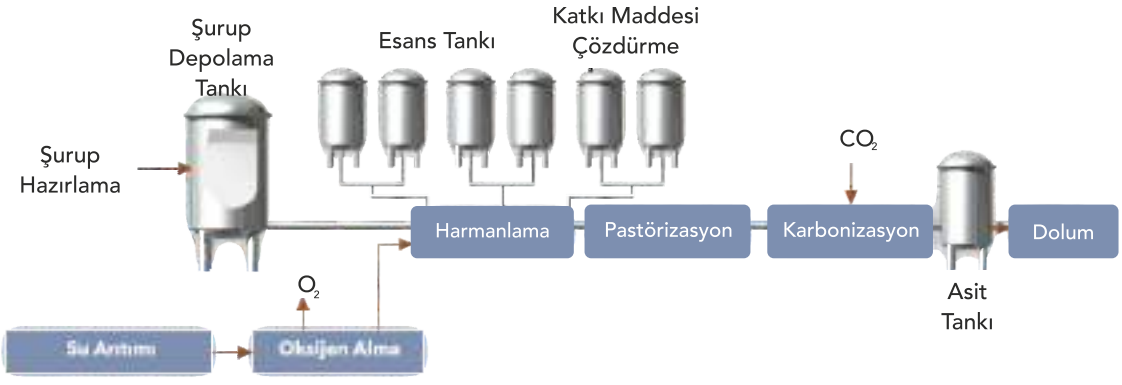
Doldurma işlemi iki yöntem ile gerçekleşmektedir. Bunlar; aseptik (soğuk) ve sıcak doldurma. Gazlı içeceklerin çoğunluğu, azalan proses gereklilikleri nedeniyle aseptik dolum yöntemiyle doldurulur. Aseptik dolumda, şişeler veya kutular önce sterilize edilir ve daha sonra gazlı içecek ile doldurulur.

Konteyner doldurulduktan sonra, kullanılan ambalajın tipine (örneğin plastik şişelerin kapaklarının kapatılması) bağlı olarak kapatılır, etiketlenir, kutulanır, plastik sarılır ve dağıtım için depolanır [7].

Şekil 4'te kesikli şeklide gazlı içecek üretim akım şeması verilirken Şekil 5'te ise sürekli şekilde çalışan gazlı içecek üretim akım şeması verilmektedir.



Şekil 4. *Kesikli şekilde çalışan gazlı içecek üretim akım şeması*



Şekil 5. *Sürekli şekilde çalışan gazlı içecek üretim akım şeması*

GAZLI İÇECEK SEKTÖRÜNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU

Gazlı içecek sektöründe su kullanımı ve atıksu oluşumu; proses dışı su kullanımı ve atıksu oluşumu, proseste su kullanımı ve atıksu oluşumu olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir. Şekil 6'da gazlı içecek üretim sektöründe su kullanımı ve atıksu oluşumu verilmektedir

Şekil 6. *Gazlı içecek sektörü su kullanımı ve atıksu oluşumu*

Proseste Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu

Gazlı içecek sektöründe proseste su kullanım yerleri; su hazırlama ünitesi, sanitasyon işlemi, CIP işlemi, yardımcı işletmeler, dolum öncesi şişelerin temizlenmesi, dolum sonrası dezenfeksiyon ve proses suyu olarak sıralanabilir.

Proses suyu, tesis içerisinde açılan kuyulardan veya şebekeden temin edilmektedir. Tablo 2'de proses için su kullanımı özetlenmektedir.

Tablo 2. *Proseste su kullanımı*

Proses	Açıklama
Proses suyu	Satışa sunulan ürün içerisinde
Sanitasyon	Tesiste yapılan sanitasyon işlemi
CIP	Ekipmanların yerinde temizlenmesi
Yardımcı İşletmeler	Kazan, Kule ve Kapalı devreler
Şişe yıkama, çalkalama	Dolum öncesi geri dönüşümlü şişelerin temizlenmesi
Pastörizasyon	Dezenfeksiyon
Su hazırlama ünitesi	Proses suyu hazırlama ve geri yıkama işlemi

Gazlı içecek sektöründe su hazırlama tesislerinde su kullanımı gerçekleşmektedir. Su hazırlama tesislerinde kullanılan suyun amacı proses suyu hazırlamak ve su hazırlama tesislerinde bulunan multimedya filtrelerin (kum filtresi, aktif karbon vb.) tıkanmasını önlemek için geri yıkanmasıdır. Ürün içeriğinde kullanılan su atıksuya dönüşmezken, multimedya filtrelerin geri yıkama suları ve membran proseslerin konsantreleri atıksu oluşturmaktadır.

Sanitasyon işlemi tesis içerisinde, özellikle üretim prosesinin gerçekleştirildiği zemin, makine ve ekipmanların temizliğini kapsamaktadır. Sanitasyon işlemi sıcak su ve/veya buhar ile yıkama ve ardından soğuk su ile durulama ile gerçekleştirilebildiği gibi dezenfektan kimyasalları ile su karışımının kullanılması ile de gerçekleşebilir. Sanitasyon işlemi sırasında kullanılan su atıksuya dönüşmektedir.

CIP, şurup hazırlama odasında bulunan tankların ve boru hatlarının yerinde temizlenmesi için kurulan sistemlerdir (özellikle kesikli işletilen tesislerde). CIP işlemi, tankların ve boru hatlarının sıcak su kostik karışımı ile yıkanmasından sonra tankların ve boru hatlarının sıcak su ile ilk durulaması ve soğuk su ile de son durulamasının yapılamasını kapsamaktadır. CIP işleminde kullanılan su atıksuya dönüşmektedir.

Yardımcı işletmeler, tesisin ihtiyacı olan ısıtma ve soğutma işlemlerini gerçekleştirecek olan (kazan, kule, kapalı devre sistemler vb.) ekipmanların bulunduğu ünitedir. Yardımcı işletmelerde su; kazan, kule (su soğutmalı) ve kapalı devre sistemlerin besi suyu ve tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır. Yardımcı işletmelerde atıksu kazan ve kule blöf suları ve kapalı devre sistemlerin bakım onarımı sırasında sistemden boşaltılan su olarak oluşmaktadır.

Dolum öncesi ürünün doldurulacağı kapların (özellikle geri dönüşümü sağlanan cam şişelerin) içinin ve dışının temizliği için çalkalama ve yıkama şeklinde su kullanımı gerçekleşmektedir. Yıkama ve çalkalama için kullanılan su atıksuya dönüşmektedir.

Dolum sonrası dezenfeksiyon için pastörizasyon işlemi yapılmaktadır. Pastörizasyon işlemi ürünün sıcaklığının belirli bir dereceye yükseltilip soğutulmasıdır. Pastörizasyon işlemi su kullanılarak veya su kullanılmadan gerçekleştirilebilir. Pastörizasyon işleminin su kullanılarak gerçekleştirilmesi durumunda pastörizasyon suları atıksuya dönüşmektedir.

Tablo 3'te proseste atıksu oluşumu özetlenmektedir.

Tablo 3. *Proseste atıksu oluşumu*

Proses	Açıklama
Sanitasyon	Sanitasyon sonrası oluşan atıksular
CIP	CIP işlemi sonrası oluşan atıksular
Yardımcı işletmeler	Blöf suları
Şişe yıkama, çalkalama	Yıkama, çalkalama sularının oluşturulduğu atıksular
Pastörizasyon	Pastörizasyon işlemi sonucu oluşan atıksular
Su hazırlama ünitesi	Multimedya filtrelerin geri yıkama suları ve membran proseslerin konsantreleri

Proses Dışı Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu

Proses dışı su kullanımı, gazlı içecek sektöründe çalışan personelin sosyal (duş, lavabo ve tuvalet vb.) ihtiyaçları ve mutfak için su kullanımı olarak gerçekleşmektedir. Tesislerde çalışan personelin içme suyu ihtiyacı genellikle şebekeden veya ambalajlı sulardan temin edilmektedir. Çalışan personelin kullanma suyu, mutfak için su ihtiyacı, temizlik için su ihtiyacı, tesis içerisinde açılan kuyulardan veya şebekeden temin edilmektedir.

Proses dışı atıksu oluşumu, tesislerde çalışan personelin sosyal (duş, lavabo ve tuvalet vb.) ihtiyaçlarından, mutfaktan ve temizlik işlerinden kaynaklanmaktadır.

GAZLI İÇECEK SEKTÖRÜNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI

Gazlı içecek sektöründe atıksu yönetimi, proses atıksuları ve evsel nitelikli atıksular olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

Proses Atıksularının Yönetimi

Gazlı içecek sektöründe proses atıksuları yüksek organik kirliliğe sahip olduğundan proses atıksuları doğrudan deşarj edilememekte, tesis içerisinde bulunan atıksu arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmektedir. Gazlı içecek endüstrisinde oluşan proses atıksularının karakterizasyonu Tablo 4'te verilmektedir [5].

Tablo 4. *Gazlı içecek sektörü atıksu karakterizasyonu*

Parametre	Birim	Aralık
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1200 - 8000
Biyolojik Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$)	mg/L	600 - 4500
Alkalinite	mg/L $CaC0_3$	1000 - 3500
Askıda Katı Madde	mg/L	0 - 60
Uçucu Askıda Katı Madde	mg/L	0 - 50
Amonyak Azotu (NH_3 - N)	mg/L	150 - 300
Fosfat (PO_4- P)	mg/L	20 - 40
Sülfat (SO_4)	mg/L	7 - 20
Potasyum (K)	mg/L	20 - 70
Demir (Fe)	mg/L	10 - 20
Sodyum (Na)	mg/L	1500 - 2500
Nikel (Ni)	mg/L	1.2 - 2.5
Molibden (Mo)	mg/L	3 - 8
Çinko (Zn)	mg/L	1 - 5
Kobalt (Co)	mg/L	3 - 8

Evsel Atıksu Yönetimi

Gazlı içecek üretim sektöründe çalışan personelin sosyal (duş, lavabo ve tuvalet vb.) ihtiyaçlarından, mutfaktan ve temizlik işlerinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular, proses atıksuları ile birlikte tesis içerisinde bulunan atıksu arıtma tesisinde arıtılarak deşarj edilmektedir.

Gazlı içecek sektöründe su kullanım miktarı ve atıksu oluşumu; tesis içerisinde geri kazanım faaliyetlerinin durumuna ve geri dönüşümü sağlanan cam şişelerinin kullanım durumuna ve tercih edilen prosese (sürekli veya kesikli) göre değişiklik göstermektedir.

2015 yılında Güney Afrika'da gazlı içecek üretimi konusunda faaliyet gösteren 7 tesiste gerçekleştirilen anket çalışması sonuçlarına göre 1 lt ürün üretimi için kullanılan ortalama su miktarı 1,6 lt'dir [7].

Waste and Resources Action Programme (WRAP)'ın 2007 yılında İngiltere için yaptığı çalışmada 1 lt gazlı içecek üretimi için kullanılan ortalama su miktarının 1,53 lt olarak gerçekleştiği belirtilmiştir [8].

Küresel ölçekte faaliyet gösteren Beverage Industry Environmental Roundtable (BIER)'ın 2015 yılında gazlı içecek üretiminde faaliyet gösteren 756 tesiste yaptığı anket sonuçlarına göre 1 lt gazlı içecek üretimi için kullanılan ortalama su miktarının 2,64 lt olduğu belirtilmiştir [9].

Tablo 5'te gazlı içecek sektöründe su kullanımı hakkında yapılan çalışmalar özetlenmektedir [7].

Tablo 5. *Gazlı içecek sektörü su kullanım miktarı*

Su Kullanımı (Üretilen 1 Lt ürün için) (Lt)			Anket Kapsamı	Kaynak
Minimum	Maksimum	Ortalama		
1.47	3.77	2.64	756 Tesis	BIER, 2015
1.36	-	1.53	ÜyeVerileri	WRAP, 2007
1.2	2.8	1.64	7 Tesis	WRC, 2015

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında ziyaret edilen tesisten alınan verilere göre; proses profilinin 1.47 lt.su/lt.ürün olduğu belirtilmiştir. İncelenen tesisin 2016 yılı su kullanım miktarı 469.787 m^3 iken oluşan atıksu miktarı 77.391 m^3 olarak gerçekleşmiştir. İncelenen tesis için 2016 yılında kullanılan toplam su miktarının atıksuya dönüşüm oranı %16 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan su miktarının %84 'ü ise ürün içeriğinde kullanılmış olup bu oran verilen literatür değerleri (%80-90) ile uyum göstermektedir.

İncelenen gazlı içecek üretim tesisinin atıksuları 350 m^3/gün kapasiteli ardışık kesikli reaktör (AKR) sistemi ile çalışan biyolojik atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır.

Atıksular, kaba ızgaradan geçirildikten sonra dengeleme havuzuna alınmakta ve bu havuzdan nütrient havuzuna iletilmektedir. Atıksular nütrient havuzundan ardışık kesikli reaktörlere iletilerek deşarj edilmektedir. Şekil 7'de incelenen gazlı içecek tesisinin atıksu arıtma tesisi akım şeması verilmektedir.

Şekil 7. *İncelenen gazlı içecek tesisinin atıksu arıtma tesisi akım şeması*

İncelenen tesisten alınan verilere göre, 2016 yılında atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış atıksu karakterizasyonu Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. *İncelenen tesisin atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış analiz sonuçları (2016 yılı ortalaması)*

PARAMETRE	BİRİM	Atıksu Arıtma Tesisi Girişi	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkışı
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	3057	58
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L	1144	17
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	2435	24
Toplam Azot (TN)	mg/L	4,7	1,4
Toplam Fosfor (TP)	mg/L	8,7	0,01

Tablo 6 incelendiğinde, tesiste atıksuların yüksek organik madde ve AKM içerdiği, %98 KOİ, %99 AKM, %70 azot ve %99 fosfor giderme verimi sağlandığı hesaplanmıştır. Tesis atıksuyunda C/N/P dengesi uygun olmadığından nütrient havuzunda azotlu bileşikler eklenerek biyolojik arıtmaya uygun hale getirilmektedir.

İncelenen tesis özelinde arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı 2 farklı şekilde aktif olarak yapılmaktadır.

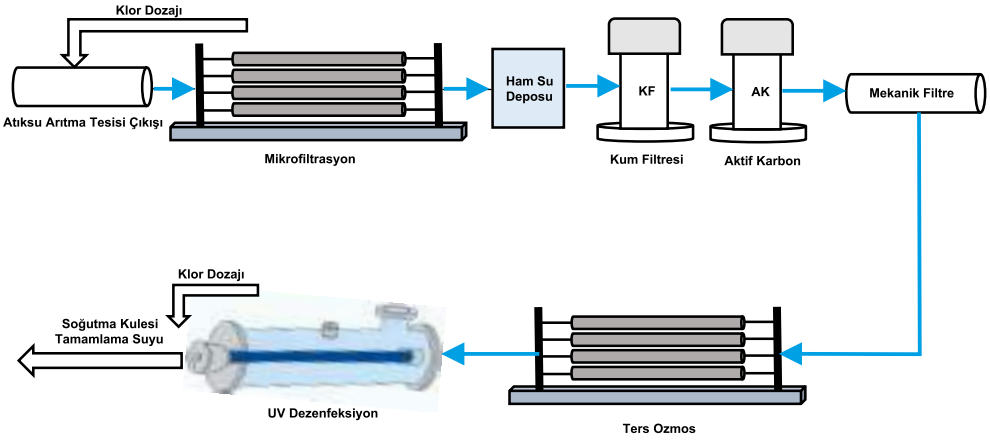
Arıtılmış atıksuların geri kazanım ve yeniden kullanım uygulamalarının ilki atıksu arıtma tesisi çıkış sularını kapsamaktadır.

Atıksu arıtma tesisi çıkış suları klor dozajından sonra; kum filtresi, aktif karbon, membran prosesler, mekanik filtreler ve UV'den oluşan geri kazanım tesisinde arıtılarak soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır. Tesis kapasitesi 70 m^3/gün kapasiteli olup 30-40 m^3/gün atıksu geri kazanılarak soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır.

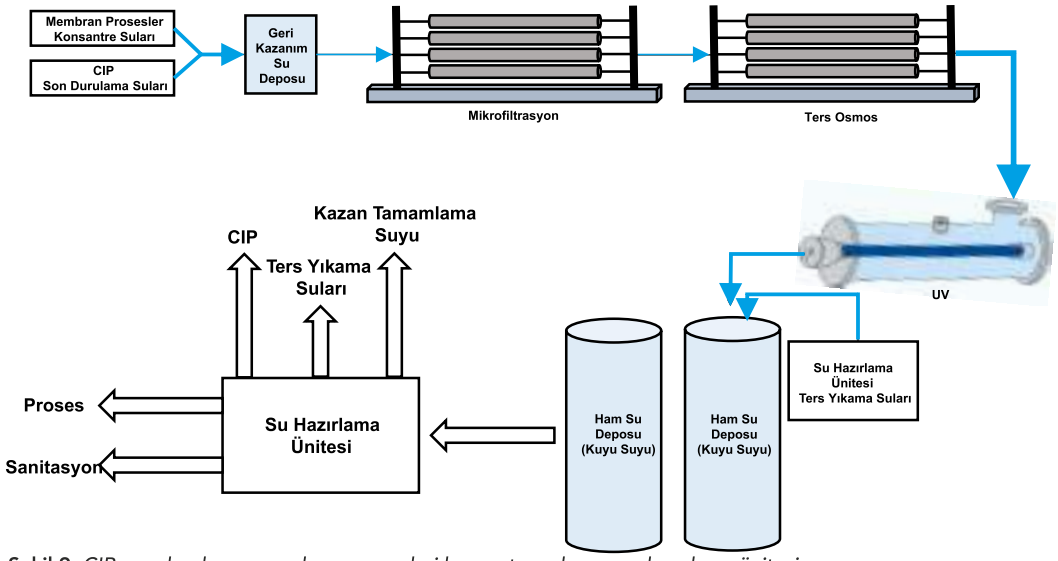
Diğer uygulamada ise tesiste oluşan membran konsantre suları, CIP son durulama suları ve şişe yıkama/çalkalama suları geri kazanım su tankında biriktirilerek geri kazanılmaktadır. Tankta biriktirilen sular Mikrofiltrasyon, ters osmos ve UV'den geçirilerek ham su depolama tankına verilmektedir. Ham su tankında kuyu suyu ile karıştırılan geri kazanılmış sular, su hazırlama ünitesinde kum filtresi, UV, polisher filtre ve ters osmos'dan geçirilerek kazan tamamlama suyu olarak yeniden kullanılmaktadır. Tesis su hazırlama ünitesinde bulunan multimedya filtrelerin geri yıkama suları da ham su tankına verilerek geri kazanılıp yeniden kullanılmaktadır.

Şekil 8'de arıtılmış atıksuların geri kazanım tesisinin akım şeması verilirken, Şekil 9'da ise ters yıkama, CIP son durulama, şişe yıkama/çalkalama ve membran konsantrelerinin geri kazanım tesisinin akım şeması verilmektedir.

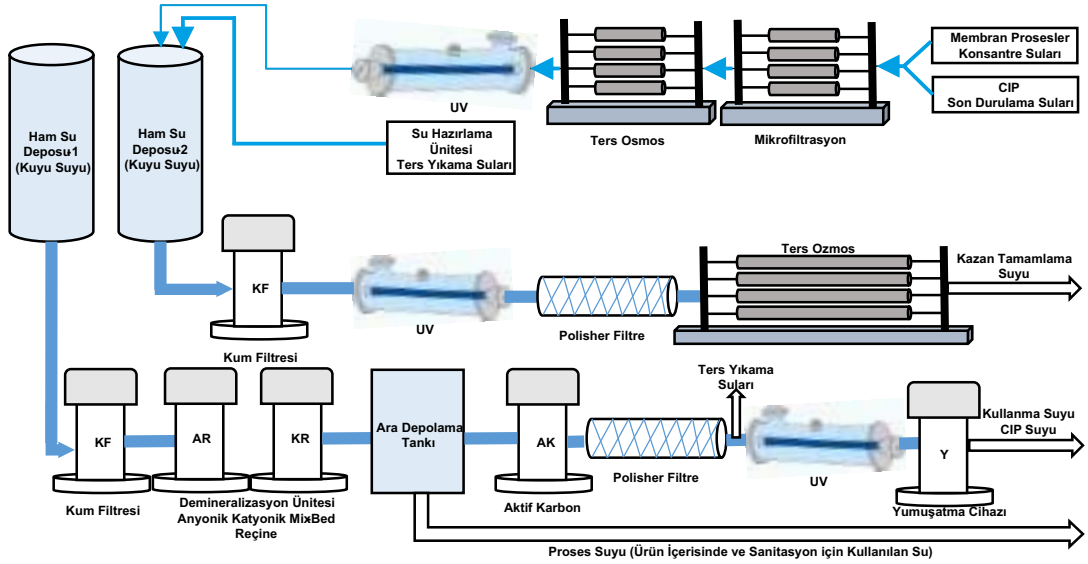
Şekil 10'da tesisin su hazırlama ünitesi akım şeması verilmektedir.



Şekil 8. *Arıtılmış atıksuların geri kazanım tesisi akım şeması*



Şekil 9. *CIP son durulama, membran prosesleri konsantre suları ve su hazırlama ünitesi ters yıkama suları geri kazanım tesisi akım şeması*



Şekil 10. *Su hazırlama ünitesi akım şeması*

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında, incelenen firmada Haziran 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında akredite bir laboratuvar tarafından atıksu analizleri yapılmıştır.

Gazlı içecek üretimi sektörü için; atıksu arıtma tesisi çıkışından ve geri kazanım tesisinin belirlenen noktalarından SKKY'da tanımlı sektör tablosu Tablo 6.1'e (İçki Sanayii Alkolsüz İçkiler Meşrubat Üretimi ve Benzerleri) ilave olarak proje ekibinin tesis incelemelerinde ve tesis yetkilileri ile gerçekleştirdikleri toplantılarda tesis özelinde yeniden kullanım için önemli olabilecek parametrelerde analiz edilmiştir.

Proseste oluşan atıksuyun özellikleri ve geri kazanılan suyun özellikleri Tablo 7'de verilmektedir.

İncelenen tesisin atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri SKKY Tablo 6.1 de verilen deşarj standartları açısından değerlendirildiğinde, 2 saatlik kompozit numune KOİ deşarj standardı olan 160 mg/L değerinin sağlandığı görülmektedir. AAT çıkışında pH değeri ise 6-9 aralığındadır ve SKKY değerlerini sağlamaktadır.

Şekil 8'de verilen arıtma prosesleri sonrasında tesiste arıtılmış atıksular geri kazanılarak soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır. Geri kazanım tesisi çıkış suyu kalitesi, soğutma kulesi işletmeciliği için önemli olan iletkenlik, sertlik, alkalinite, silika ve toplam çözünmüş madde parametreleri açısından değerlendirildiğinde; 456 µs/cm iletkenlik, 100 mg/L sertlik, 124 mg/L alkalinite, 18 mg/L silika, 259 mg/L toplam çözünmüş madde ve <1,2 NTU bulanıklık değerleri ile soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanılabilir su olarak değerlendirilebilir.

Tablo 7. *Gazlı içecek üretim tesisi geri kazanım tesisleri analiz sonuçları**

		Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı		Su Hazırlama Ünitesi ve Proses Sularının Yeniden Kullanımı	
PARAMETRE	BİRİM	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkışı	Geri Kazanım Çıkış	Ters Osmos (RO) Giriş	Ters Osmos (RO) Çıkış
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	43	<20	24	<20
pH	-	8,09	7,4	6,59	6,46
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	mg/L	<3	<3	10	<3
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L		<4		<4
İletkenlik	µs/cm		456		353
Ca Sertliği	mg/L		62		86
Mg Sertliği	mg/L		41		57
Silika	mg/L		18		17
Alkalinite	mg/L		124		45
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L		259		165
Bulanıklık	NTU		<1,2		<1,2

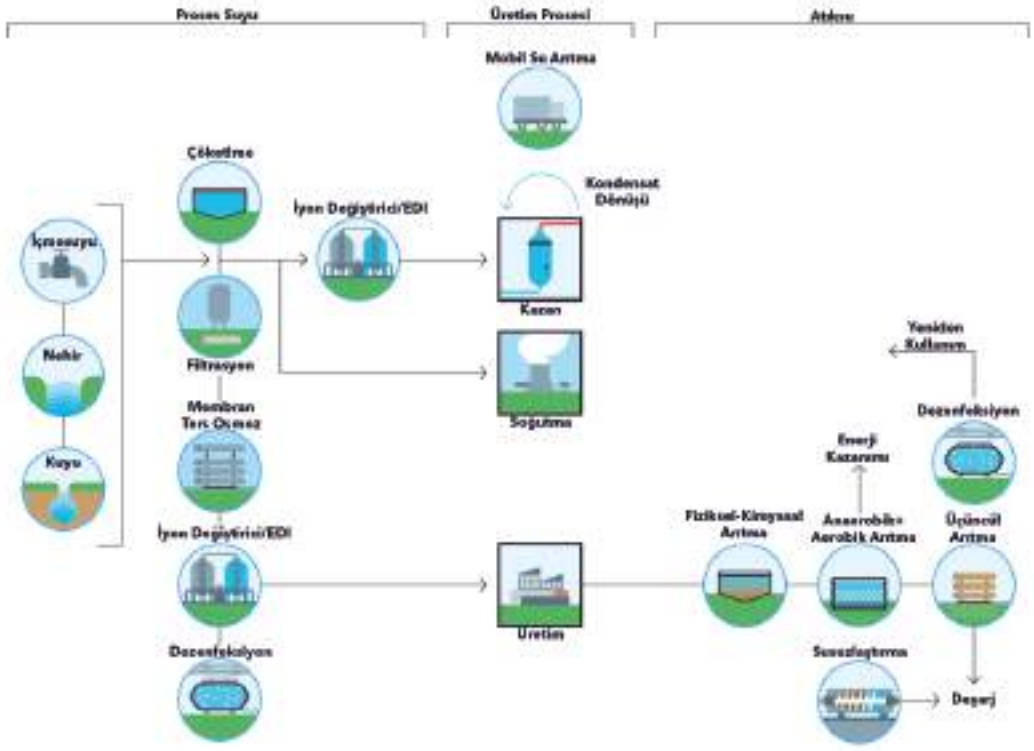
*Haziran 2017 - Ekim 2017 tarihleri arasında 1 farklı tesisten farklı tarihlerde 3 tekrar olarak alınan atıksu numunelerinin ortalama değerleridir

Şekil 9'da verildiği gibi, tesiste su hazırlama ünitesi membran konsantreleri, CIP son durulama suları ve şişe yıkama/çalkalama suları membran proseslerden sonra UV'den geçirilerek kuyu su ile paçal yapılarak su hazırlama ünitesine verilmektedir. Su hazırlama ünitesinde geri kazanımı yapılan sular kazan tamamlama suyu olarak yeniden kullanılmaktadır.

Geri kazanım tesisi (membran prosesler ve UV) çıkış suyu kalitesinin kazan tamamlama suyu olarak yeniden kullanımı açısından değerlendirildiğinde; 353 µs/cm iletkenlik, 143 mg/L sertlik, ve 165 mg/L toplam çözünmüş madde değeri kazan işletmeciliği açısından yüksek değerler olup ilave arıtma proseslerinden geçirilmesi gerekmektedir. Çıkış suyunun içerisinde bulunan sertlik değerini düşürmek için ise iyon değiştirici reçineler (yumuşatma cihazı), kimyasal yöntemler (kireç-soda vb.) veya polisher filtreler kullanılabilir. Çıkış suyundaki yüksek alkalinite ve iletkenlik değerini düşürmek için membran prosesler kullanılabilir. Kazan işletmeciliğinde önemli olan parametreler ve limit değerleri Bölüm 1'de verilmiştir.

Geri kazanım tesisi çıkış suyu kalitesinin proses suyu (ürün içerisinde ve sanitasyon için) olarak yeniden kullanımı açısından değerlendirildiğinde, Tablo 1'de verilen su kalite parametreleri limitlerine ilave olarak 17.02.2005 tarihli ve 25730 sayılı "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" ekinde verilen kalite kriterleri sağlanmalıdır. Tablo 7 incelendiğinde geri kazanım tesisi çıkış sularının Tablo 1 ve ilgili yönetmelikte kalite kriterlerini sağlayamadığı görülmektedir. Dolayısı ile geri kazanım tesisi çıkış sularının doğrudan proses suyu olarak kullanılması mümkün değildir. Bu yüzden bu sular kazan tamamlama suyu olarak kullanılabilmektedir.

Bunun yanında proseste (ürün içerisinde ve sanitasyon için) kullanılacak sular Şekil 10'da verildiği gibi kuyulardan alınmakta ve kuyulardan alınan sular kum filtresi ve anyonik katyonik iyon değiştirici reçineler'den geçirilerek kullanılmaktadır.



Şekil 11. *Gazlı içecek sektöründe su kaynakları, su kullanımı, atıksu oluşumu ve yeniden kullanım diyagramı*

Gazlı içecek sektöründe kullanılabilecek potansiyel su kaynakları, sektörde su kullanımı, atıksu oluşumu ve geri kazanım faaliyetleri Şekil 11'de özetlenmiştir. Proses için kullanılacak su kaynakları; kuyu suyu, yerüstü suları (nehir, göl vb.), ve şebeke suları olarak sıralanabilir.

Su kaynağından alınan su proseste (ürün içerisinde, sanitasyon, CIP, şişe çalkalama ve pastörizasyon) ve yardımcı işletmelerde (kazan ve soğutma kulesi) kullanılmadan önce su kaynağı kalitesine ve kullanım alanına göre çökeltme, filtrasyon, membran prosesler, demineralizasyon (mix bed reçineler veya EDI) veya dezenfeksiyon proseslerden geçirilerek proseste kullanıma hazır hale getirilmektedir. Su kaynağından alınan su çökeltme işlemine tabi tutularak soğutma kulelerinde besi ve tamamlama suyu olarak kullanılırken, çökeltme ile birlikte demineralizasyon veya membran proseslerinden (kazan işletme basıncına göre istenilen su kalitesi değişeceğinden) geçirilerek kazanlarda besi suyu ve tamamlama suyu olarak kullanılabilmektedir. Yardımcı işletmelerde kullanılan su kalitesine göre daha kaliteli su ihtiyacı olan üretim prosesinde ise su kaynağından alınan su kaynağına ve kalitesine bağlı olarak çökeltme, filtrasyon, membran prosesler, demineralizasyon ve dezenfeksiyon proseslerinden geçirilerek kullanılabilmektedir.

Proseste, üretilen ürün içerisinde kullanılan sudan herhangi bir atıksu oluşmazken, sanitasyon, CIP ve şişe çalkalama sularından atıksu oluşmaktadır. Yardımcı işletmelerde atıksu oluşumu ise kazan ve soğutma kuleleri blöf suları olarak gerçekleşmektedir. Su hazırlama ünitelerinde oluşan atıksular ise geri yıkama suları ve membran konsantreleri sularından kaynaklanmaktadır.

Şekil 11'de gazlı içecek sektöründe proses sonrası açığa çıkan atıksuların arıtılmasında fiziksel, kimyasal, biyolojik (anaerobik ve aerobik), üçüncül arıtma proseslerinden sonra alıcı ortama deşarj edilebileceği gibi üçüncül arıtım prosesi sonrası uygulanacak dezenfeksiyon prosesi ile arıtılmış atıksuların yeniden kullanılabildiği görülmektedir.

DEĞERLENDİRME

Gazlı içecek üretim sektöründe oluşan atıksuların karakterizasyonu ve miktarı seçilen işletme modeline (kesikli, sürekli), geri dönüşüm cam şişelerinin kullanılıp kullanılmamasına ve üretilen ürüne bağlı olarak değişmekle birlikte yüksek organik kirliliğe sahip atıksular olarak değerlendirilebilir.

Gazlı içecek üretim sektöründe oluşan atıksular genellikle biyolojik atıksu arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmektedir. Sektörün su ihtiyacı, oluşturduğu atıksu karakterizasyonu, oluşturduğu atıksu miktarı ve yeniden kullanım alanları çeşitliliği düşünüldüğünde, gazlı içecek üretim sektörü atıksularının geri kazanılarak yeniden kullanılması değerlendirilmelidir.

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında ziyaret edilen gazlı içecek üretim tesisinde yeniden kullanım uygulamalarının iki farklı şekilde yapıldığı gözlemlenmiştir. İlk uygulamada tesisteki arıtılmış atıksuların geri kazanımı yapılıp soğutma kulesi tamamlama suyu olarak yeniden kullanımı sağlanırken, ikinci uygulamada CIP son durulama suları, sanitasyon suları, membran prosesler konsantreleri geri kazanılarak, su hazırlama ünitesi ters yıkama suları ise doğrudan kuyu suyu ile paçallanarak farklı amaçlar için yeniden kullanılmaktadır.

Gazlı içecek üretim sektörü proses profili incelendiğinde 1 lt gazlı içecek üretimi için kullanılan su miktarının dünya ortalaması 2.64 lt (BIER, 2015)'dir, "Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında ziyaret edilen tesisten alınan verilere göre; incelenen tesis için proses profili 1.47 lt.su/lt.ürün olarak belirtilmiştir. Tesis proses profili hedefinin 1 lt.su/lt.ürün olduğu ve bu hedef doğrultusunda yeniden kullanım miktarının artırılacağı, tesisi içi su minimizasyon çalışmalarının artarak devam edeceği belirtilmiştir.

Sektör özelinde yeniden kullanım alanlarının çeşitliliği ve proses içi yeniden kullanım imkanlarının olması ve global şirketlerin proses profilini düşürme hedefleri bu sektörde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını kolaylaştırmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Akbulut, M. ve Çolak, H., 2013 "Alkolsüz İçecekler: Üretimi ve Kullanılan Maddeler" İnternational 2nd Halal and Healty Food Congress. Konya

[2] Oruç, Ş., 2001 "Meşrubat Sektör Araştırması" İstanbul Sanayi Odası (İSO), İstanbul.

[3] PwC Bağımsız Denetim ve Serbest Muhasebeci Mali Müşavirlik A.Ş., 2016 Coca-Cola Faaliyet Raporu. İstanbul

[4] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), 2017 Sanayi Veritabanı. Erişim Tarihi: 15.02.2018 http://sanayi.tobb.org.tr/index.php

[5] Chen, J. P., ve diğ. 2006 "Soft Drink Waste Treatment". Waste Treatment in Food Processing Industry. Taylor and Franchis

[6] Steen, D. P. and Ashurst, P. R. (Editors)., 2006 Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture. First edition Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.

[7] Water Research Commission (WRC)., 2015., Water and Wastewater Management in the Soft Drink Industry., Water Research Commission. South Africa

[8] The Waste and Resources Action Programme (WRAP)., 2007., "Water Efficiency: Quantifying Water Savings Opportunities in the UK Drinks Sector". United Kingdom: WRAP.

[9] Beverage Industry Environmental Roundtable (BIER)., 2015 "Beverage Industry Continues to Drive Improvement in Water and Energy Use": 2014 Trends and Observations. Europe"., Beverage Industry Environmental Roundtable.