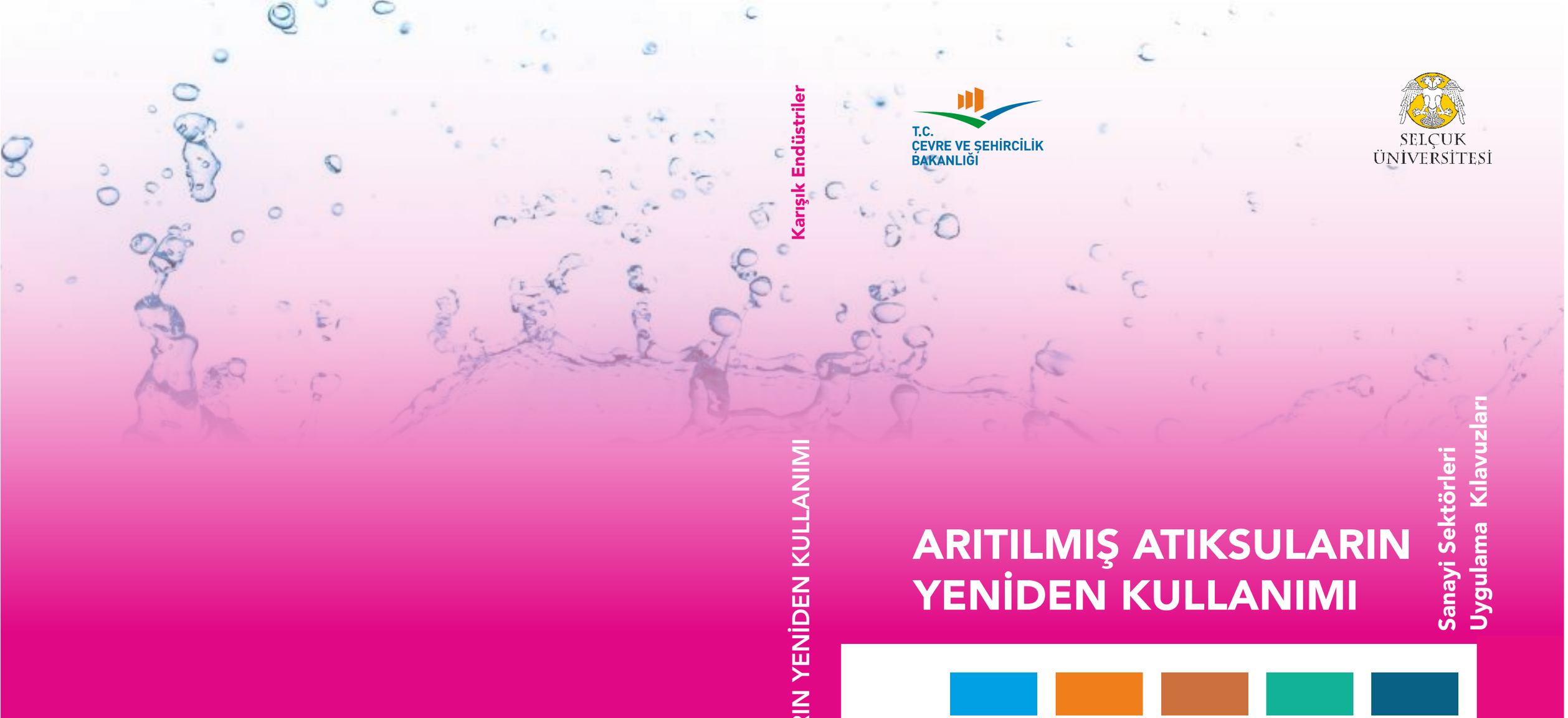


Karışık Endüstriler

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

KARIŞIK ENDÜSTRİLER

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

KARIŞIK ENDÜSTRİLER

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ 65
TÜRKİYE'DE ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ 67
ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU 70
ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI 80
DEĞERLENDİRME 88
KAYNAKLAR 90

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) 57
Şekil 2.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yerüstü suyu) 58
Şekil 3.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yeraltı suyu) 59
Şekil 4.Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Arıtılmış evsel/kentsel atıksu) 60
Şekil 5.Sanayi tesisinde yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı 61
Şekil 6.Sanayi tesislerinde su yeniden programı oluşturmada izlenebilecek adımlar 62

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.Proje kapsamında incelenen ve uygulama kılavuzları hazırlanan sanayi sektörleri 53
Tablo 2.Sanayi tesisleri için yeniden kullanım kaynakları ve uygulama alanları matrisi 55
Tablo 3.Sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi örneği 56

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.Türkiye'de yıllara göre OSB Sayısı 68
Şekil 2.OSB'lerin illere göre dağılımı 69
Şekil 3.2016 yılında coğrafi bölgelere göre aylık su kullanımlarının dağılımı 70
Şekil 4.OSB'lerin AAT kapasitelerine göre dağılımı 74
Şekil 5.OSB'lerin mevcut AAT debilerine göre dağılımı 74
Şekil 6.Bozüyük OSB AAT akım şeması 75
Şekil 7.Çerkezköy OSB AAT akım şeması 75
Şekil 8.Denizli OSB AAT akım şeması 76
Şekil 9.Gaziantep OSB AAT akım şeması 77
Şekil 10.Kayseri OSB AAT akım şeması 78
Şekil 11.Konya OSB AAT akım şeması 78
Şekil 12.Asım Kibar OSB AAT akım şeması 79

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.Türkiye'de mevcut OSB'lerin bölgelere göre dağılımı 68
Tablo 2.Kapladığı alana göre ilk beşte yer alan OSB'ler 69
Tablo 3.İşletme sayısına göre ilk beşte yer alan OSB'ler 69
Tablo 4.İstihdam sayılarına göre ilk beşte yer alan OSB'ler 69
Tablo 5.2016 yılında bölgelere göre OSB'lerin su kullanım miktarları 70
Tablo 6.2015 ve 2016 yılında OSB'lerin çevresel harcamaları 70
Tablo 7.OSB'lerde yıllara göre su ve atıksu göstergeleri 71
Tablo 8.2.000 m^3/gün üzerinde atıksu arıtılan OSB'leri (2017 yılı) 72
Tablo 9.Proje kapsamında Marmara Denizine deşarj edilecek OSB AAT'leri 80
Tablo 10.Proje kapsamında incelenen OSB AAT'lerinin analiz sonuçları* 81
Tablo 11.Proje kapsamında incelenen OSB AAT'lerinin analiz sonuçları (devamı) 82

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:

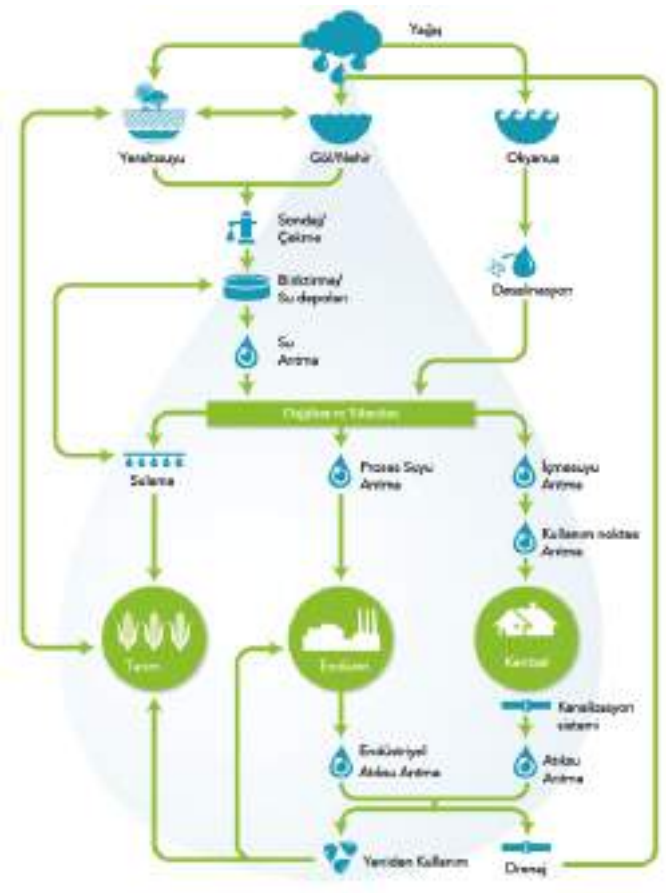
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Sinan UYANIK
Y. Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Y. Doç. Dr. Selim DOĞAN
Arş. Gör. Taylan DOLU
Çevre Yüksek Müh. Mustafa COP
Çevre Müh. Sefa TURGUT
Çevre Müh. Kaan Batuhan NAS

1 BÖLÜM



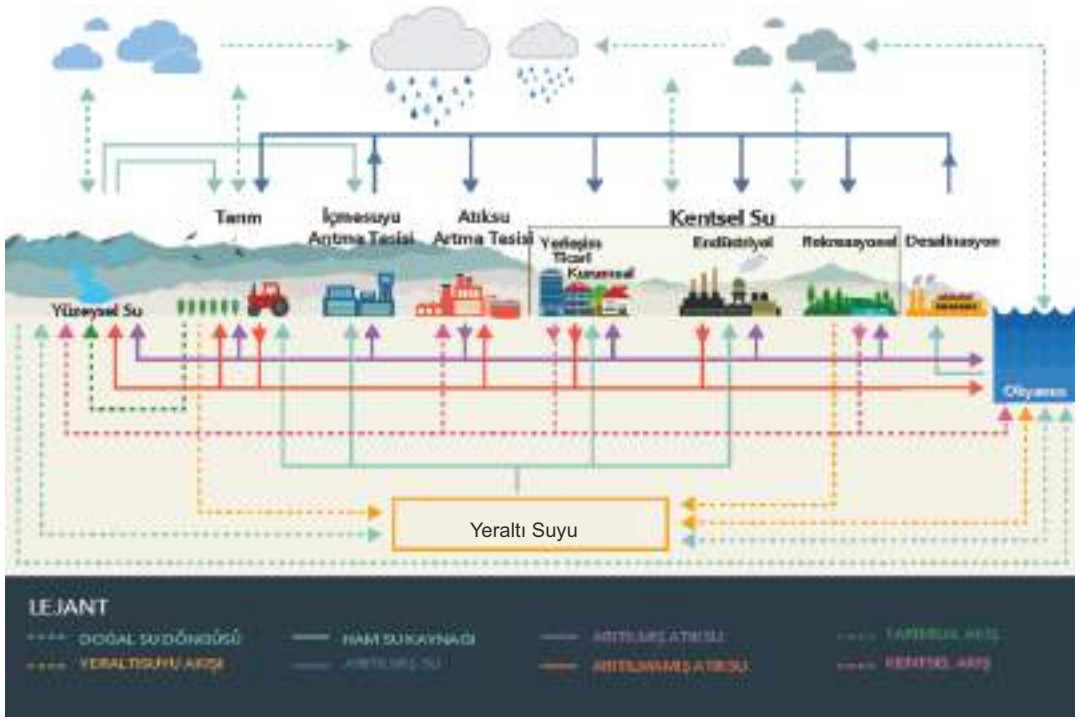
GİRİŞ

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.

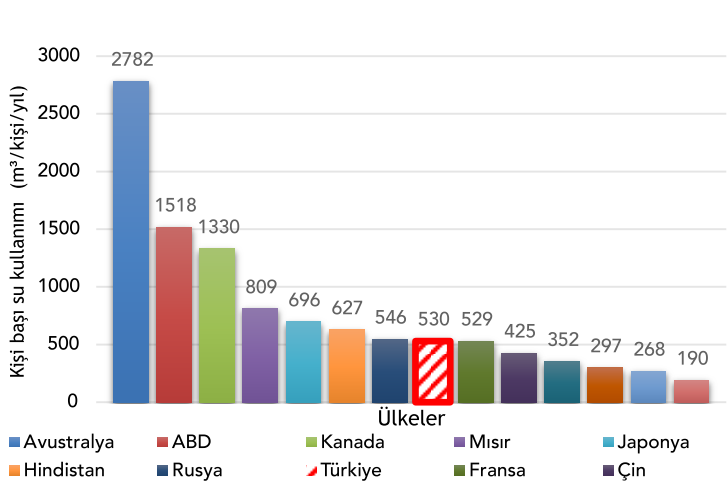
Doğrudan içme suyu olarak yeniden kullanım (Direct potable reuse): Arada bir depolama olmaksızın geri kazanılmış suyun doğrudan bir su dağıtım sistemine girişi (borudan-boruya)

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)

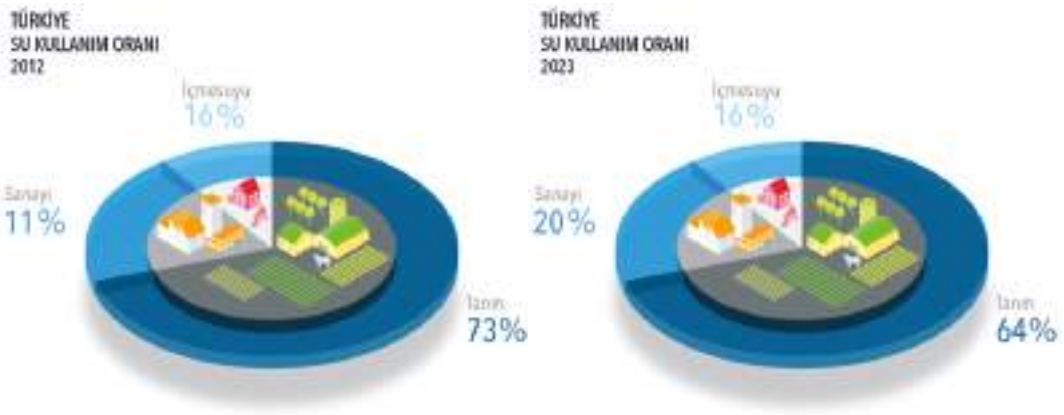
Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli	
Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577 km^2
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yeraltına sızma	41 milyar m^3
Yüzeysel Su	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yeraltı suyu	
Yıllık 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.

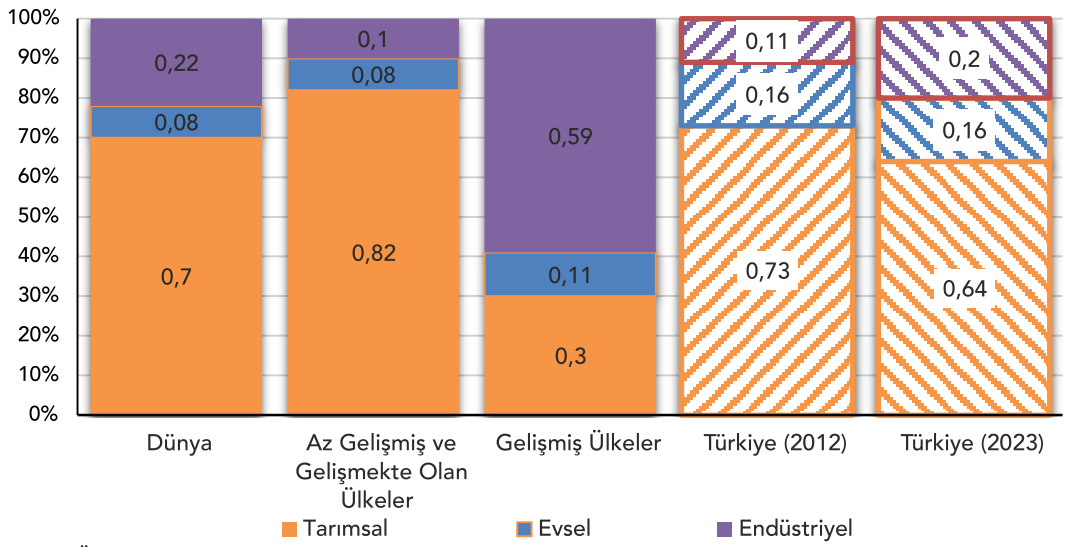


Tablo 2. *Dünyada ve ülkemizde suyun sektörel kullanım durumu (FAO, 2012)*

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

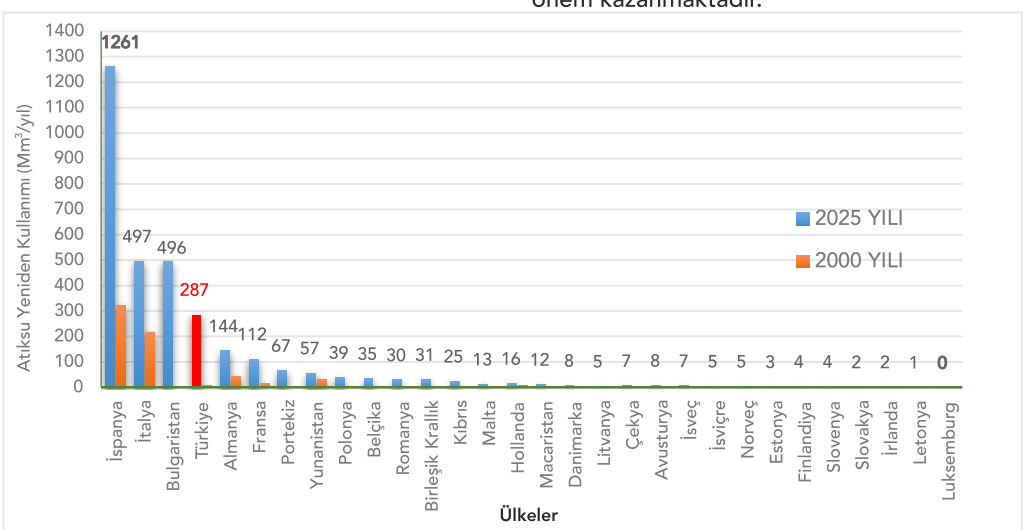


Şekil 6. *Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre sektörel su kullanımlarının dağılımı ve Türkiye'de sektörel su kullanımı*

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.

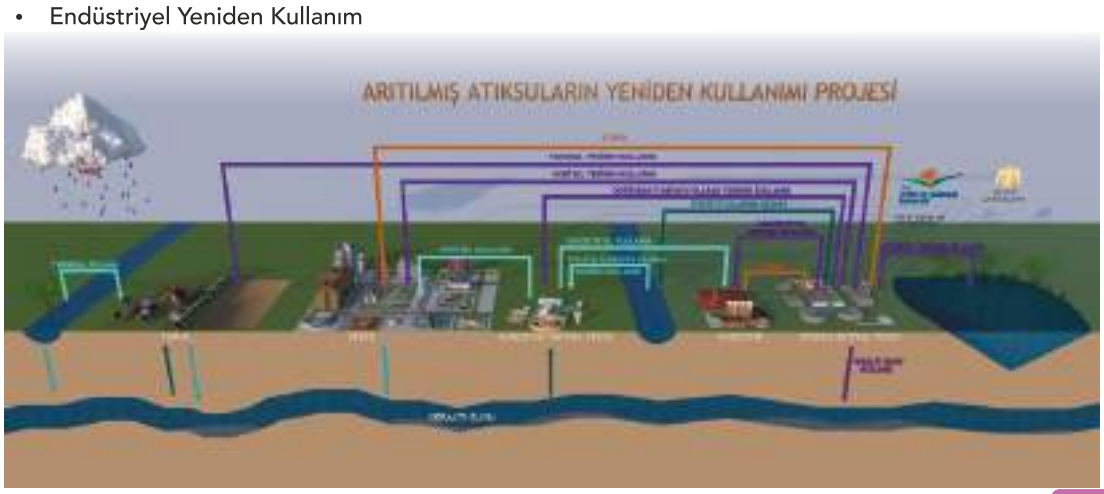
ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM ALANLARI

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
  - Çevresel Yeniden Kullanım
  - Operasyonel Depolama
  - Yüzeysel Biriktirme – Su Rezervuarları
  - Yüzey Suyu Depolama ve Beslemesi
  - Akifer Beslemesi
- Endüstriyel Yeniden Kullanım

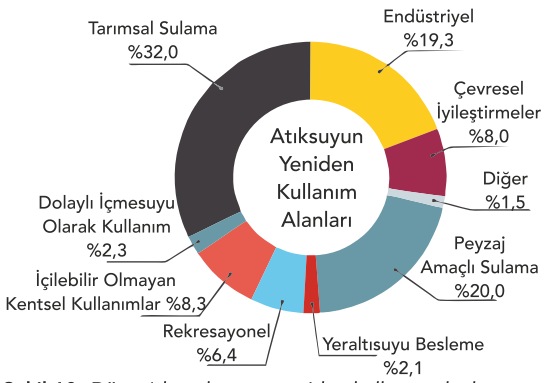


Şekil 8. *Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı alternatifleri*



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)*

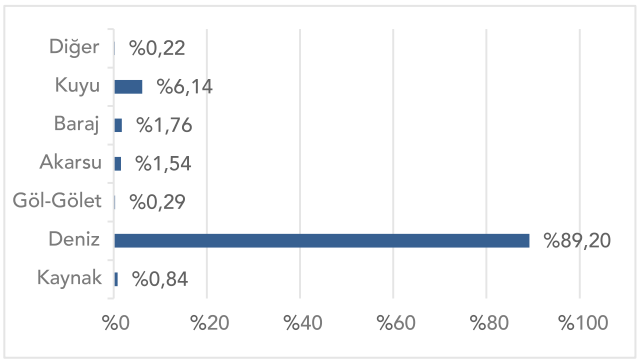
	Gıda End. (%)	Kağıt End. (%)	Petrol Rafineleri ve Kimya End. (%)	Metal Üretimi (%)	Elektrik üretimi ve dağıtımı (Soğutma için su kullanımı) (%)	Maden ve Taş ocakçılığı (%)
Belçika (2009)	2,2	0,9	16,6	2,2	76,5	0,8
Bulgaristan (2011)	0,7	0,6	1,9	0,5	94,6	0,6
Çek Cumhuriyeti	1,5	4,5	10,5	3	75,4	3,3
Almanya (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.

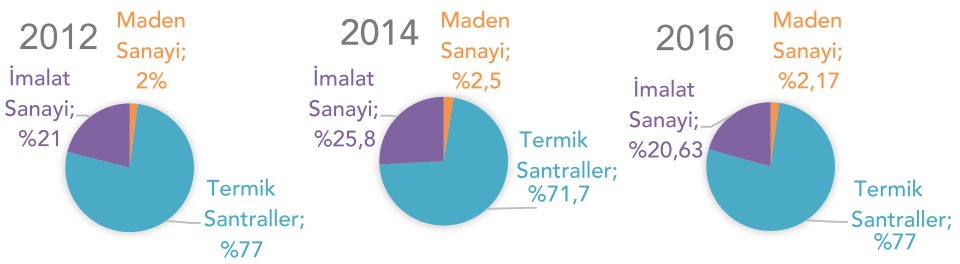


Şekil 11. *Ülkemizde endüstrilerde kullanılan suyun çekildikleri kaynaklara göre dağılımı*



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.

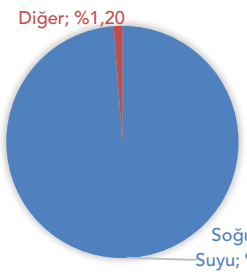
Denizlerden çekilen su hesaba katılmadığında ise ülkemizde endüstriyel kullanım için 2014 yılında çekilen suyun toplamının yaklaşık 974 milyon m^3 olduğu görülmektedir. Şekil 12'de yıllara göre endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımı verilmektedir.



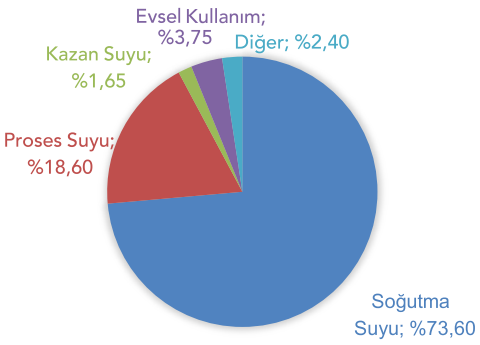
Şekil 12. *Endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımının yıllara göre değişimi*

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.

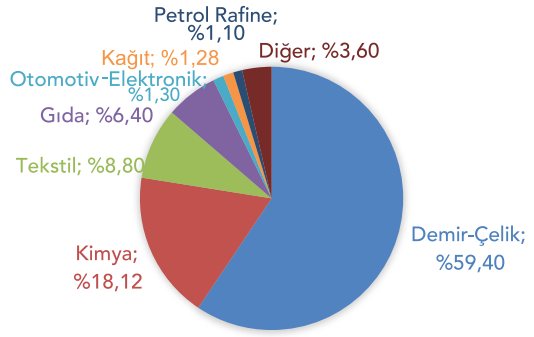
Şekil 13'te termik santrallerde suyun son kullanım alanları verilmektedir. Termik santrallerde kullanılan endüstriyel suyun neredeyse tamamının soğutma işlemi için kullanıldığı görülmektedir.



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



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

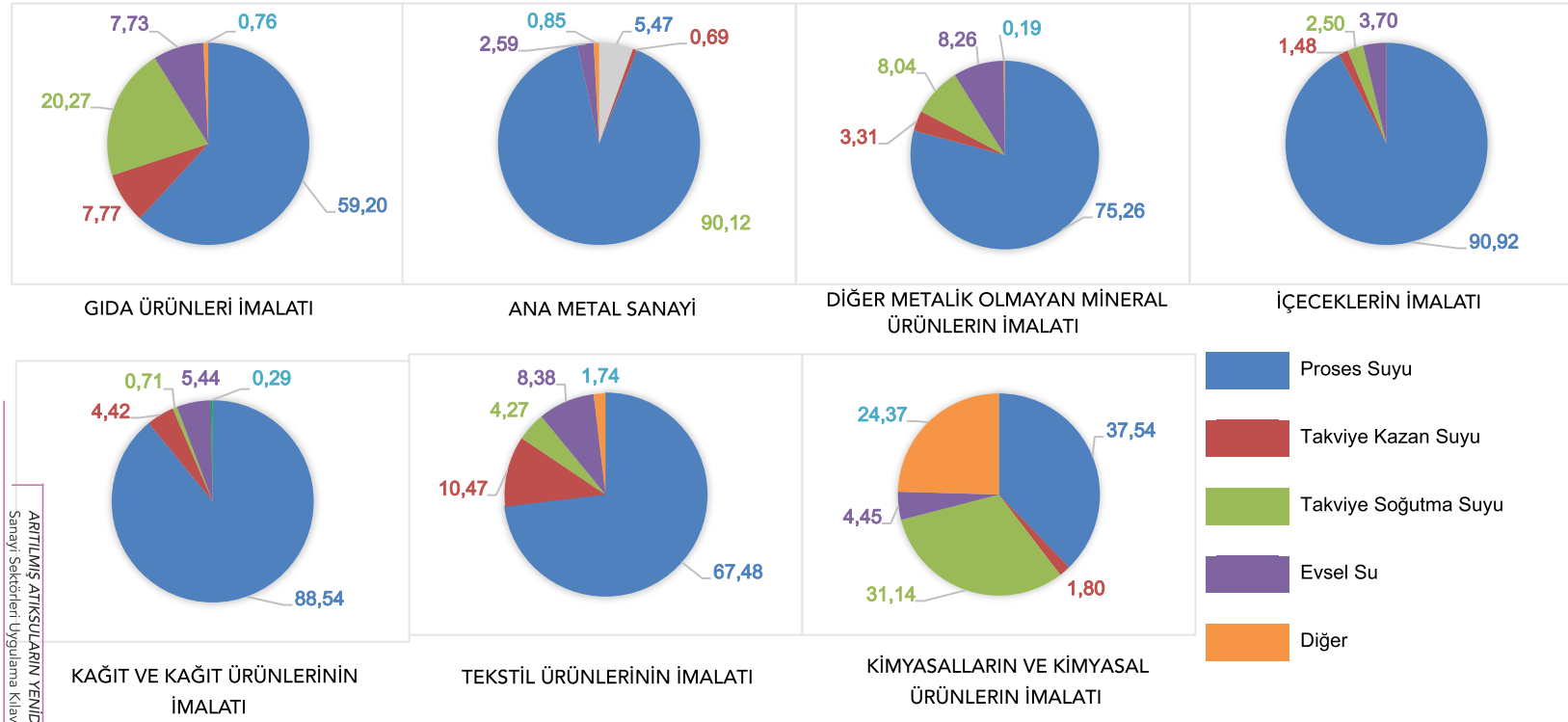


Şekil 15. *İmalat sanayinde kullanılan suyun alt sektörlere göre dağılımı*

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.

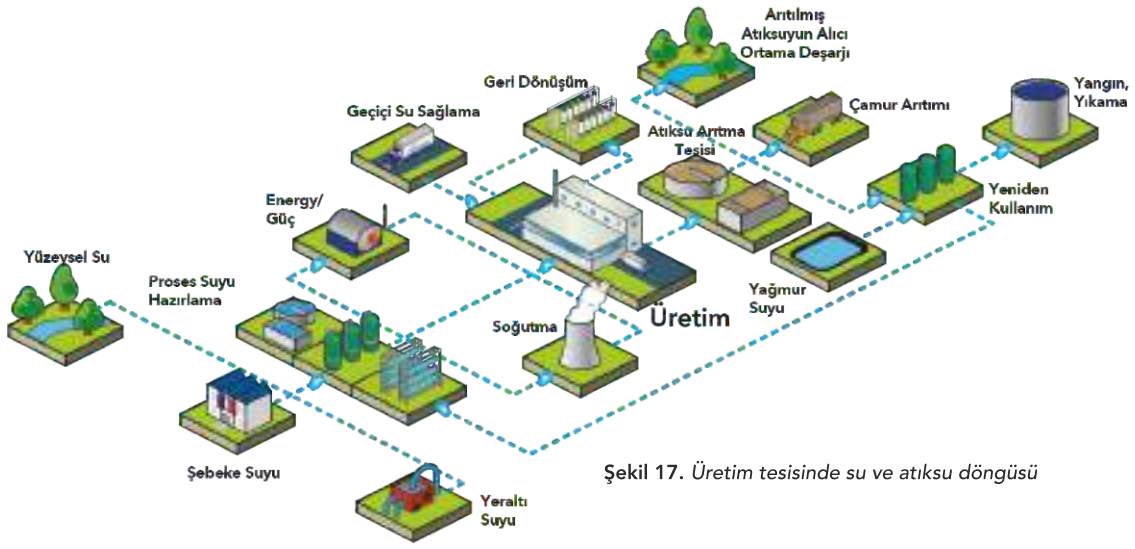
İmalat sanayinde su kullanımının en fazla gerçekleştiği sektörler sırası ile %59,40 ile ana metal sanayi (demir-çelik üretimi), %18,12 ile kimya endüstrisi, %8,80 ile tekstil endüstrisi ve %6,40 ile gıda ürünlerinin imalatı olarak gerçekleşmiştir.
TUİK 2008 istatistiklerinden yararlanılarak imalat sanayinde 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)).

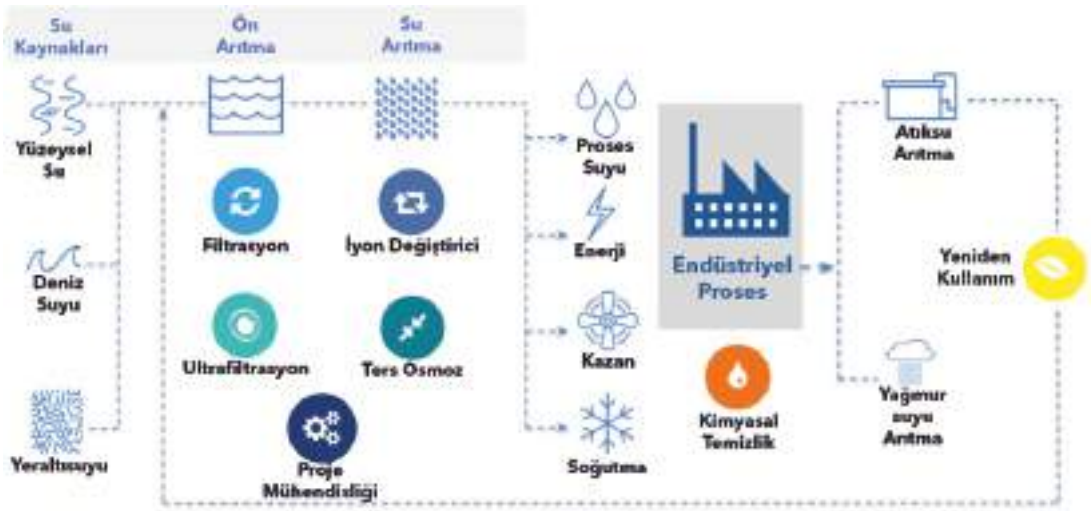
Tablo 5. *Farklı sanayi sektörlerinde oluşan atıksuların karakteristik özellikleri*

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.

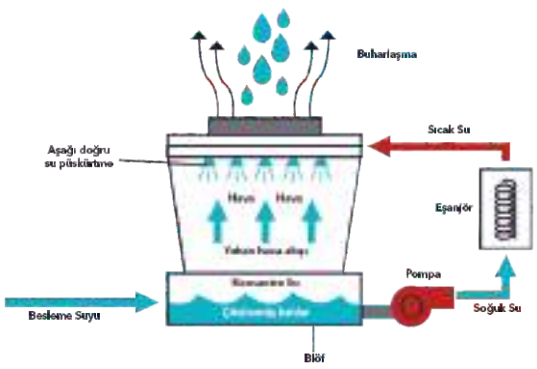
Geri kazanılmış su ilk kez endüstriyel amaçlarla kullanıldığında (ilk kullanım kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrilerinde) genellikle geri kazanılmış su arıtılmış ve tesis içinde yeniden kullanılmıştır. ABD'de kurak eyaletlerde (Arizona, Kaliforniya ve Teksas) su kaynakları giderek strese girmektedir ve yeraltı 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).

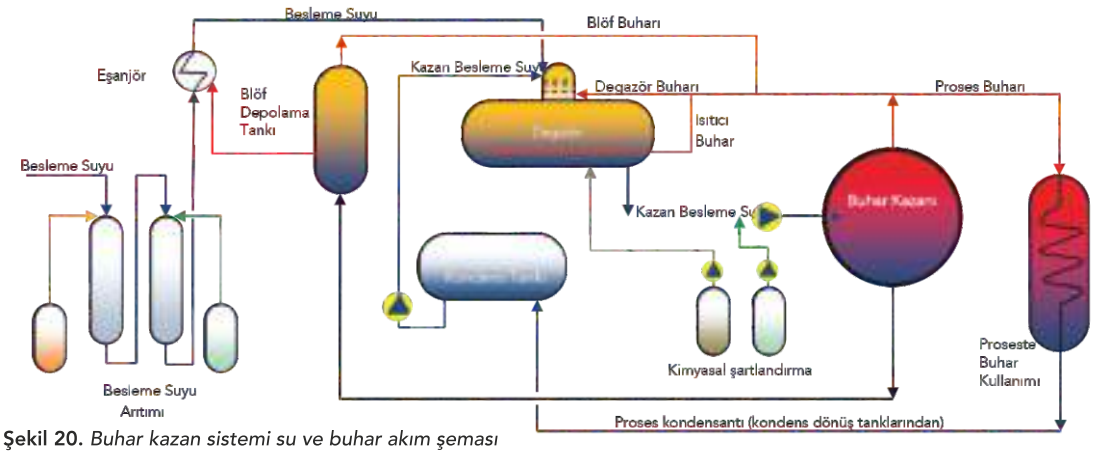
Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri Tablo 6'da verilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2007).

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

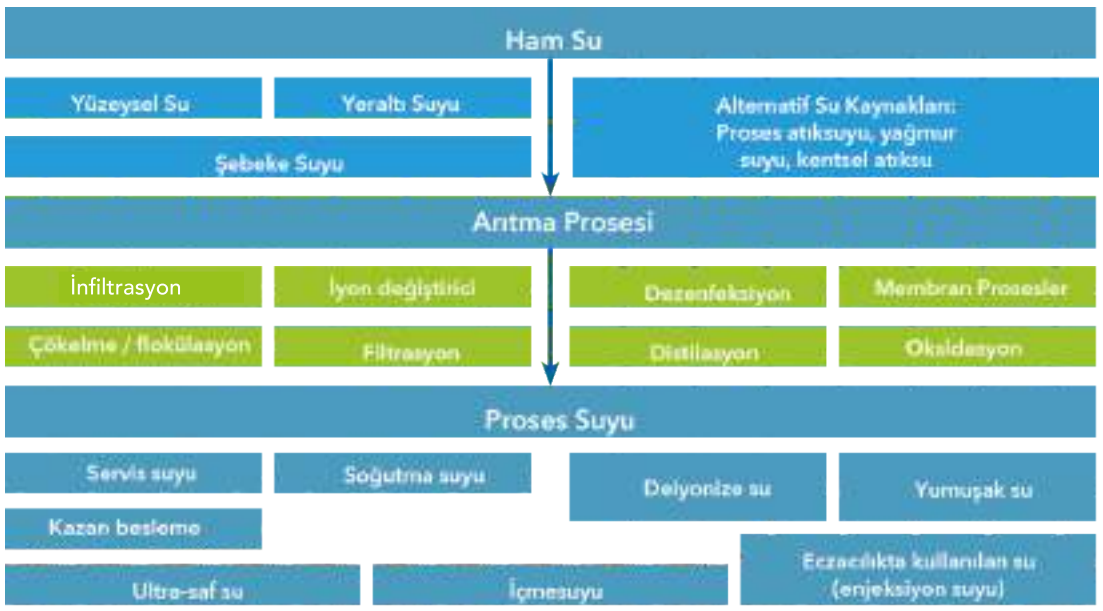
Sanayi sektörlerinin her birinde farklı üretim ve prosesler mevcut olduğundan ihtiyaç duydukları su kaliteleri de çok değişkendir. Her bir sanayi sektörü için su kullanacağı prosese göre farklı su kalitesi parametreleri öne çıkabilmektedir. Örnek olarak; korozyon ve kireçlenme için önemli parametreler; 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.



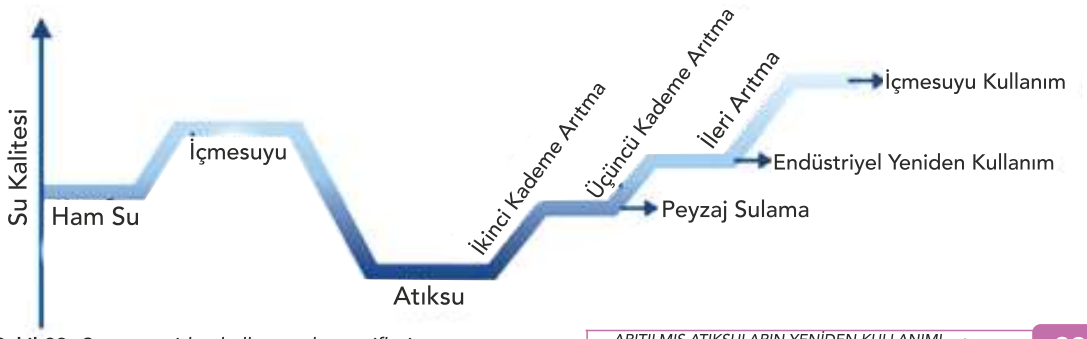
Şekil 22. *Endüstri'de atıksuyun yeniden kullanım alanları*

ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

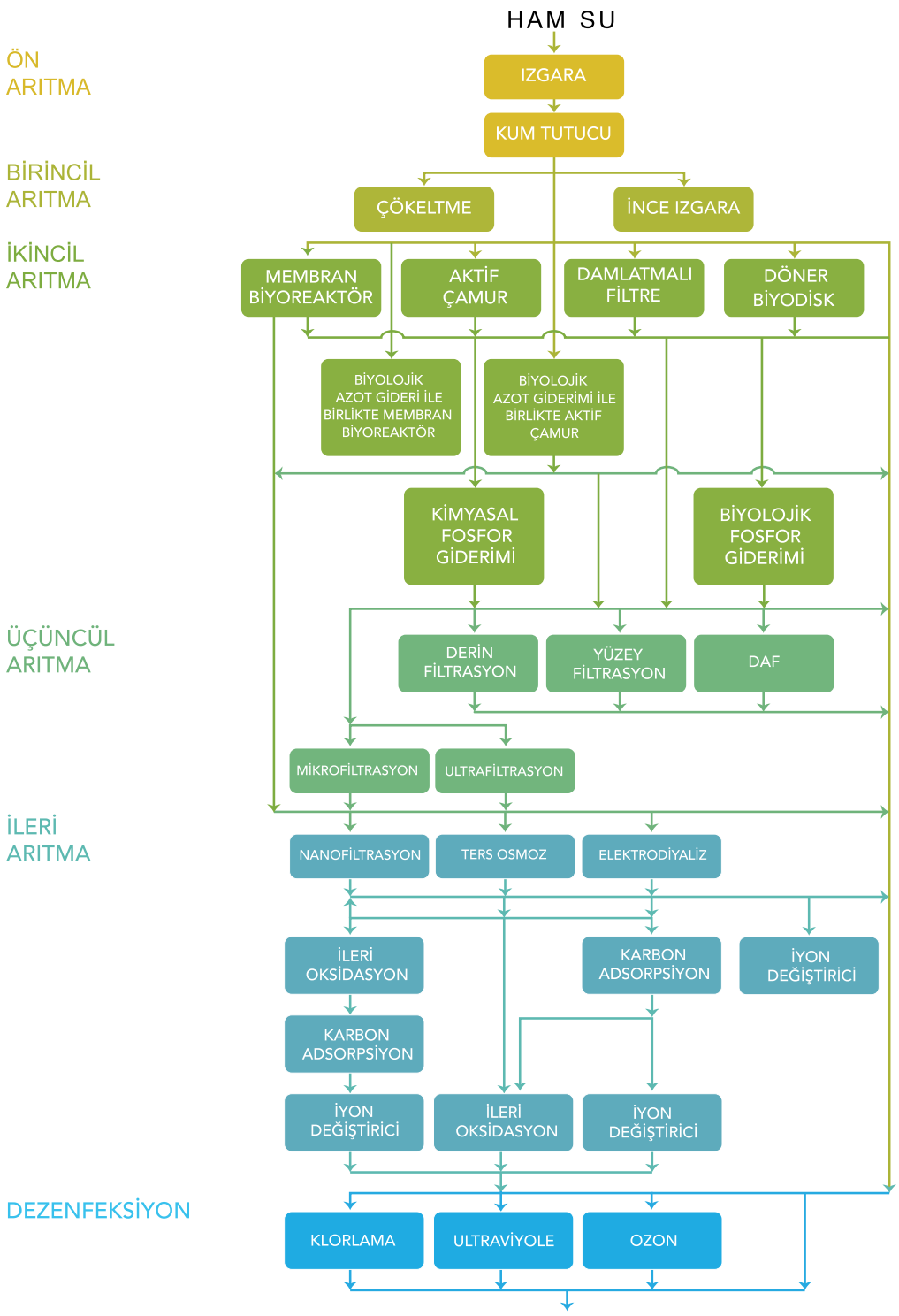
Yerüstü su kaynağından alınan ham suyun içmesuyu olarak kullanılabilmesi için çeşitli artıma prosesleri ile su kalitesinin arttırılması gerekebilir. İçmesuyu olarak kullanılan su, atıksuya dönüştüğünde su kalitesi azalır. Atıksu arıtma tesisinde, ikinci kademe sonrası peyzaj sulama suyu, üçüncü kademe 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.

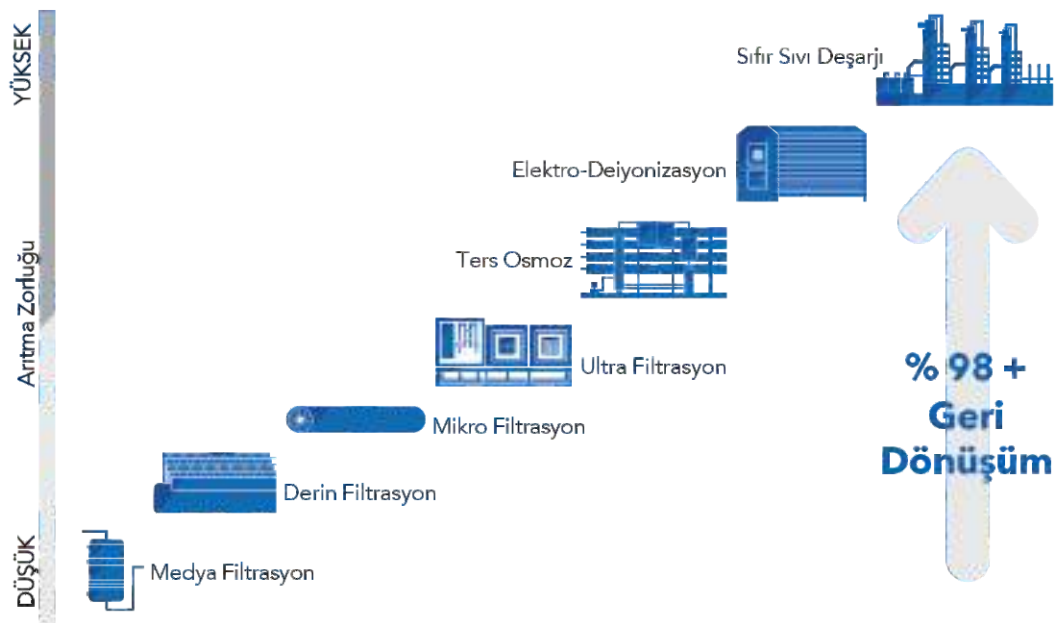


Şekil 23. *Suyun yeniden kullanım alternatifleri*



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="5">Nihai kullanım</td><td rowspan="5">Önerilen kullanım yok</td><td>Bağ bahçenin yüzeysel sulanması</td><td>Peyzaj ve golf sahası sulaması</td><td rowspan="5">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></td><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

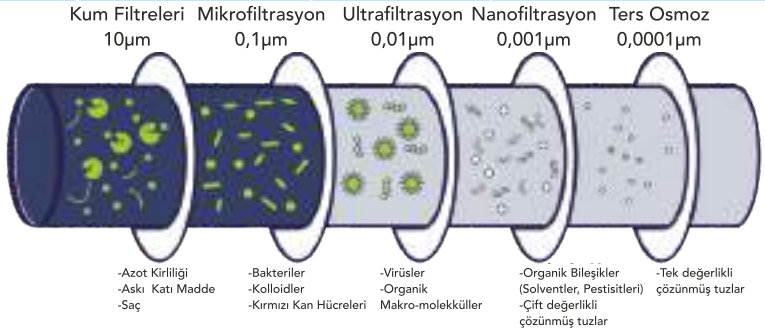
Membran, iki fazı ayıran ve maddenin taşınmasına karşı seçici bir bariyer gibi davranan ince bir film olarak tanımlanabilir. Suyun membran boyunca akması için bazı türlerde itici güçlere ihtiyaç vardır. Yeniden kullanım uygulamalarında, membran prosesleri tipik olarak basınç ile işletilen proseslerdir. 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.

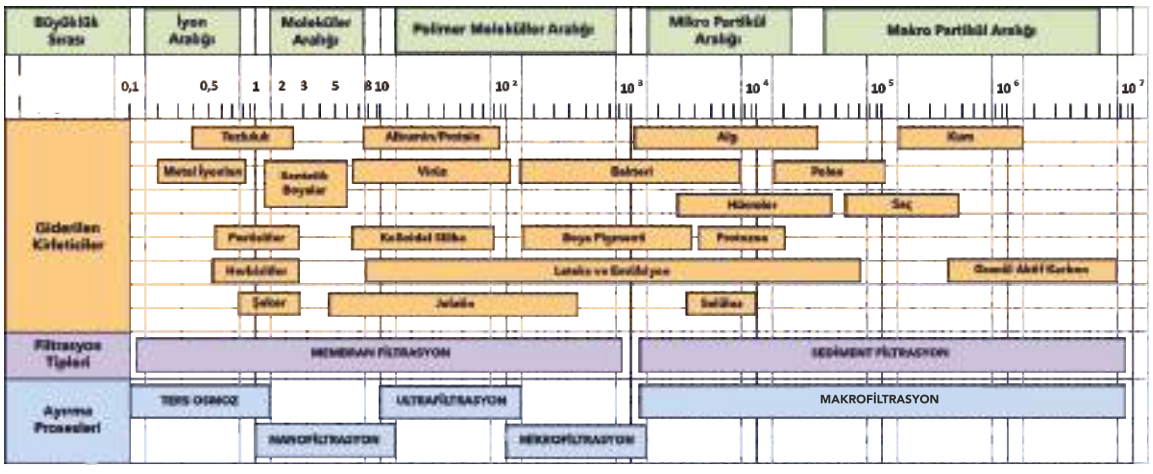
Bir filtreleme sisteminin kapasitesi, genellikle filtrasyon hızı ve filtrasyon sistemindeki mevcut yüzey alanına bağlı olarak değerlendirilir. Üreticiler, hidrolik yükleme hızlarını ya da su kalitelerini arttırmak suretiyle; filtre performansını arttırmak için sürekli olarak yeni filtreleme teknolojileri 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.

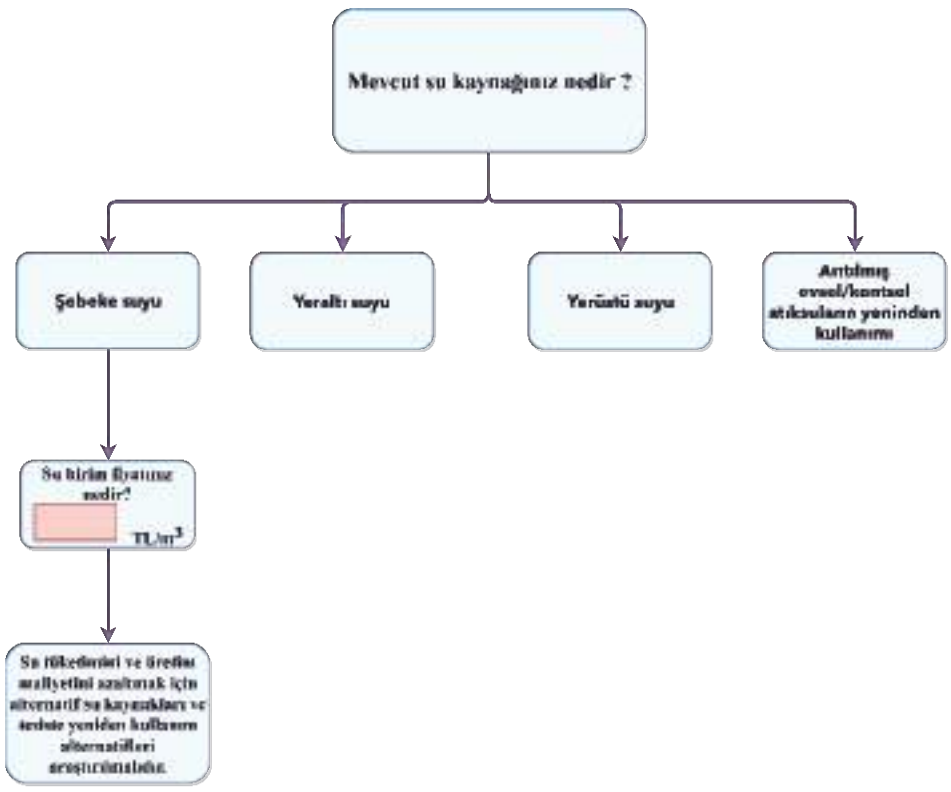
Tablo 2. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım kaynakları ve uygulama alanları matrisi*

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															

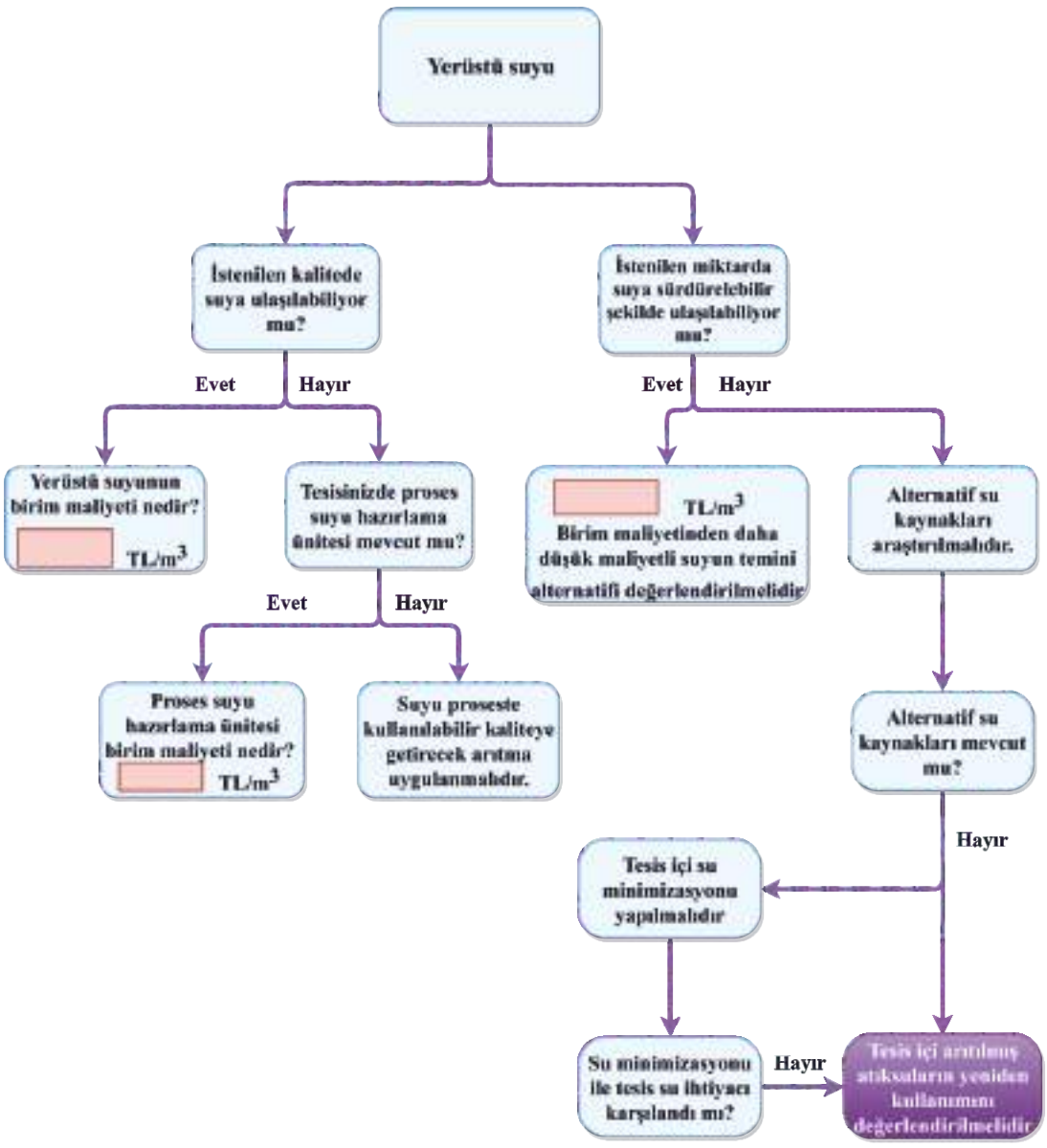
Tablo 3. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi örneği*

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									

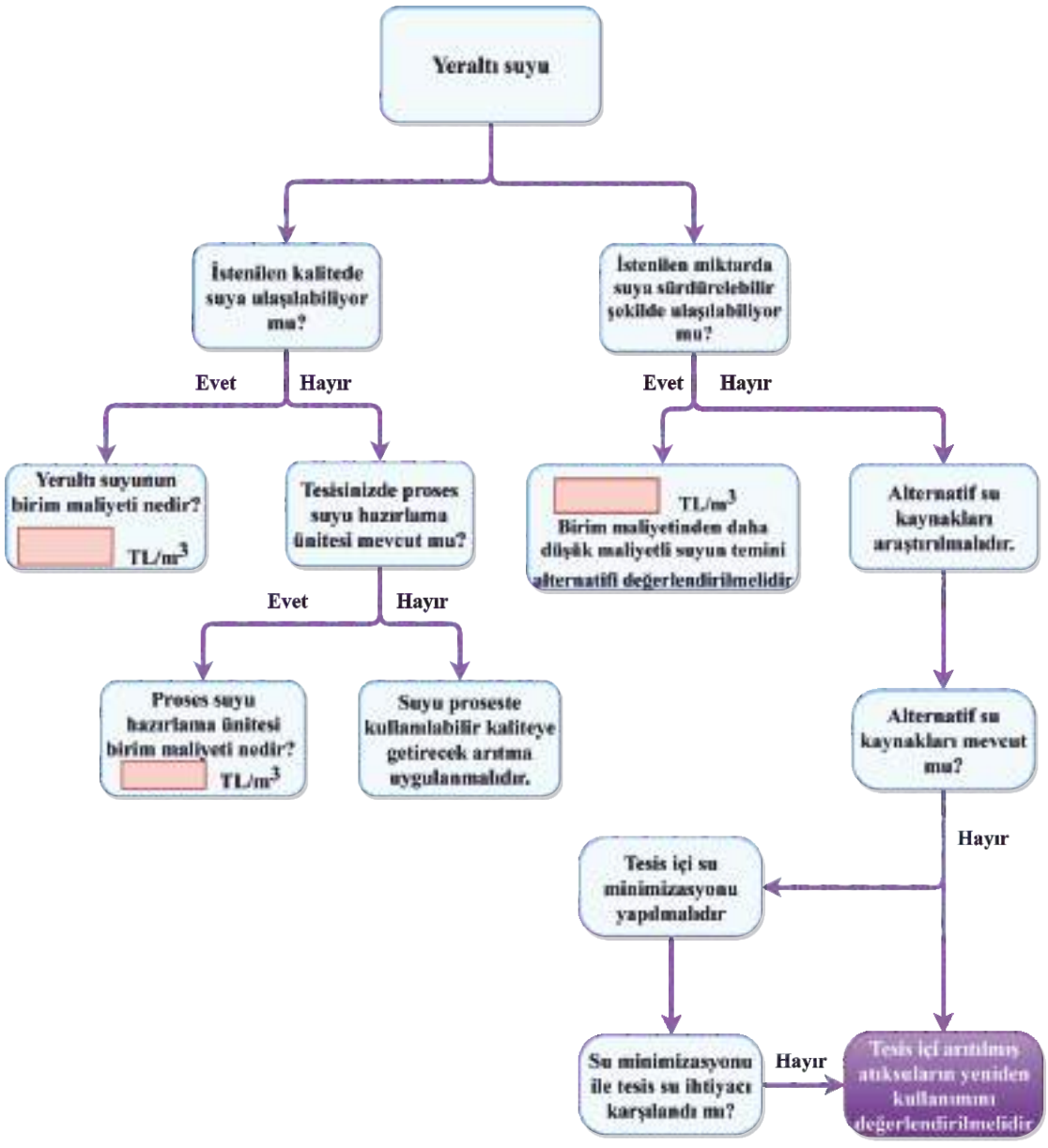
Şekil 1,2,3 ve 4'te sanayi tesislerinin su kaynağından başlanılarak su kullanımı, atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı değerlendirebilmesine imkan sağlayabilecek bir karar ağacı verilmiştir. Bu karar ağacı, sanayinin şebeke, yeraltı, yerüstü veya arıtılmış evsel atıksuyu su kaynağı olarak kullanması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



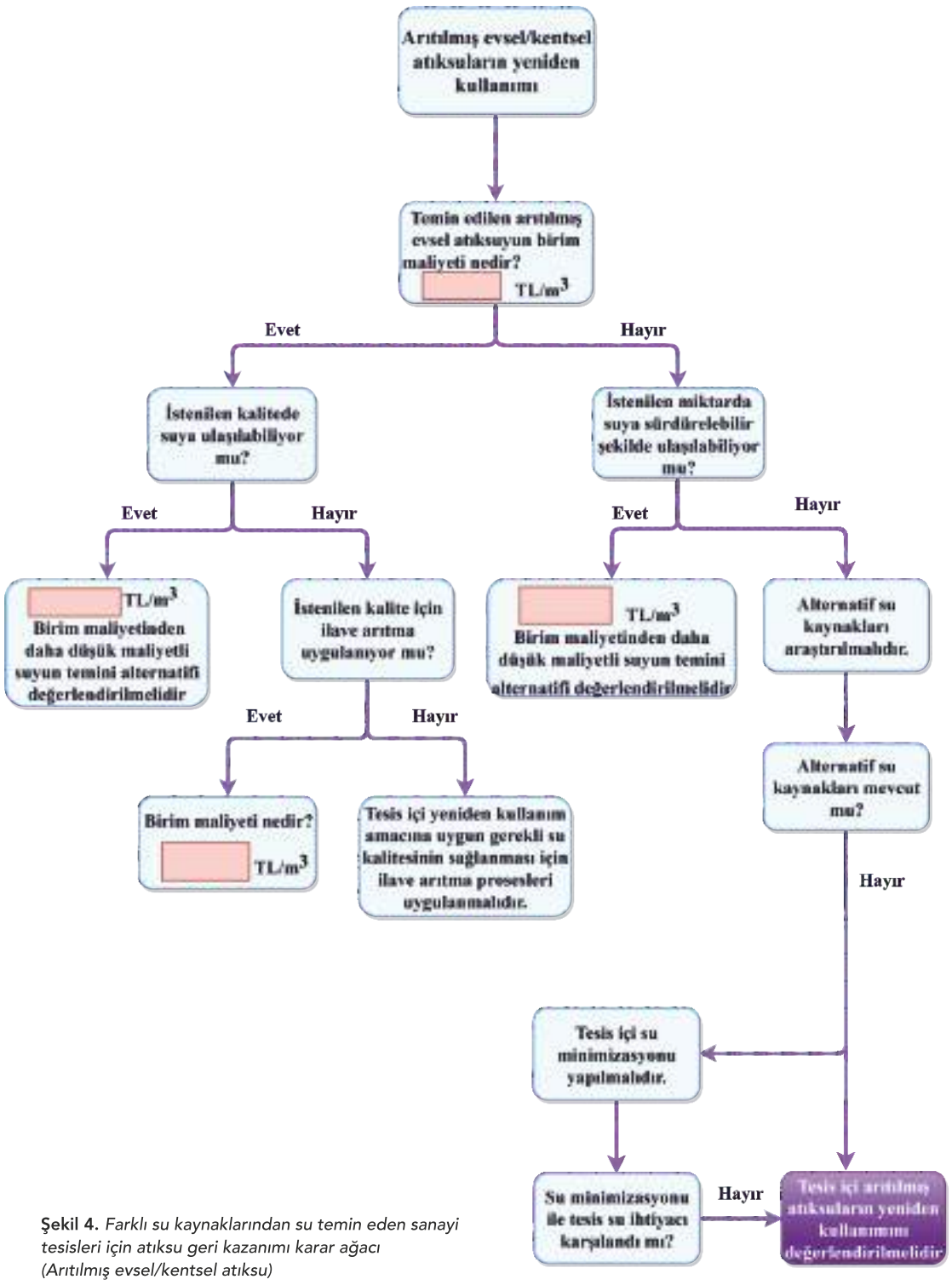
Şekil 1. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Şebeke suyu)*



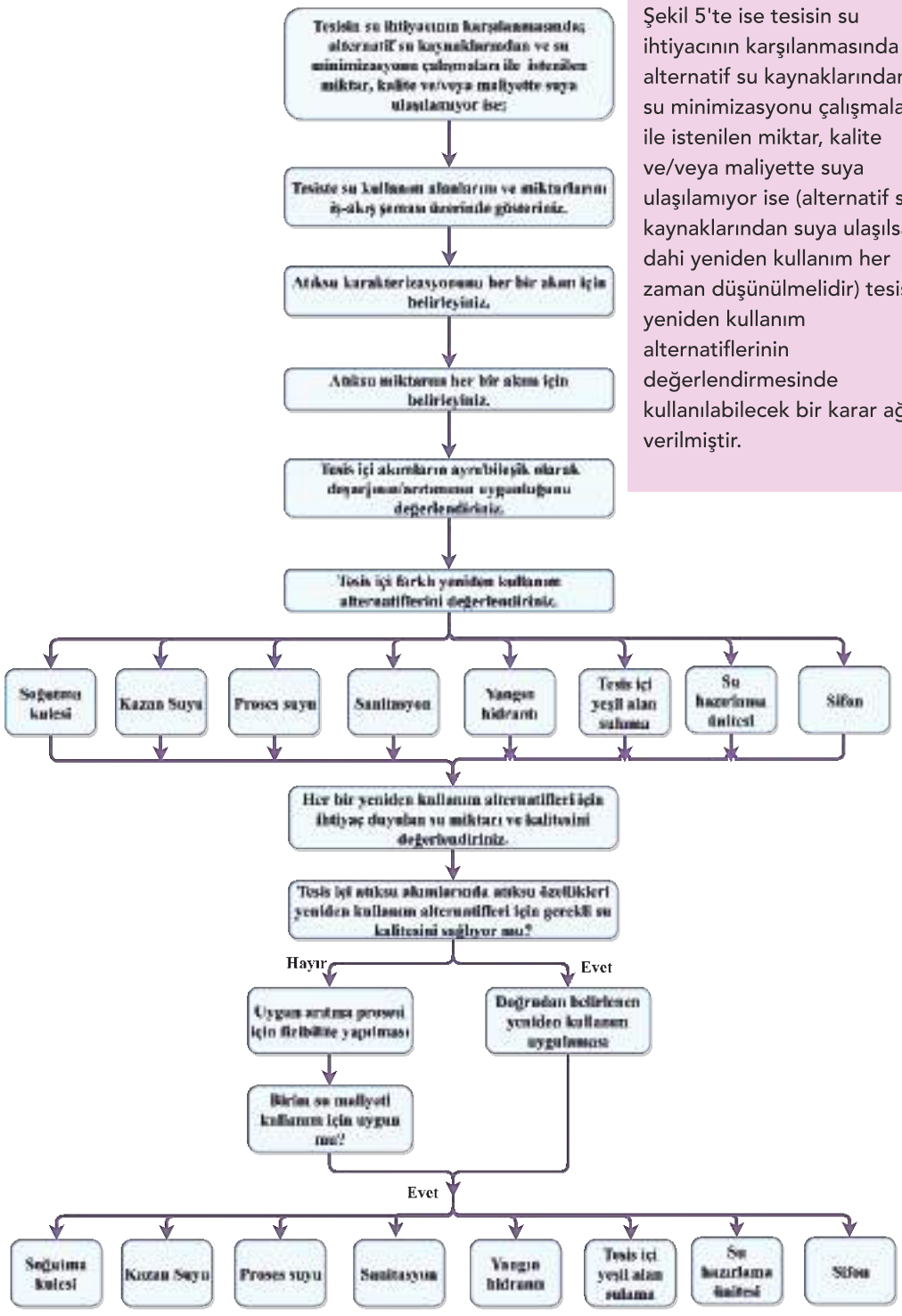
Şekil 2. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yerüstü suyu)*



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



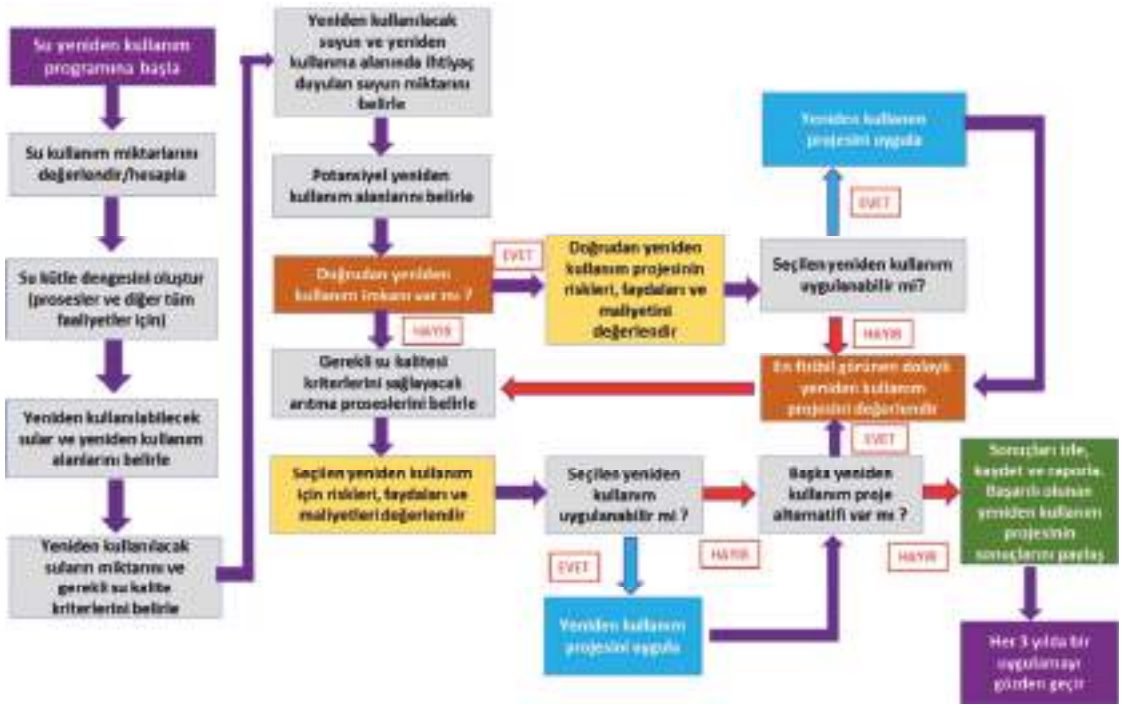
Şekil 4. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Arıtılmış evsel/kentsel atıksu)*



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.

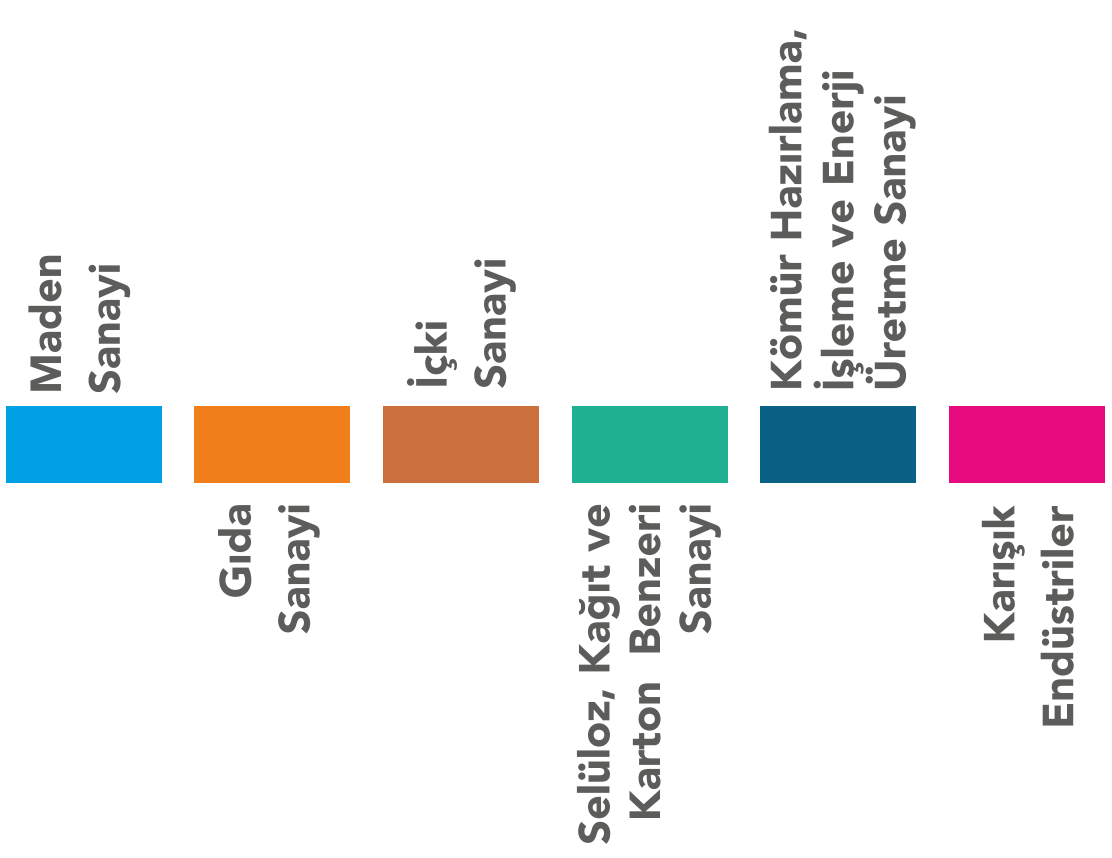
Şekil 5. *Sanayi tesisinde yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı*

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



Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

Karışık Endüstriler

KARIŞIK ENDÜSTRİLER

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ

Bölüm Yazarları:
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Çevre Müh. Kaan Batuhan NAS



ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ

Dünyada OSB uygulamasına benzer bir uygulama ilk kez XIX. Yüzyılın ilk yarısında ABD'de tekstil imalathanelerinin kendiliğinden fiziksel olarak bir araya toplanmaları sonucu ortaya çıkan kümelenmelerle başlamıştır. ABD'de 1885 yılında hazırlanan bir raporda ekonominin geliştirilmesiyle bağlantılı olarak "Sanayi Bölgesi" fikri ortaya atılarak, sanayi bölgelerinin oluşturulmasının sanayinin geliştirilmesi için önemli bir araç olacağına dikkat çekilmiştir. Organize Sanayi Bölgeleri ile ilgili ilk bilinçli uygulama ise; 1896 yılında İngiltere'nin Manchester kenti yakınlarında kurulan "Trafford Park" uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamaların amacı ise, aynı proje kapsamında birden fazla sanayi tesisinin adeta seri üretim gibi inşa edilerek karlılık oranını arttırma olarak belirlenmiştir.

Organize sanayi bölgelerinin İngiltere'deki uygulamalarında güdülen en önemli amaç ise; geri kalmış bölgelerde işsizlikle mücadele etmek olarak belirlenmiştir. İngiltere'de ilk uygulamaların, Birinci Dünya Savaşı sonrasında yaygınlaştığı görülmektedir. Organize Sanayi Bölgesi düşüncesinin ilk defa ortaya atıldığı ABD' de ilk uygulamalara ise 1899 yılında geçilmiş ve 1905 ve 1909 yıllarında özel girişimciler Chicago kentinde "Central Manufacturing" ve "Clearing" ismini verdikleri iki sanayi bölgesini kurmuşlardır.

Büyük Dünya Bunalımı'nın İngiliz ekonomisini çökerttiği 1929 yılında; bunalımdan çok etkilenen kömür, çelik ve gemi inşa sanayilerinden açıkta kalan işgücü gelişmiş sanayi merkezlerine akın etmiştir. Belli bölgelerin göç nedeniyle aşırı nüfus kaybına karşı bir önlem olarak 1936 yılında devlet "Özel Gelişme Alanları ve İlerleme Yasası"nı çıkartmıştır. Bu yasa çerçevesinde alınan önlemler sayesinde 1936–1938 yılları arasında İskoçya'da ve Galler'de altı adet sanayi bölgesi kurulmuştur.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında belli yörelerde sanayi patlaması olabileceği öngörülerek; büyük kent merkezlerine ve sanayi alanlarına olabilecek yönelmeye karşı koyabilmek amacıyla yeni politikalara başvurulmuş ve bu amaçla 1945 yılında "Sanayinin Dağılımı Yasası" çıkarılmıştır.

ABD' deki uygulamalara baktığımızda; OSB'lerin ABD'deki özgün adı "Sanayi Parkı"dır. Bunların temel amacı; kapsamlı bir plan çerçevesinde belli bir alanın geliştirilerek alt bölümlere ayrılıp sanayi yerleşmelerine sunulmasıdır.

Bu uygulamada da temel amaç; çeşitli hizmetlerden, iş ilişkilerinden, ulaşım ve finansman kolaylıklarından ve eğitilmiş insan gücü açısından dışsal ekonomiler yaratarak, sanayileri büyük kentlerin yakınında toplamaktır [2].



TÜRKİYE'DE ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİ

4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu, OSB'leri "Sanayinin uygun görülen alanlarda yapılanmasını sağlamak, çarpık sanayileşme ve çevre sorunlarını önlemek, kentleşmeyi yönlendirmek, kaynakları rasyonel kullanmak, bilgi ve bilişim teknolojilerinden yararlanmak, sanayi türlerinin belirli bir plan dâhilinde yerleştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla; sınırları tasdik edilmiş arazi parçalarının imar planlarındaki oranlar dâhilinde gerekli idari, sosyal ve teknik altyapı alanları ile küçük imalat ve tamirat, ticaret, eğitim ve sağlık alanları, teknoloji geliştirme bölgeleri ile donatılıp planlı bir şekilde ve belirli sistemler dahilinde sanayi için tahsis edilmesiyle oluşturulan ve bu kanun hükümlerine göre işletilen mal ve hizmet üretim bölgeleri" olarak tanımlamaktadır [5].

Türkiye'de 1960 yılında başlayan planlı kalkınma döneminde sanayinin "lokomotif sektör" olduğu saptanmış ve ekonomik dengenin kurulması, ekonomik ve toplumsal kalkınmanın birlikte gerçekleştirilmesi, belli bir hızda büyüme ve sanayileşmeye önem verilmesi gibi uzun vadeli hedefler belirlenmiştir.

Planlı kalkınmayla belirtilen hedefler doğrultusunda, organize sanayi bölgeleri uygulamaya konulan tedbirler içinde yer almaktadır. Bu amaçla 1961 yılında bir rapor hazırlanmış ve Bursa'da bir "Pilot Organize Sanayi Bölgesi"nin kurulması önerilmiştir. Bu bağlamda OSB uygulamasına, ilk olarak 1962 yılında Dünya Bankasından alınan krediyle gerçekleştirilen Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nin kurulması ile başlanmıştır. Böylece Bursa OSB, tüm sorunlarına karşın bu kapsamdaki çalışmalara öncülük yapmıştır. Bursa OSB deneyiminin ardından, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı bünyesinde organize sanayi bölgelerine kredi sağlayan bir fon oluşturulmuştur. Bu fona devlet bütçesinden kaynak aktarılmış ve bu fon kullanılarak öngörülen OSB'lerin yapımına başlanmıştır. Başarılı bir örnek olarak görülen Bursa OSB Uygulaması, Manisa, Erzurum, Ankara, Kayseri gibi illerden başlayarak çoğalmış ve yerleşim yerleri için kalkınmanın aracı ve işsizliğin çözüm yolu olarak görülerek hızla yaygınlaşmıştır.

Türkiye' de OSB uygulamaları herhangi bir yasal mevzuatı olmadan 1982 yılına kadar devam etmiştir. Söz konusu mevzuat boşluğunun giderilmesi amacıyla 31 Ocak 1982 tarih ve 17591 sayılı Resmî Gazete'de "Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Fonlar Yönetmeliği" yayımlanarak yönetmeliğin bir bölümünde OSB'lerin hangi kurum kuruluşlar tarafından ve nasıl kurulacağı ve Bakanlık tarafından uzun vadeli ve düşük faizli kredilerle destekleneceği belirlenmiştir.

Düzenleme yönetmelikle yapıldığından OSB'lere

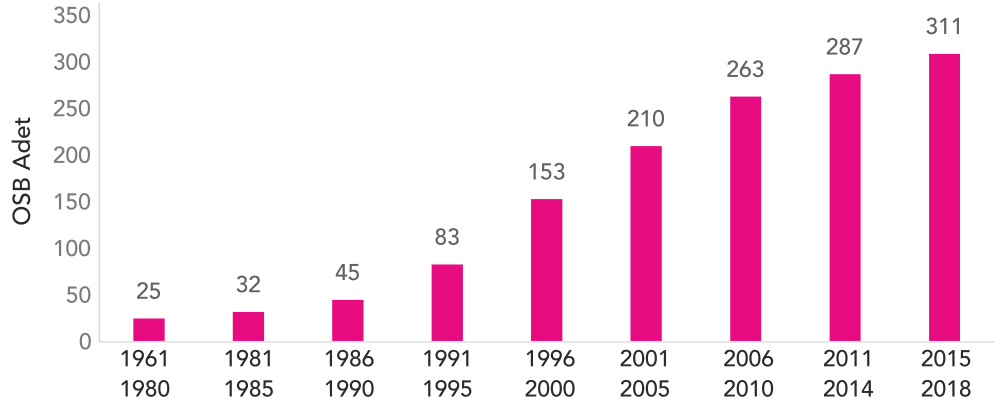
tüzel kişilik verilememiş, buna rağmen 2000 yılına kadar 145 OSB kurulmuştur. Nihayet 12 Nisan 2000 tarihinde 4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu kabul edilerek OSB'ler yasal hale gelmiş ve OSB'lere "Özel Hukuk Tüzel Kişiliği" niteliği verilmiştir. 17.01.2008 tarih ve 26759 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Organize Sanayi Bölgeleri Yer Seçimi Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesi ile OSB mevzuatı tamamlanmıştır [2].

Türkiye'de tüzel kişilik kazanmış Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına bağlı 311 OSB mevcuttur. OSB'lerde üretime geçen 50.528 parselde yaklaşık 1.7 milyon kişi istihdam edilmektedir [3].

Türkiye'de OSB'lerin kuruluş amaçları [2];

- Sanayinin disipline edilmesi,
- Şehirlerin planlı gelişmesine katkıda bulunulması,
- Birbirini tamamlayıcı ve birbirinin yan ürününü teşvik eden sanayicilerin bir arada ve bir program dahilinde üretim yapmalarıyla, üretimde verimliliğin ve kâr artışının sağlanması,
- Sanayinin az gelişmiş bölgelerde yaygınlaştırılması,
- Tarım alanlarının sanayide kullanılmasının disipline edilmesi,
- Sağlıklı, ucuz, güvenilir bir altyapı ve ortak sosyal tesisler kurularak minimum maliyetten maksimum faydanın sağlanması,
- Müşterek arıtma tesisleri ile çevre kirliliğinin önlenmesi,
- Bölgelerin devlet gözetiminde, kendi organlarınca yönetiminin sağlanması şeklinde özetlenebilmektedir.

Türkiye'de yıllara göre OSB sayıları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. *Türkiye'de yıllara göre OSB Sayısı*

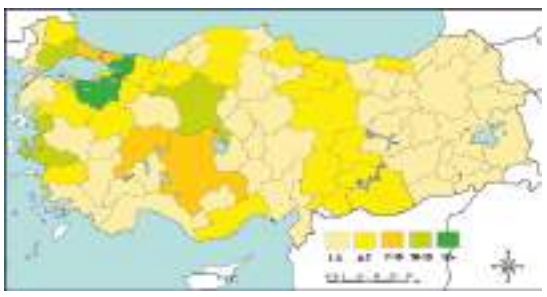
Türkiye'de 1961 yılında kurulan ilk OSB'den 2000 yılına kadar 153 adet OSB faaliyete geçmişken, 2000-2018 yılları arasında 158 adet OSB yapılarak toplam OSB sayı 311 olmuştur.

Türkiye'de mevcut OSB'lerin bölgelere göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Türkiye'de mevcut OSB'lerin bölgelere göre dağılımı [1]*

Bölgeler	OSB Sayısı	Yüzde (%)
Akdeniz Bölgesi	27	8,68
Doğu Anadolu Bölgesi	22	7,07
Ege Bölgesi	49	15,76
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2	7,07
İç Anadolu Bölgesi	51	16,40
Karadeniz Bölgesi	53	17,04
Marmara Bölgesi	87	27,97

Ülke genelinde OSB'lerin bölgesel dağılımına göre en yüksek sayı (87) Marmara Bölgesi'ndedir. Bu sayı Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki OSB sayısının toplamından bile fazladır. Geri kalan üç bölgemizdeki (Ege, İç Anadolu, Karadeniz) OSB sayıları hemen hemen birbiri ile aynıdır.
Ülke genelinde OSB'lerin illere göre dağılımı Şekil 2'de verilmektedir [1].



Şekil 2. *OSB'lerin illere göre dağılımı*

Ülke genelinde 18 OSB ile en fazla OSB'ye sahip olan Bursa'yı 14 OSB ile Kocaeli takip etmektedir. Tekirdağ ve İzmir'de 13 adet OSB, Ankara'da ise 12 adet OSB bulunmaktadır. OSB'si bulunmayan tek ilimiz Hakkari'dir.
Organize Sanayi Bölgeleri Yönetmeliği'ne göre Türkiye'de OSB'ler beş ayrı statüde bulunmaktadır [2];

- Farklı sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin yer aldığı KARMA OSB,
- Aynı sektör grubunda ve bu sektör grubuna dahil alt sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin yer aldığı İHTİSAS OSB,
- Gerçek kişiler veya Tüzel kişilerce kendi mülkleri üzerine kuracakları ÖZEL OSB,
- Tarım sektöründe faaliyet göstermek amacı ile kurulan ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren TARIMA DAYALI İHTİSAS OSB (TDİ),
- Uzun yıllar önce çeşitli sebeplerle bir arada oluşarak faaliyet gösteren sanayi tesislerinin bulunduğu alanın OSB'ye dönüştürülmesi amacıyla kurulan ISLAH OSB'ler

Ülke genelinde bulunan OSB'lerden alan büyüklüklerine göre sıralandığında ilk 5'te yer alan OSB'ler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Kapladığı alana göre ilk beşte yer alan OSB'ler [6]*

OSB Adı	Alan(ha)
Gaziantep OSB	4300
Eskişehir OSB	3050
Konya OSB	3000
Kayseri OSB	2400
Bursa Deri İhtisas OSB	1770

Türkiye genelinde OSB'lerde faaliyet gösteren firma sayısı 50.000'e yakındır. Ülke genelinde bulunan OSB'lerden işletme sayılarına göre sıralandığında ilk 5'te yer alan OSB'ler ve işletme sayıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. *İşletme sayısına göre ilk beşte yer alan OSB'ler [6]*

OSB Adı	Adet
İstanbul İkitelli OSB	22416
Ankara İvedik OSB	6980
Ankara OSTİM OSB	5000
İstanbul Dudullu OSB	2640
Kayseri OSB	970

Türkiye genelinde OSB'lerde istihdam edilen toplam nüfus yaklaşık olarak 1,7 milyon'dur. Ülke genelinde bulunan OSB'lerden istihdam sayısına göre sıralandığında ilk 5'te yer alan OSB'ler ve istihdamları Tablo 4'te verilmiştir.

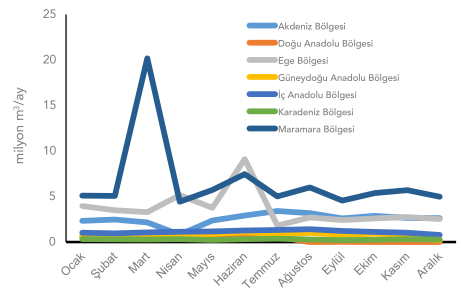
Tablo 4. *İstihdam sayılarına göre ilk beşte yer alan OSB'ler [6]*

OSB Adı	İstihdam(kişi)
İstanbul İkitelli OSB	250.000
Gaziantep OSB	120.000
Ankara İvedik OSB	107.000
Kayseri OSB	60.000
Tekirdağ Çerkezköy OSB	60.000



ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU

Türkiye'de 2016 yılında coğrafi bölgeler bazında OSB'lerin su kullanım miktarları incelendiğinde suyun en fazla tüketildiği bölge, aynı zamanda en çok OSB sayısına sahip olan Marmara Bölgesi'dir. Marmara bölgesini sırasıyla; Ege, Akdeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri izlemektedir. 2016 yılında OSB'lerin bölgelere göre yıllık su kullanım miktarları Tablo 5'te, coğrafi bölgelere göre aylık su kullanımlarının dağılımı ise Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3. *2016 yılında coğrafi bölgelere göre aylık su kullanımlarının dağılımı [1]*

Ülke genelinde OSB'lerin 2015 ve 2016 yılında yapmış oldukları çevresel harcamalar ise Tablo 6'da verilmiştir. Ülkemizdeki OSB'lerde 2012, 2014 ve 2016 yıllları için su ve atıksu göstergeleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. *2016 yılında bölgelere göre OSB'lerin su kullanım miktarları [1]*

Coğrafi Bölge	2016 yılı OSB Su Kullanım (m^3)
Akdeniz Bölgesi	30.439.814
Doğu Anadolu Bölgesi	4.194.764
Ege Bölgesi	43.645.719
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	9.495.406
İç Anadolu Bölgesi	13.547.970
Karadeniz Bölgesi	3.556.419
Marmara Bölgesi	79.669.181
Toplam	**184.549. 273**

Tablo 6. *2015 ve 2016 yılında OSB'lerin çevresel harcamaları [7]*

OSB'lerin Çevresel Harcamaları	2015 (milyon TL)	2016 (milyon TL)
Toplam Çevresel Harcama	376,5	481,7
Su hizmetleri harcamaları	105,4	136,8
Atıksu yönetimi harcamaları	222,1	300,2
Atık yönetimi harcamaları	39,2	35,1
Diğer çevresel harcamalar	9,9	9,5

Tablo 7. *OSB'lerde yıllara göre su ve atıksu göstergeleri [7]*

Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu Göstergeleri, 2012 - 2016			
	2012	**2014**	**2016**
Faal OSB Sayısı	181	196	217
Su Şebekesi			
Kendine ait su şebekesi olan	129	157	170
Belediyenin su şebekesinden faydalanan	26	15	22
Su şebekesi olmayan OSB sayısı	26	24	25
Kanalizasyon şebekesi			
Kendine ait kanalizasyon şebekesi olan	136	162	179
Belediyenin kanalizasyon şebekesinden faydalanan	21	12	10
Kanalizasyon şebekesi olmayan OSB sayısı	24	22	28
OSB su şebekesine çekilen su miktarı (bin m^3)	138.494	167.592	175.377
Kuyu	60.868	76.218	84.627
Kaynak	24.473	26.752	20.098
Şehir Şebekesi	18.191	22.706	25.018
Baraj, göl, gölet ve akarsu	34.955	41.915	45.635
OSB kanalizasyon şebekesi ile deşarj edilen atıksu (bin m^3) miktarı	234 679	253.967	262.815
Akarsu	169.711	185.018	190.553
Arıtılarak	159.240	179.289	182.776
Arıtılmadan	10.471	5.728	7.777
Şehir Kanalizasyonu	25.555	23.115	31.408
Arıtılarak	22.873	9.307	10.612
Arıtılmadan	2.682	13.808	20.796
Kuru Dere Yatağı	15.959	16.291	19.711
Arıtılarak	15.553	15.991	19.555
Arıtılmadan	406	300	156
Diğer Alıcı Ortam	23.454	29.543	21.144
Arıtılarak	14.514	15.960	16.084
Arıtılmadan	8.940	13.583	5.059

TÜİK 2012,2014 ve 2016 yılı verileri incelendiğinde; OSB ler tarafından çekilen su miktarı yaklaşık sırası ile 138, 167, 175 milyon m^3 iken, OSB'ler tarafından deşarj edilen atıksu miktarları ise yaklaşık olarak sırası ile 234, 254, ve 263 milyon m^3'dür. OSB'ler tarafından deşarj edilen atıksuyun çekilen sudan daha fazla olması, OSB'ler tarafından kuyulardan, baraj, göl, gölet ve akarsulardan çekilen suyun beyan edilenden daha fazla olabileceğini göstermektedir.TÜİK 2016 yılı verilerine göre ise su şebekesi ile dağıtılmak üzere çekilen 175 milyon m^3 suyun %48,2'si kuyudan, %11,5'i kaynaklardan, %14,3'ü şehir şebekesinden, %26'sı ise baraj, gölet ve akarsulardan temin edilmiştir. OSB kanalizasyon şebekelerinden 2016 yılında toplam 262,8 milyon m^3 atıksu deşarj edilmiştir. Atıksuyun %72,5'i akarsuya, %12'si kanalizasyona, %7,5'i kuru dere yatağına, %8'i ise diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. 2016 yılında, ülke genelinde OSB'ler tarafından deşarj edilen 263 milyon m^3 atıksuyun 229 milyon m^3 arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Dolayısı ile, atıksuların artılma oranı %87 olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılı için mevcut 91 adet atıksu arıtma tesisinin kapasitesi ise 384 milyon m^3 olarak bildirilmiştir. 2017 yılında ise; 311 OSB'de mevcut olan 98 AAT'nin toplam kapasitesi 474 milyon m^3/yıl ve mevcut arıtılan atıksu debisi ise 331 milyon m^3/yıl olarak belirlenmiştir. 98 AAT'de arıtılan debinin tesis başına ortalaması ise 9.650 m^3/gün'dür. 2017 yılında, 2.000 m^3/gün üzerinde atıksu arıtılan OSB sayısı ise 41'dir ve Tablo 8'de bu tesislere ait bilgileri verilmektedir.

Tablo 8. *2.000 m^3/gün üzerinde atıksu arıtılan OSB'leri (2017 yılı)*

OSB Bilgileri			Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri				
İli	OSB Adı	Havzası	AAT Kapasitesi (m^3/gün)	Atıksu Debisi (m^3/gün)	AATdebi/ kapasite oranı (%)	Deşarj Yeri	Arıtma Prosesi
Adana	Adana H.Sabancı OSB	Seyhan	72.000	34.000	47,2	Ceyhan Nehri	Kim.+Bio.
Adıyaman	Adıyaman OSB	Fırat Dicle	6.000	5.000	83,3	Eğri Çayı	Biyolojik
Aksaray	Aksaray OSB	Konya Kapalı	1.500	7.500	500,0	Alıcı Ortam	Kim.+Bio.
Aydın	Aydın Ortaklar OSB	Büyük Menderes	2.000	2.000	100,0	Hayıtlı Deresi	Kim.+Bio.
Balıkesir	Balıkesir	Susurluk	3.300	2.800	84,8	Derin Deniz Deşarjı	
Bilecik	Bilecik 1. OSB	Sakarya	5.500	2.000	36,4	Kuru Dere Yatağı	Kim.+Bio.
Bolu	Bolu Gerede Deri İhtisas OSB	Batı Karadeniz	4.000	3.500	87,5	Alıcı Ortam	Kim.+Bio.
Bursa	Bursa OSB	Susurluk	40.000	40.000	100,0	Yirim Deresi	Kim.+Bio.
Bursa	Bursa İnegöl OSB	Sakarya	130.000	100.000	76,9	Dil Deresi	İleri Arıt.
Bursa	Bursa Demirtaş OSB	Susurluk	70.000	60.000	85,7	Saz Deresi	Kim.+Bio.
Bursa	Bursa Uludağ (Gürsu) OSB	Susurluk	150.000	85.000	56,7	Porsuk Deres	Bio. Arıt.
Bursa	Bursa Deri İhtisas OSB	Susurluk	8.000	3.500	43,8	Hayıtlı Deresi	Kim.+Bio.
Denizli	Denizli OSB	Büyük Menderes	42.000	40.000	95,2	Taşkın Kanalı	Kim.+Bio.
Eskişehir	Eskişehir Sanayi Odası OSB	Sakarya	18.000	15.500	86,1	Derin Deniz Deşarjı	Kim.+Bio.
Gaziantep	Gaziantep OSB	Fırat Dicle	90.000	55.000	61,1		Kim.+Bio.
Hatay	Hatay İskenderun OSB	Asi	10.000	3.500	35,0	Dokuzsele Deresi	Kim. Arıt.
Isparta	Isparta (S.Demirel) OSB	Burdur Gölü	8.000	2.900	36,3		Kim.+Bio.
İzmir	İzmir Atatürk OSB	Gediz	21.000	9.000	42,9	Kuru dere yatağı	Kim.+Bio.
İzmir	İzmir Kemalpaşa OSB	Gediz	20.000	10.000	50,0	Nif Çayı	Kim.+Bio.
Kayseri	Kayseri OSB	Kızılırmak	40.000	30.000	75,0	Vanvanlı Deresi	Kim.+Bio.
Kocaeli	Gebze OSB	Marmara	6.400	5.000	78,1	Alıcı Ortam	Kim.+Bio.

OSB Bilgileri			Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri				
İli	OSB Adı	Havzası	AAT Kapasitesi (m^3/gün)	Atıksu Debisi (m^3/gün)	AATdebi/ kapasite oranı (%)	Deşarj Yeri	Arıtma Prosesi
Kocaeli	Kocaeli Asım Kibar OSB	Marmara	4.000	2.750	68,8	Yirim Deresi	Kim.+Bio.
Kocaeli	Kocaeli Dilovası OSB	Marmara	10.572	8.000	75,7	Dil Deresi	Kim.+Bio.
Kocaeli	Kocaeli Gebze (TOSB - Otomotiv Yan Sanayi) OSB	Marmara	4.400	2.000	45,5	Saz Deresi	Kim.+Bio.
Konya	Konya OSB	Konya Kapalı	10.000	6.500	65,0	DSİ Tahliye Kanalı	Kim.+Bio.
Kütahya	Kütahya OSB	Sakarya	5.000	3.500	70,0	Porsuk Deresi	Bio. Arıt.
Malatya	Malatya I. OSB	Fırat Dicle	24.000	36.000	150,0	Karakaya Barajı	Kim.+Bio.
Malatya	Malatya II. OSB	Fırat Dicle	24.000	24.000	100,0	Şahnahan Deresi	Kim.+Bio.
Manisa	Manisa OSB	Gediz	21.000	20.586	98,0	Karaçay	Kim.+Bio.
Manisa	Manisa Salihli OSB	Gediz	8.000	5.695	71,2	Hayıtlı Deresi	Kim.+Bio.
Mersin	Mersin Tarsus OSB	Doğu Akdeniz	3.000	2.500	83,3	D7-2 Drenaj Kanalı	Kim.+Bio.
Osmaniye	Osmaniye OSB	Ceyhan	3.600	2.600	72,2	Erzin Sulama Kanalı	Kim.+Bio.
Samsun	Samsun Merkez OSB	Yeşilırmak	2.000	2.000	100,0	Hıdrellez Kanalı	Kim.+Bio.
Şanlıurfa	Şanlıurfa OSB	Fırat Dicle	4.000	3.000	75,0	Dana Deresi	Kim.+Bio.
Tekirdağ	Tekirdağ Çerkezköy OSB	Ergene	80.000	76.000	95,0	Çorlu Deresi	İleri Arıt.
Tekirdağ	Tekirdağ Ergene 2 OSB	Ergene	90.000	90.000	100,0	Derin Deniz Deşarjı	İleri Arıt.
Tekirdağ	Tekirdağ Çorlu 1 Türkgücü OSB	Ergene	30.000	15.000	50,0		
Tekirdağ	Tekirdağ Çorlu Deri İhtisas ve Karma OSB	Ergene	36.000	10.000	27,8	Çorlu Deresi	Kim.+Bio.
Uşak	Uşak OSB	Gediz	12.000	9.000	75,0	Celep Deresi Gediz Nehri	Kim.+Bio.
Uşak	Uşak Deri(Karma) OSB	Büyük Menderes	40.000	29.000	72,5	Dokuzsele Deresi	Kim.+Bio.
Yalova	Yalova Kompozit ve Kimya İhtisas Islah OSB	Marmara	15.000	9.150	61,0		

Mevcut OSB'lerdeki atıksu arıtma tesisleri proses bazında değerlendirdiğinde fiziksel arıtma sonrası kimyasal arıtma ve ardından biyolojik arıtma proseslerinin uygulandığı görülmektedir. Tesisler; ızgara, kum ve yağ tutucu, dengeleme havuzu, koagülasyon/flokülasyon, ön çökeltme, havalandırma havuzu, son çökeltme proseslerinden oluşmaktadır. Çamur hattında ise, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma (dekantör, belt filtre) üniteleri yer almaktadır.

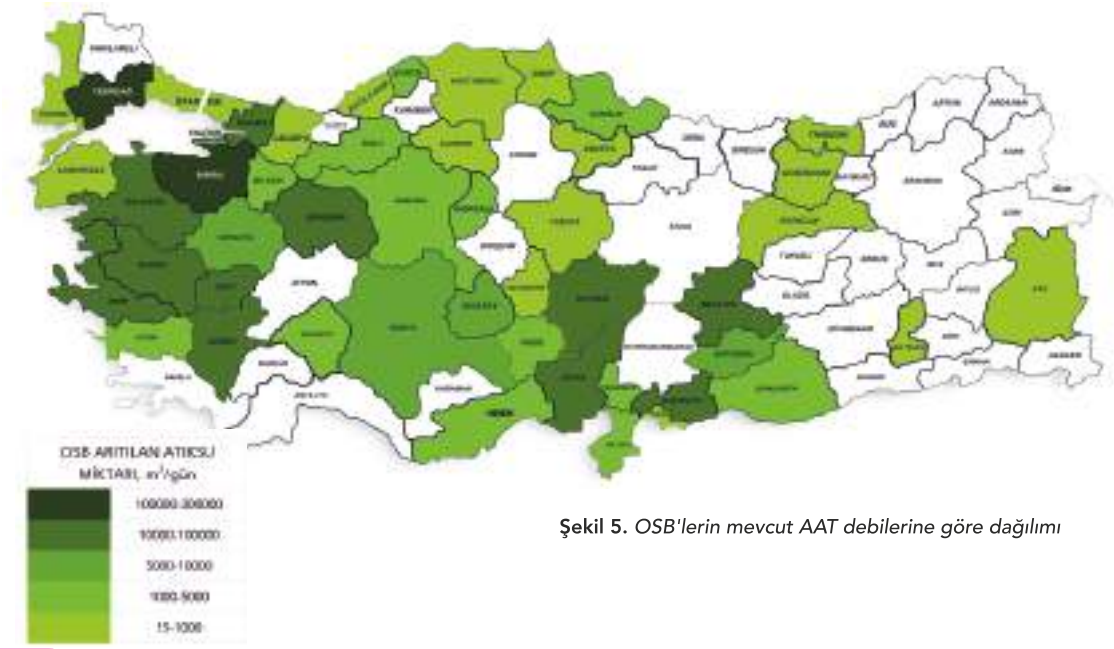
Tesislerden bazılarında, biyolojik fosfor giderimi için Bio-P havuzu ve azot giderimi için nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesleri mevcuttur.

2017 yılı için en yüksek miktarda atıksu arıtımı kapasitesine sahip OSB'ler ise; Bursa Uludağ (Gürsu), Bursa İnegöl, Gaziantep, Tekirdağ Ergene 2, Tekirdağ Çerkezköy, Adana H.Sabancı olmak üzere sırasıyla 150 bin, 130 bin, 90 bin, 80 bin, 72 bin m^3/gün'dür. Şekil 4'te OSB'lerin atıksu arıtım kapasitelerine göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 4. *OSB'lerin AAT kapasitelerine göre dağılımı*

2017 yılı için en yüksek miktarda atıksu arıtımı gerçekleştirilen OSB'ler ise; Bursa İnegöl, Tekirdağ Ergene 2, Bursa Uludağ (Gürsu), Tekirdağ Çerkezköy, Bursa Demirtaş, Gaziantep olmak üzere sırasıyla 100 bin, 90 bin, 85 bin, 76 bin, 60 bin ve 55 bin m^3/gün'dür. Şekil 5'te OSB'lerin mevcut atıksu arıtma debilerine göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 5. *OSB'lerin mevcut AAT debilerine göre dağılımı*

Proje kapsamında incelenen OSB AAT'lerinin değerlendirilmesi;

Bozüyük Organize Sanayi Bölgesi AAT

Bozüyük OSB'de faaliyet gösteren firmalar arasında; ağaç ve ağaç ürünleri, cam ve mobilya imalatı sektörel dağılımın büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bozüyük OSB'de kullanılan sular kuyulardan temin edilmektedir. OSB'ye ait 4060 m^3/gün kapasiteli, firmalara ait 1209 m^3/gün kapasiteli kuyular mevcuttur. Sanayi bölgesinde günlük su kullanımı 1000-1200 m^3'dür, kullanılan bu suyun yaklaşık olarak 600 m^3'ü üretimde proses suyu olarak kullanılmaktadır.

Bozüyük OSB AAT'si biyolojik arıtma (AKR) prosesine göre, 1. kademede 1000 m^3/gün 2. kademede 2000 m^3/gün debiye göre tasarlanmıştır. Arıtma tesisine gelen mevcut ortalama debi 400 m^3/gün'dür. Bozüyük OSB AAT'nin akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.







Şekil 6. *Bozüyük OSB AAT akım şeması*

Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi AAT

Çerkezköy OSB'de sektörel dağılım olarak; %32'si tekstil ürünleri, %15'i kauçuk ve plastik imalatında faaliyet göstermektedir. Çerkezköy OSB'de bulunan tesislerin %60-70'i su ihtiyaçlarını kuyulardan temin etmektedir. Ergene havzasında yeni kuyu açılması yasak olduğu için, OSB yönetimi 2016 yılında su tüketimi yüksek olan firmaları OSB'ye kabul etmeme kararı almıştır. OSB yönetimi kendi ruhsatlı kuyularıyla suyu temin edip, firmalara 1 TL/m^3 üzerinden satış yapmakta, 0,50 TL/m^3'ünü de atıksu bedeli olarak yansıtmaktadır. Eğer firmalar suyu kendi kuyularından temin etmek isterse de 0,07 TL/m^3 üzerinden OSB yönetimine ödeme yapmaktadır.

Çerkezköy OSB AAT'si 1. kademede 40.000 m^3/gün, 2. kademede 40.000 m^3/gün olmak üzere 80.000 m^3/gün debiyi arıtacak şekilde kimyasal + biyolojik arıtma prosesine göre tasarlanmış olup tesise gelen mevcut debi 76.000 m^3/gündür. Tesise gelen atıksuyun %85'i tekstil sektöründen kaynaklanmaktadır. Çerkezköy OSB AAT'nin akım şeması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. *Çerkezköy OSB AAT akım şeması*

Denizli Organize Sanayi Bölgesi AAT

Denizli OSB'de faaliyet gösteren 184 firmadan 111'i tekstil sektöründe üretim yapmaktadır. Denizli OSB'de 2016 yılında proses ve kullanma suyu tüketimi 15,7 milyon m^3 iken içme suyu tüketimi 300 bin m^3'tür. Denizli OSB'nin kullanma suyu 7 km mesafede bulunan Kızılyer-Kocabaş arasında bulunan havzadaki kaptajlardan alınıp, depolanarak sanayide bulunan firmalara verilmektedir. Ham suyun iletkenlik değeri 8.000-15.000 µS/cm arasında değişmekte iken, sertlik değeri ise 150 Fransız sertliğidir. Sanayiye temin edilen suyun sertlik ve iletkenlik değerleri çok yüksek olduğu için, sanayideki işletmeler suyu kendi su hazırlama ünitelerinde (membran prosesler) arıttıktan sonra proseste kullanmaktadırlar. Su hazırlama ünitelerinin ortalama birim maliyeti 0,60 TL/m^3 olduğu kabul edilirse, sanayide ki işletmelerin kullandıkları suyun birim maliyetleri 0,85 TL/m^3 - 1 TL/m^3 arasında değişmektedir.

Denizli OSB AAT'si 42.000 m^3/gün kapasiteye göre kimyasal + biyolojik arıtma olarak projelendirilmiş olup tesise gelen mevcut debi ortalama 40.000 m^3/gün'dür. Denizli OSB AAT'sinde 2016 yılında 14,3 milyon m^3 atıksu arıtılmıştır. Denizli OSB AAT'nin akım şeması Şekil 8'de verilmiştir.







Şekil 8. *Denizli OSB AAT akım şeması*

Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi AAT

Organize Sanayi Bölgesi 42 milyon m^2 alan üzerindeki 5 adet sanayi bölgesinden oluşmaktadır. Gaziantep OSB'de tekstil sektöründe faaliyet gösteren firmalar %48'lik kısmı oluşturmaktadır.

Gaziantep OSB'de su kullanım miktarı 23.000 m^3/gün'dür. Kartalkaya Barajından temin edilen su işletmelere yaklaşık 3,35 TL/m^3 bedel ile verilmektedir. Gaziantep OSB AAT'si 2003 yılında kimyasal+biyolojik arıtma prosesine göre projelendirilmiş olup; 30.000 m^3/gün kapasiteye göre 1. kademesi, 2009 yılında ise 60.000 m^3/gün kapasiteli 2. kademesi işletmeye alınarak toplam kapasite 90.000 m^3/gün'e çıkarılmıştır. Tesise şu anda gelen mevcut debi 60.000 m^3/gün'dür, bu debinin yaklaşık olarak 15.000 m^3/gün'ü organize dışından (yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel atıksu) gelmektedir. Atıksu arıtma tesisinin birim arıtma maliyeti 0,43 TL/m^3'dür. Gaziantep OSB AAT'nin akım şeması Şekil 9'da verilmiştir.







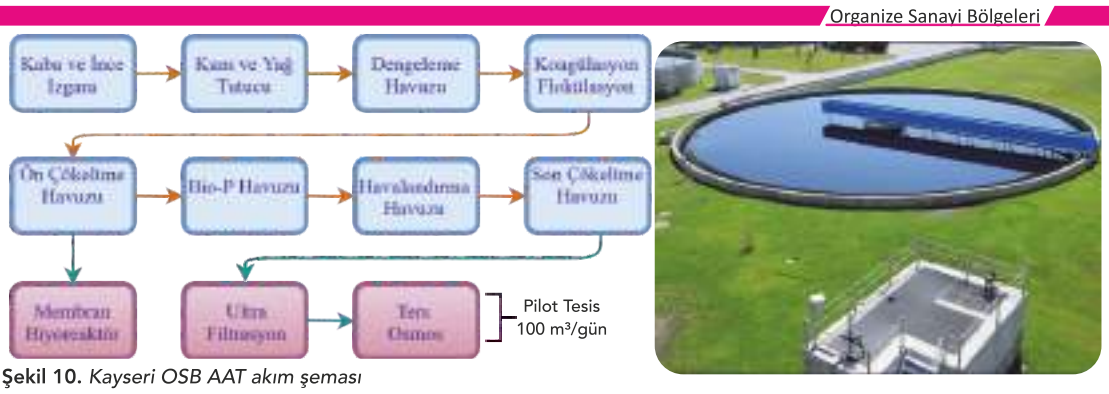
Şekil 9. *Gaziantep OSB AAT akım şeması*

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi AAT

Kayseri OSB'de faaliyet gösteren fabrikaların %25'i metal sanayi, %24'ü mobilya ve ahşap sektöründe faaliyet göstermektedir.

Kayseri OSB'de su birim fiyatı olarak 1,1 TL/m^3 alınmaktadır, bu fiyatın 0,4 TL/m^3'ü atıksu arıtma bedeli olarak yansıtılmaktadır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi mesken için 3,16 TL/m^3, sulama amaçlı kullanım için, 2,12 TL/m^3 ve ticarethane/sanayi için 6,33 TL/m^3 fiyatlandırma yapmaktadır.

Proje debisi 60.000 m^3/gün olan atıksu arıtma tesisinin 1. kademede 40.000 m^3/gün'lük kısmı yapılarak devreye alınmıştır. Tesis uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi olarak tasarlanmış olup tesise gelen mevcut debi 30.000 m^3/gün'dür. Arıtma tesisinin birim işletme maliyeti 0,23 TL/m^3'dür. Aryıca Kayseri OSB'de Erciyes Üniversitesi Çevre Sorunları ve Temiz Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (ERÇEVREM) ve Kayseri OSB tarafından birlikte yürütülen TÜBİTAK 1003 projesi olan "Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Yeniden Kullanımı için Membranlı Arıtma Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırılması" projesi kapsamında 100 m^3/gün'lük pilot tesis kurulmuştur. Kayseri OSB AAT'nin akım şeması Şekil 10'da verilmiştir.

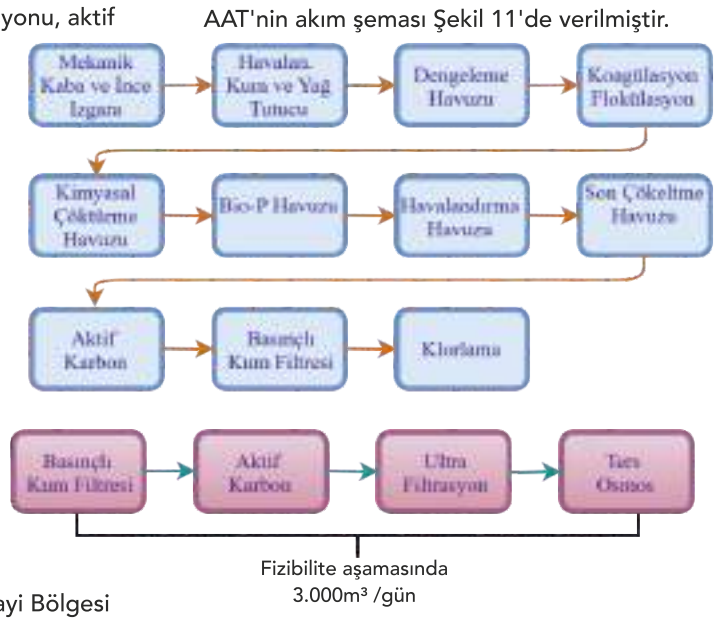


Şekil 10. *Kayseri OSB AAT akım şeması*

Konya Organize Sanayi Bölgesi AAT

Konya OSB'de faaliyet gösteren işletmelerin, %18'i otomotiv yedek parça, %12'si metal %11'i makine imalatı sektöründe faaliyet göstermektedir. OSB'nin su ihtiyacı kuyulardan temin edilmektedir. Kuyulardan temin edilen su, su hazırlama prosesleri (kum filtrasyonu, aktif karbon filtre, ters osmoz, nano filtrasyon) ile arıtıldıktan sonra sanayiciye verilmektedir. OSB su ihtiyacı ortalama 10.000 m^3/gün'dür.

Konya OSB su satış birim fiyatı, 2,60 TL/m^3 iken, bu birim fiyata atıksu bedeli de dahildir, atıksu bedeli ise 0,43 TL/m^3'dür. Atıksu arıtma tesisi kimyasal + biyolojik arıtma prosesine göre 3.500 m^3/gün + 3.500 m^3/gün olmak üzere toplam 7.000 m^3/gün debiye göre iki hat şeklinde inşa edilmiştir. Atıksu arıtma tesisine gelen mevcut debi 6.000 m^3/gün'dür. "Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulanmasında Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında yapılması planlanan 3000 m^3/gün kapasiteye sahip tesisin fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Konya OSB AAT'nin akım şeması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. *Konya OSB AAT akım şeması*





Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi AAT

Asım Kibar OSB içerisinde üretim yapan 6 adet firma bulunmaktadır. Bu firmalardan 2 tanesi Güney Kore menşeili firmalar olup, diğer 3 firma ise Güney Kore–Türk ortaklığı ile faaliyetlerini yürütmektedir. Asım Kibar OSB AAT'si 6.000 m^3/gün inşaat, 4.000 m^3/gün mekanik ekipman kapasitesine göre projelendirilerek, 2015 yılında işletmeye alınmıştır. Atıksuyun kirlilik parametrelerine göre tesis, 2 farklı şekilde çalışabilmektedir. Atıksuyun kirlilik değerlerinin yüksek gelmesi durumunda, kimyasal arıtma ve sonrasında biyolojik arıtma yapılmakta, kirlilik parametrelerinin düşük olması durumunda ise sadece biyolojik arıtma yapılarak ilgili yönetmelik deşarj değerleri sağlanmaktadır. Tesiste biyolojik arıtma MBBR (Hareketli Yatak Biyofilm Reaktör) prosesi olarak inşa edilmiştir. MBBR prosesleri, biyofilm taşıyıcı plastik malzeme ile havalandırma havuzlarının belli doluluk oranlarında doldurulduğu, bağlı büyüme süreçlerinin gerçekleştiği, yüksek MLSS değerlerinde işletilebilen ve hidrolik, organik ve toksik şok yüklemelere süspanse büyüme proseslerine kıyasla daha dirençli olan prosesdir.

Mevcut AAT çıkış suyunun yeniden kullanılabilmesi için 3000 m^3/gün kapasiteli bir ileri arıtma prosesi inşaası devam etmektedir. Asım Kibar OSB AAT'nin akım şeması Şekil 12'de verilmiştir.





Şekil 12. *Asım Kibar OSB AAT akım şeması*



ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI

Ülkemizdeki OSB'leri özellikle 1995 yılından sonra hızlı bir artış göstermiştir. 2018 yılında, mevcut 311 OSB'den 98'inde atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır.

Ülke genelinde 2016 yılında, OSB'ler tarafından deşarj edilen 263 milyon m^3 atıksuyun 229 milyon m^3 arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Dolayısı ile, atıksuların arıtılma oranı %87 olarak gerçekleşmiştir.
2016 yılı için mevcut 91 adet atıksu arıtma tesisinin kapasitesi ise 384 milyon m^3 olarak bildirilmiştir.

2017 yılında ise; 311 OSB'de mevcut olan 98 AAT'nin toplam kapasitesi 474 milyon m^3/yıl ve mevcut arıtılan atıksu debisi ise 331 milyon m^3/yıl olarak belirlenmiştir. 2000 m^3/gün üzerinde atıksu arıtılan OSB sayısı ise 41'dir. 98 AAT'de arıtılan debinin tesis başına ortalaması ise 9650 m^3/gün'dür.
2017 yılı için en yüksek miktarda atıksu arıtımı gerçekleştirilen OSB'ler ise; Bursa İnegöl, Tekirdağ Ergene 2, Bursa Uludağ (Gürsu), Tekirdağ Çerkezköy, Bursa Demirtaş, Gaziantep olmak üzere sırasıyla 100 bin, 90 bin, 85 bin, 76 bin, 60 bin ve 55 bin m^3/gün'dür.
Mevcut OSB'lerindeki atıksu arıtma tesisleri ızgara, kum ve yağ tutucu, dengeleme havuzu, kimyasal arıtma, ön çökeltme, havalandırma havuzu, son çökeltme proseslerinden oluşmaktadır.

Tesislerden bazılarında, biyolojik fosfor giderimi için Bio-P havuzu ve azot giderimi için nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesleri de mevcuttur.

Ergene Havzası Koruma Eylem Planı çerçevesinde, Ergene Havzasının Tekirdağ ilindeki 9 adet organize sanayi bölgesinde oluşan atıksuların, arıtıldıktan sonra kanal ve tüneller aracılılığı ile toplanarak Marmara Denizinin 4,5 km açığında 47 metre derinliğe deşarj etme projesi kapsamında belirlenen organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. *Proje kapsamında Marmara Denizine deşarj edilecek OSB AAT'leri*

İl	Organize Sanayi Bölgesi	Kapasite (m^3/gün)
Tekirdağ	Ergene 1 OSB AAT	60.000
Tekirdağ	Ergene 2 OSB AAT	90.000
Tekirdağ	Çerkezköy OSB AAT	80.000
Tekirdağ	Çorlu DerKarma OSB AAT	36.000
Tekirdağ	Çorlu 1 Türkgücü OSB AAT	30.000
Tekirdağ	Velimeşe Grubu (Velimeşe, Veliköy, Karaağaç ve Yalıboyu OSB Ortak AAT)	150.000

Ergene Havzası Koruma Eylem Planı çerçevesinde Tablo 12'de verilen OSB atıksuları derin deniz deşarjı ile Marmara Denizine verileceğinden bu arıtılmış atıksuların Tekirdağ ilinde farklı amaçlar için yeniden kullanımı söz konusu değildir.
"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında, ülkemizde bulunan OSB'ler arasından belirlenen 6 farklı OSB'de Haziran 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında proje ekibinin incelemeleri doğrultusunda akredite bir laboratuvar tarafından atıksu analizleri yapılmıştır. OSB AAT'leri için tesis giriş ve çıkışından SKKY'da tanımlı özel sektör tablosu na ilave olarak AATTUT Sulama suyu kriterleri, kazan ve kule soğutma suyu parametreleri dikkate alınarak analizler yapışmıştır. Tesislerin analiz sonuçları Tablo 10 ve 11'de verilmektedir.

Tablo 10. *Proje kapsamında incelenen OSB AAT'lerinin analiz sonuçları**

Parametre	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune Sınır Değer SKKY Tablo 19	BOZÜYÜK		ÇERKEZKÖY		DENİZLİ	
			AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)	AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)	AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	400	67	27	645	120	602	63
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	200	< 20	< 5	75	< 5	40	< 5
Yağ ve Gres	mg/L	20	< 10	< 10	23	< 10	18	< 10
Toplam Fosfor	mg/L	2	2,94	< 1,93	5,0	0,3	1,68	0,68
Toplam Krom	mg/L	2	< 0,017	< 0,01	0,03	0,01	< 0,016	< 0,01
Kurşun (Pb)	mg/L	2	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,1	< 0,004	< 0,004	< 0,006	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Demir (Fe)	mg/L	10	0,12	< 0,019	0,38	0,4	0,22	0,06
Bakır (Cu)	mg/L	3	< 0,015	< 0,01	0,07	0,023	0,06	0,03
Çinko (Zn)	mg/L	5	0,077	0,028	0,25	0,07	0,05	< 0,61
Civa (Hg)	mg/L	-	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001
Sülfat (SO4)	mg/L	1500	136	81	108	113	242	150
Toplam Kjeldahl-Azotu (TKN)	mg/L	20	14	10	31	10,55	27	15
pH	-	6-9	7,95	8,09	9,75	8,42	9,5	7,6
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L			10		38		22
İletkenlik	µs/cm			1032		6267		5023
Ca Sertliği	mg/L			162		150		463
Mg Sertliği	mg/L			76		100		309
Silisyum	mg/L			30		22		13
Alkalinite	mg/L			330		401		404
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L			605		3267		3659
Bulanıklık	NTU			3		8		4

KOİ parametresi açısından, ham atıksudaki KOİ konsantrasyonu en düşük 67 mg/L değeri ile Bozüyük OSB ve en yüksek 1018 mg/L değeri ile Gaziantep OSB'dir. Çıkış suyunda en düşük KOİ değeri 27 mg/L değeri ile Bozüyük OSB de görülürken en yüksek çıkış suyu KOİ değeri 120 mg/L olarak Çerkezköy OSB'de belirlenmiştir. İncelenen 6 OSB'nin ham atıksularındaki ortalama KOİ değeri 565 mg/L ve çıkış suyundaki ortalama KOİ değeri 60 mg/L'dir. SKKY Tablo 19'a göre 2 saatlik kompozit numunede alıcı ortama deşarj standardı 400 mg/L verilmiştir. Buna göre incelenen 6 OSB'de KOİ değeri deşarj standardı olan 400 mg/L değerini sağlamaktadır.
AKM parametresi açıcından; Konya OSB hariç olmak üzere tüm OSB'lerde atıksudaki düşük AKM değeri (<20-82 mg/L) dikkat çekmektedir. Konya OSB'de ise ortalama 296 mg/L AKM değeri tespit edilmiştir. 6 OSB'nin ham atıksu ortalama AKM konsantrasyonu ise 91 mg/L'dir. AKM parametresi açısından incelenen OSB'lerde

Tablo 11. *Proje kapsamında incelenen OSB AAT'lerinin analiz sonuçları (devamı)*

Parametre	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune Sınır Değer SKKY Tablo 19	GAZİANTEP		KAYSERİ		KONYA	
			AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)	AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)	AAT GİRİŞ (ORT.)	AAT ÇIKIŞ (ORT.)
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	400	1018	65	599	44	461	39
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	200	82	< 5	32	< 5	296	< 5
Yağ ve Gres	mg/L	20	44	< 17,26	< 25	< 10	36	< 10
Toplam Fosfor	mg/L	2	17	2	1,84	0,345	7	1
Toplam Krom	mg/L	2	< 0,021	< 0,012	0,334	< 0,048	0,03	< 0,01
Kurşun (Pb)	mg/L	2	< 0,01	< 0,027	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,1	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,0046	< 0,004	< 0,004
Demir (Fe)	mg/L	10	0,9	0,7	1,2	0,1	24	0,3
Bakır (Cu)	mg/L	3	0,07	0,04	0,09	0,03	0,02	< 0,01
Çinko (Zn)	mg/L	5	0,23	0,04	0,09	0,10	0,18	0,04
Civa (Hg)	mg/L	-	< 0,004	< 0,002	0,01	< 0,001	0,09	< 0,001
Sülfat (SO4)	mg/L	1500	21	78	71	79	147	146,03
Toplam Kjeldahl-Azotu (TKN)	mg/L	20	46	< 4,18	14	< 3,62	22	<3
pH	-	6-9	7,02	8,09	7,37	7,82	6,98	7,73
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L			21		12		7
İletkenlik	µs/cm			2987		2800		5303
Ca Sertliği	mg/L			221		424		1072
Mg Sertliği	mg/L			147		283		725
Silisyum	mg/L			10		15,43		2
Alkalinite	mg/L			208		261		400
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L			1371		1454		3077
Sodyum	mg/L			25				
Bulanıklık	NTU					9		3

*Haziran 2017 - Ekim 2017 tarihleri arasında 6 farklı tesisten farklı tarihlerde 3 tekrar olarak alınan atıksu numunelerinin ortalama değerleridir.

ham atıksu AKM konsantrasyonu evsel/kentsel ham atıksu ortalama değeri olan 220 mg/L değerinin çok altındadır.
Çıkış suyunda AKM konsantrasyonu ise tüm OSB'lerde <5 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu da mevcut AAT'nin AKM gideriminde etkili olduğunu ve çıkış suyunun AKM açısından yeniden kullanıma uygun olabileceğini göstermektedir.
Gaziantep ve Konya OSB'de ham atıksuda yağ-gres parametresi ortalama 44 ve 36 mg/L olarak diğer OSB'lere kıyasla yüksektir. Tüm OSB'lerin ham atıksuyunda ortalama yağ-gres değeri 26 mg/L'dir. Gaziantep OSB hariç diğer tüm OSB'lerin çıkış suyunda <10 mg/L yağ-gres değeri sağlanmıştır. SKKY de verilen <20 mg/L değeri tüm OSB'lerde sağlanmaktadır.
Azot ve fosfor parametresi açısından ise; tüm OSB'lerin ham atıksuyunda ortalama TKN değeri 25.8 mg/L ve çıkış suyunda 7.7 mg/L'dir. SKKY de verilen TKN <20 mg/L değeri tüm OSB'lerde sağlanmaktadır. Tüm OSB'lerin ham atıksuyunda ortalama TP değeri 5.8 mg/L ve çıkış suyunda <1 mg/L'dir. SKKY de verilen TP <2 mg/L değeri tüm OSB'lerde sağlanmaktadır. Azot ve fosfor açılarından incelenen OSB'ler evsel/kentsel ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinden istenilen <10/15 azot ve <1/2 mg/L fosfor değerlerini sağlamaktadır.
pH parametresi OSB bölgelerinde mevcut olan sanayi tesisleri dağılımına göre değişkenlik gösterebilmekle birlikte tüm OSB'lerin çıkış suyunda 6-9 değeri sağlanmaktadır.
Sülfat parametresi tüm OSB'lerde ham atıksuda ortalama 120 mg/L ve arıtılmış atıksuda 108 mg/L olarak tespit edilmiştir. SKKY de verilen sülfat <1500 mg/L değeri tüm OSB'lerde sağlanmaktadır.
Ağır metaller açısından, tüm OSB'lerin giriş ve çıkış suyu SKKY'de verilen limitleri sağlarken, sadece Konya OSB'de giriş suyunda ortalama 24 mg/L demir değeri hesaplanmış ve çıkış suyunda 0.3 mg/L değeri ile deşarj standardı sağlanmıştır. Dolayısı ile incelenen tüm OSB'lerin arıtılmış atıksularındaki ağır metal seviyeleri düşüktür. AATTUT Tablo E7.7 sulama sularında izin

verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları ile kıyaslandığında tüm ağır metaller açısından "her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler"i sağlamaktadır.
Yukarıda SKKK Tablo 19 gereğince incelenen parametrelerin değerlendirmesinin yanında çıkış suyunda arıtılmış atıksuların yeniden kullanılabilme alternatiflerinin değerlendirlebilmesi için ilave olarak, BOİ, iletkenlik, sertlik, silisyum, alkalinite, TÇM ve bulanıklık parametreleri de incelenmiştir.
Buna göre; OSB'lerde ortalama çıkış BOİ değeri 18 mg/L olarak hesaplanmıştır. Bu BOİ değeri farklı yeniden kullanımlar için uygun olabilecek bir konsantrasyondur.
Bulanıklık değeri çıkış suyunda tüm OSB'lerin ortalaması 5.18 NTU olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bir OSB çıkış suyunda sadece son çökeltme havuzu ile ulaşıldığından verimli bir işletme göstergesidir. Bulanıklık çıkış değeri de farklı yeniden kullanım alternatifleri için uygun bir değer olarak görülmektedir. Son çökeltme havuzu sonrası yapılabilecek bir filtrasyon ile daha düşük bulanıklık değerleri sağlanarak farklı yeniden kullanım alternatifleri için de uygun hale getirilebilir.
OSB çıkış sularının sanayide kazan veya soğutma kulesi besi suyu olarak kullanılabilmesi için bazı su kalitesi parametrelerini sağlaması önemlidir. Kazan besi suyu olarak kullanmak için geri kazanılmış suda sertlik kontrolü yapılmalı ve sertliğin giderilmesi gereklidir. 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. İletkenlik parametresi özellikle sulama amaçlı yeniden kullanım ve kazan ve soğutma kulelerinde besi suyu olarak kullanma amacı için önemlidir. İletkenlik parametresi açısından, çıkış suyunda en düşük iletkenlik değeri 1032 µS/cm ile Bozüyük OSB de görülürken en yüksek 6267 mg/L olarak Çerkezköy OSB'de belirlenmiştir. İncelenen 6 OSB'nin çıkış suyundaki ortalama iletkenlik değeri 3902 µS/cm'dir. Bu değerler, kazan ve soğutma kulesi işletmeciliği açısından değerlendirildiğinde yüksektir. Ancak, OSB içerisinde faaliyet gösteren bir sanayi tesisi tarafından kullanılabilmesi için OSB de kurulacak bir membran prosesle veya tekil sanayi tesisi içinde su hazırlama prosesleri (membran proses) ile yüksek iletkenlik değeri düşürülerek kullanılabilir. Bozüyük OSB, 1032 µS/cm iletkenlik değeri ile diğer OSB'lere kıyasla kazan ve soğutma kulesi işletmeciliği açısından daha uygun görülmektedir.
İletkenlik değeri sulama suyu açısından değerlendirildiğinde; >3000 µS/cm değeri kullanımda zarar derecesi tehlikeli (III. Sınıf su) olarak sınıflandırıldığından incelenen Bozüyük OSB hariç diğer tüm OSB'lerin mevcut çıkış suyu sulamada kullanmaya uygun değildir. Bozüyük OSB ise 700-3000 µS/cm değeri ile kullanımda zarar derecesi az-orta (II. Sınıf su) olarak değerlendirilmektedir.
Alkalinite ve sertlik parametresi kazan ve kule işletmeciliğinde meydana gelebilen kireç probleminin temel nedenidir. İncelenen OSB çıkış sularında alkalinite değerinin ortalaması 334 mg/L iken sertlik ortalaması 688 mg/L'dir.
Silisyum açısından da OSB çıkış suları ortalama 15,4 mg/L değerindedir ve kazan ve soğutma kulesi işletmeciliği açılarından yüksek değerlere sahiptir.
Buna göre; Kazan ve kule işletmeciliği açısından üç parametrenin değerleri de yüksektir ve doğrudan kazan ve kule besi suyu olarak kullanıma uygun değildir. Bu yüzden bu amaçla yeniden kullanım hedefleniyor ise OSB çıkışında veya tekil sanayi tesisinde su hazırlama prosesleri ile uygun niteliklere indirilmelidir.
Aşağıda proje kapsamında incelenen 7 OSB'de arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanım alternatifleri değerlendirilmiştir.



Bozüyük Organize Sanayi Bölgesi AAT

Bozüyük OSB AAT'de arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı yapılmamaktadır. Fakat OSB içinde faaliyet gösteren Bilecik Demir Çelik Fabrikasının üretimine devam edebilmesi için 350 m^3/gün proses ve soğutma suyu ihtiyacı bulunmaktadır. Bölgede yeraltı su seviyelerinin azalmasından dolayı kuyudan su temin edilememektedir. OSB de faaliyet gösteren demir çelik tesisi, OSB AAT çıkış sularını alarak tesiste proses ve soğutma suyu olarak kullanmayı talep etmektedir.

OSB AAT giriş ve çıkışından 2017 Haziran-Ekim tarihleri arasında alınan 3 tekrar atıksu numunelerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, OSB AAT çıkış suyunun demir çelik fabrikasında soğutma kulesinde kullanılabilmesi için gerekli olan KOİ limit değerini (75 mg/L) sağlamaktadır.

Soğutma kulelerinde scale (kazantaşı) oluşumuna neden olan silisyum, sülfat, demir parametreleri çıkış suyunda sırasıyla 30 mg/L, 81 mg/L, <0,019 mg/L değerlerinde ölçülmüştür. AAT çıkış suyunun soğutma kulesi besleme suyu olarak kullanılması açısından izin verilen limit değerleri sağladığı görülmektedir.

AAT deşarj suyunun soğutma kulelerinde doğrudan yeniden kullanımını alkalinite, iletkenlik ve sertlik değerleri kısıtlamaktadır.

Atıksu arıtma tesisi çıkış suyu, kurulacak bir membran prosesle veya fabrika içerisinde bulunan su hazırlama prosesleri (membran proses) ile istenilen su kalitesine getirilerek, proses ve soğutma suyu olarak yeniden kullanılabilir.

Atıksuyun mevcut karakterizasyonu da göz önüne alındığında; soğutma kulelerinde biyolojik büyüme ile ısı transfer verimini düşerebilecek ve mikrobiyolojik korozyona neden olacak olan biyofilm tabakasını engellemek için dezenfeksiyon işlemine tabii tutulmalıdır.



Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi AAT

Çerkezköy OSB yönetimi arıtılmış atıksuların endüstride proses suyu olarak yeniden kullanımı için 2015 yılında bir araştırma yaparak, elektrokoagülasyon + ultrafiltrasyon + ters osmoz ünitelerinden oluşan pilot tesisi işletmeye almıştır. Pilot tesiste birim arıtma maliyeti 1 $/m^3 olarak hesaplanmış, proje fizibil olmadığından sonuç alınamamıştır. Atıksu arıtma tesisin çıkış suyuda iletkenlik değeri 6000 – 8000 µS/cm değerlerinde iken kuyu suyunda iletkenlik 700 µS/cm'dir. İletkenlik değerinin çok yüksek olması arıtılmış atıksuyun endüstriyel proses, kazan ve soğutma suyu olarak kullanımını zorlaştırmaktadır.

Tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ağır metal ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyonları değerlendirilirse;

AATTUT Tablo 7.7'de "Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda" Kurşun (Pb) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında <0,01 mg/L, Kadmiyum (Cd) için verilen limit değer 0.01 mg/L iken tesis çıkışında <0,004 mg/L, Demir(Fe) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında 0,4 mg/L, Bakır (Cu) için verilen limit değer 0,2 mg/L iken tesis çıkışında 0,023 mg/L, Çinko(Zn) için verilen limit değer 2 mg/L iken, tesis çıkışında 0,07 mg/L olarak ölçülmüştür. Tesis çıkış suyu ağır metal ve toksik elementler bakımından tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygundur.

Tesis çıkışında iletkenlik değeri 6267 µs/cm olarak ölçülmüştür. Tarımsal sulama suyu kimyasal kalitesine göre değerlendirildiğinde ise >3000 µs/cm tehlikeli (III. sınıf su) olarak sınıflandırıldığından mevcut çıkış suyu sulamada kullanmaya uygun değildir.

Ergene Havzası Koruma Eylem Planı çerçevesinde Çerkezköy OSB arıtılmış atıksuları derin deniz deşarjı ile Marmara Denizine verileceğinden Tekirdağ ilinde farklı amaçlar için yeniden kullanımı söz konusu değildir.



Denizli Organize Sanayi Bölgesi AAT

Denizli OSB Müdürlüğü 2017 yılında "Endüstriyel Kaynaklı Arıtılmış Atıksuyun Geri Kazanılması Projesi" kapsamında hazırlanan fizibilite raporu ile ileri arıtım tesisi ile, AAT'den çıkan arıtılmış endüstriyel nitelikli atıksuların üretim yapmakta olan firmalara proses suyu temin edilebilmesi değerlendirilmiştir. Fizibilite raporunda planlanan ileri arıtma prosesi basınçlı kum filtresi + ultrafiltrasyon + ters osmoz proseslerinden oluşmaktadır.

Proje kapsamında Denizli OSB AAT'de yapılan analiz sonuçları incelendiğinde ise yüksek konsantrasyonlara sahip TÇM (ort. 3659 mg/L) ve iletkenlik değeri (ort. 5023 mg/L) tesis çıkışının doğrudan sulama suyu olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Ayrıca tesis çıkışının yüksek iletkenlik, alkalinite, sertlik konsantrasyonları dolayısıyla su hazırlama (membran) üniteler ile istenilen su kalitesi sağlanmadan kazan ve soğutma kulesi işletmeciliği açılarından kullanımı mümkün değildir. Fizibilite raporunda planlanan ileri arıtma prosesleri (basınçlı kum filtresi + ultrafiltrasyon + ters osmoz) ile farklı yeniden kullanım alternatifleri için uygun su kalitesi elde edilebilir. Bu durumda tesisin işletme maliyeti yaklaşık 0.3 Euro/m^3 değerlerinde olması öngörülmektedir. Bunun yanında membran sisteminden kaynaklanacak konsantrenin yönetimi de önemlidir.



Gaziantep Organize Sanayi Bölgesi AAT

Gaziantep OSB AAT'de geri kazanım tesisi bulunmamaktadır. Ancak, Orman ve Su İşleri Bakanlığının "Nizip Çayı Su Kalitesi İyileştirme Eylem Planı" çerçevesinde Gaziantep OSB AAT'nin çıkış suyu kalitesinin sulama suyu kriterlerine uygun hale getirilmesi için termin planı hazırlanmıştır.

Tesis çıkışının tarımsal sulama suyu olarak kullanılmasında ağır metal ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyonlarına göre değerlendirilmesi;

AATTUT Tablo 7.7'de "Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda" Kurşun (Pb) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında <0,027 mg/L, Kadmiyum (Cd) için verilen limit değer 0,01 mg/L iken tesis çıkışında <0,004 mg/L, Demir(Fe) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında 0,66 mg/L, Bakır (Cu) için verilen limit değer 0,2 mg/L iken tesis çıkışında 0,04 mg/L, Çinko(Zn) için verilen limit değer 2 mg/L iken, tesis çıkışında 0,04 mg/L olarak ölçülmüştür. Yapılan analiz sonuçlarına göre tesis çıkış suyu ağır metal ve toksik elementler bakımından tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygundur.

Tesis çıkışında iletkenlik 2987 µs/cm, TÇM ise 1371 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu değerlere tarımsal sulama suyu kimyasal kalitesine göre değerlendirildiğinde ise az-orta (II. sınıf su) olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat çıkış suyunda Sodyum(Na) değeri 25 mg/L ölçüldüğünden yüzey sulaması için tehlikeli (III. sınıf su) olarak sınıflandırılmaktadır.

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi AAT

Kayseri OSB Atıksu Arıtma Tesisi'nde arıtılmış atıksuların geri kazanımı uygulaması yapılmamakta, Vavanlı deresine deşarj edilmektedir. Ancak tesiste Erciyes Üniversitesi Çevre Sorunları ve Temiz Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (ERÇEVREM) ve Kayseri OSB tarafından birlikte yürütülen TÜBİTAK 1003 projesi olan "Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Yeniden Kullanımı için Membranlı Arıtma Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırılması" projesi kapsamında 100 m^3/gün'lük pilot tesis kurulmuştur. Pilot tesis; ultrafiltrasyon, ters osmoz ve MBR proseslerinden oluşmaktadır. Ultrafiltrasyon ve ters osmoz üniteleri atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile MBR ise ön çökeltme çıkış suyuyla beslenmektedir.

Kayseri Organize OSB'de yer alan kağıt, tekstil ve plastik sektörlerindeki fabrikaların su kullanımı çok yüksektir. Bu sektörlerde faaliyet gösteren, sadece 5 fabrikanın 10.000 – 12.500 m^3/gün su kullanımı vardır. Ayrıca sanayi bölgesinde yaz aylarında 250 bin m^2 yeşil alanın sulanması için 5000 m^3/gün suya ihtiyaç vardır. Kayseri OSB'de, arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile bazı sanayi tesislerinin proses suyu ihtiyacı ve yeşil alanların sulanması için gerekli su ihtiyacı karşılanabilir. Ayrıca arıtılmış atıksuların çevresel kullanımı kapsamında Hürmetli sazlığı doğal sulak alanı arıtılmış atıksularla beslenebilir.

Tesis çıkışının, tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilmesi için ağır metal ve toksik elementlerin maksimum konsantrasyon limitleri değerlendirilirse; AATTUT Tablo 7.7'de "Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda" Kurşun (Pb) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında <0,01 mg/L,



Kadmiyum (Cd) için verilen limit değer 0,01 mg/L iken tesis çıkışında <0,0046 mg/L, Demir(Fe) için verilen limit değer 5 mg/L iken tesis çıkışında 0,1 mg/L, Bakır (Cu) için verilen limit değer 0,2 mg/L iken tesis çıkışında 0,03 mg/L, Çinko(Zn) için verilen limit değer 2 mg/L iken, tesis çıkışında 0,1 mg/L olarak

ölçülmüştür. Tesis çıkış suyu ağır metal ve toksik elementler bakımından tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygundur.
Tesis çıkışında iletkenlik ortalama değeri 2800 µs/cm, TÇM ortalama değeri ise 1454 mg/L olarak ölçülmüştür. Tarımsal sulama suyu kimyasal kalitesine göre değerlendirildiğinde ise kullanımda zarar derecesi az-orta (II. sınıf su) olarak değerlendirilmektedir.
Tesis çıkışının sanayide kazan ve kule soğutma suyu olarak yeniden kullanılması durumunda ise yüksek konsantrasyonlarda bulunan iletkenlik (ort.2800 µs/cm), alkalinite (ort<261 mg/L) ve sertlik değerleri kısıtlayıcı olmaktadır.

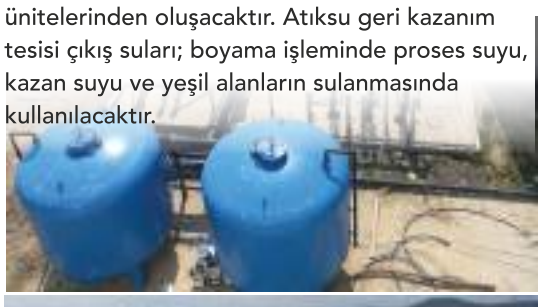
Konya Organize Sanayi Bölgesi AAT

Konya OSB'si mevcut atıksu arıtma tesisinde ileri arıtma prosesleri bulunmaktadır. Tesis tasarlanırken 2.040 m^3/gün kapasiteye sahip yatay akışlı aktif karbon ve basınçlı yatay kum filtreleri yapılmıştır ancak arıtılmış atıksudaki yüksek iletkenlik (ort. 5300 µs/cm) ve yağ-gres konsantrasyonlarından dolayı yeniden kullanıma uygun olamayacağı görüldüğünden geri kazanım ünitesi işletmeye alınmamıştır.
"Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulanmasında Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Proje kapsamında OSB'de yer alan 4. kısım gri su hattı projelendirilmiş olup bu kısımda kalan firmaların ve yeşil alanların sulanması amaçlı alt yapı hazır hale getirilmiştir. Arıtılmış atıksuların geri kazanımını yapacak olan yeni tesisin kapasitesi 3.000 m^3/gün olarak belirlenmiştir. Mevcut AAT'de arıtılmış atıksular; ön klorlama, basınçlı kum filtresi, aktif karbon, ultrafiltrasyon, ters osmoz sistemine alınarak yeniden kullanım amacı ile ileri arıtıma tabi tutulacaktır. Geri kazanılmış su depoya iletilecek ve yeşil alanların sulanmasında ve/veya sanayicinin ihtiyacına göre kullanılabilecektir. Proje kapsamında Konya OSB AAT'de yapılan analiz sonuçları incelendiğinde ise yüksek konsantrasyonlara sahip TÇM (ort. 3077 mg/L) ve iletkenlik değeri (ort. 5303 mg/L) tesis çıkışının doğrudan sulama suyu olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Ayrıca tesis çıkının yüksek iletkenlik, alkalinite, sertlik konsantrasyonları dolayısıyla su hazırlama (membran) üniteler ile istenilen su kalitesi sağlanmadan proses suyu olarak kullanımı mümkün değildir.



Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi AAT

Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi içerisinde üretim yapan firmalara proses suyu kazandırılması, üretim yapan firmalara suyu daha ucuza temin edebilmek ve proseste içme suyunun kullanılmasını önlemek için arıtılmış atıksuların ileri arıtma yöntemleriyle yeninden kullanımı için fizibilite çalışması yapılmıştır. Geri kazanım tesisinin projesi tamamlanmış olup, 2018 Nisan ayında işletmeye alınması planlanmaktadır. Atıksu geri kazanım tesisi 4.700 m^3/gün debiye göre tasarlanmış olup, ters osmoz çıkışı ürün suyu 3.000 m^3/gündür. Atıksu geri kazanım tesisi; basınçlı kum filtresi, ultrafiltrasyon, aktif karbon ve ters osmoz ünitelerinden oluşacaktır. Atıksu geri kazanım tesisi çıkış suları; boyama işleminde proses suyu, kazan suyu ve yeşil alanların sulanmasında kullanılacaktır.







DEĞERLENDİRME

Ülkemizde tüzel kişilik kazanmış Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına bağlı 311 OSB mevcuttur. OSB'lerde üretime geçen 50.528 parselde yaklaşık 1,7 milyon kişi istihdam edilmektedir.

Ülke genelinde 1961 yılında kurulan ilk OSB'den 2000 yılına kadar 153 adet OSB faaliyete geçmişken, 2000-2018 yılları arasında 158 adet OSB yapılarak toplam OSB sayı 311 olmuştur. Ülke genelinde 18 OSB ile en fazla OSB'ye sahip olan Bursa'yı 14 OSB ile Kocaeli takip etmektedir. Tekirdağ ve İzmir'de 13 adet OSB, Ankara'da ise 12 adet OSB bulunmaktadır. TÜİK 2016 yılı verilerine göre; su şebekesi ile dağıtılmak üzere OSB'ler tarafından 175 milyon m^3 su çekilmiştir ve bu suyun %48,2'si kuyudan, %11,5'i kaynaklardan, %14,3'ü şehir şebekesinden, %26'sı ise baraj, gölet ve akarsulardan temin edilmiştir.

2016 yılında OSB kanalizasyon şebekelerinden deşarj edilen 263 milyon m^3 atıksuyun, %72,5'i akarsuya, %12'si şehir kanalizasyonuna, %7,5'i kuru dere yatağına, %8'i ise diğer alıcı ortamlara verilmiştir. 229 milyon m^3 atıksu OSB atıksu arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Dolayısı ile, atıksuların artılma oranı %87 olarak gerçekleşmiştir.

2016 yılı için mevcut 91 adet atıksu arıtma tesisinin kapasitesi ise 384 milyon m^3 olarak bildirilmiştir.

2017 yılında ise; 311 OSB'de mevcut olan 98 AAT'nin toplam kapasitesi 474 milyon m^3/yıl ve mevcut arıtılan atıksu debisi ise 331 milyon m^3/yıl olarak belirlenmiştir. 98 AAT'de arıtılan debinin tesis başına ortalaması ise 9.650 m^3/gün'dür.
2017 yılı için en yüksek atıksu arıtma kapasitesine sahip OSB'ler ise; Bursa Uludağ (Gürsu), Bursa İnegöl, Gaziantep, Tekirdağ Ergene 2 olmak üzere sırasıyla 150 bin, 130 bin, 90 bin, 90 bin m^3/gün'dür.
2017 yılı için en yüksek miktarda atıksu arıtımı gerçekleştirilen OSB'ler ise; Bursa İnegöl, Tekirdağ Ergene 2, Bursa Uludağ (Gürsu), Tekirdağ Çerkezköy olmak üzere sırasıyla 100 bin, 90 bin, 85 bin, 76 bin m^3/gün'dür.

Mevcut OSB'lerindeki atıksu arıtma tesislerinin; ızgara, kum ve yağ tutucu, dengeleme havuzu, koagülasyon/flokülasyon, ön çökeltme, havalandırma havuzu, son çökeltme proseslerinden oluşmaktadır. Çamur hattında ise, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma (dekantör, belt filtre) üniteleri yer almaktadır.

İncelenen 7 OSB ve atıksu numunesi alınan 6 OSB'den elde edilen bilgilere göre;
OSB çıkış suları organik madde, askıda katı madde giderimi açılarından verimli görülmekte, ağır metal içerikleri sulama suyu kriterlerini sağlamakta ancak içerdikleri yüksek alkalinite, sertlik, iletkenlik ve silisyum değerleri nedeni ile doğrudan sulama suyu, kazan ve kule besi suyu olarak kullanıma uygun değildir.
OSB'lerde atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımını hem sulama suyu hem de kazan ve soğutma kulesi işletmeciliği açılarından kısıtlayan iletkenlik, TÇM, sertlik, alkalinite ve silisyum değerlerinin uygun kalitelere getirilebilmesi için ilave ileri arıtma prosesleri uygulanmalıdır.

OSB'lerin bedelsiz kuyu suyu kullanımı ve sanayicilere düşük bedeller ile su temin etmesi geri kazanımın önündeki en büyük engellerden biridir.

Bunun yanında Kocaeli gibi su fiyatının yüksek olduğu illerde yer alan OSB ler veya yeraltı suyu temin edilemeyen Bozüyük OSB gibi yerlerde artılmış atıksuların yeniden kullanımı su fiyatından ve su ihtiyacından dolayı sanayici tarafından ilgi görmektedir.

Denizli OSB ve Konya OSB gibi bazı OSB'ler ise fizibilite çalışmaları yaparak arıtılmış atıksuların soğutma suyu, OSB içinde yeşil alan sulama suyu veya proses suyu olarak kullanımı konularında değerlendirmeler yapmaktadır.

Dolayısı ile ülkemizde farklı bölgelere dağılmış olan 311 adet OSB'nin her birinde farklı senaryolar ile karşılaşılabilmektedir. OSB'nin bulunduğu havzada, ilde, bölgede mevcut su potansiyeli, su fiyatı, OSB'nin sektörel dağılımı, OSB atıksu arıtma tesisi prosesleri, AAT çıkış suyu kalitesi, OSB içindeki tesislere arıtılmış suyun iletim imkanı ve iletim maliyeti, OSB büyüklüğü gibi faktörler OSB'lerde arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımını etkilemektedir.

OSB'ler tüm bu faktörleri değerlendirerek; bölgenin su temini imkanları, suyun sürdürülebilirliği, su fiyatı, OSB'deki sektörel yapılanma ve su taleplerini göz önüne alarak OSB için en uygun AAT prosesine, mevcut AAT de yapılacak revizyona veya kapasite artışına, en uygun (amaca uygun) geri kazanım tesisini belirlemelidir.

"En uygun" geri kazanım tesisi OSB'de hedeflenen yeniden kullanım veya yeniden kullanımlara uygun tesisdir. OSB çıkış suyu bir veya birden çok kalitede çıkış suyu elde edilebilecek prosesler ile işletilebilir. Böylece farklı yeniden kullanım alternatifleri için yeterli su kalitesi en düşük birim fiyatlar ile üretilebilir.



KAYNAKLAR

[1] www.osbbs.sanayi.gov.tr

[2] www.osbuk.org

[3] Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2018, "Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 2017 Yılı Faaliyet Raporu"

[4] Sanayi Gazetesi-OSBÜK, 2014, "Türkiye Organize Sanayi Bölgeleri Rehberi" Ankara

[5] "Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği" 20.03.2010, Resmi Gazete Sayısı: 27327

[6] portal.sanayigazetesi.com.tr

[7] TÜİK, 2017, "Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016" Haber Bülteni, Sayı:24872

[8] "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" 31.12. 2004, Resmi Gazete Sayısı: 25687

[9] "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" 22.08.2009, Resmi Gazete Sayısı: 27527