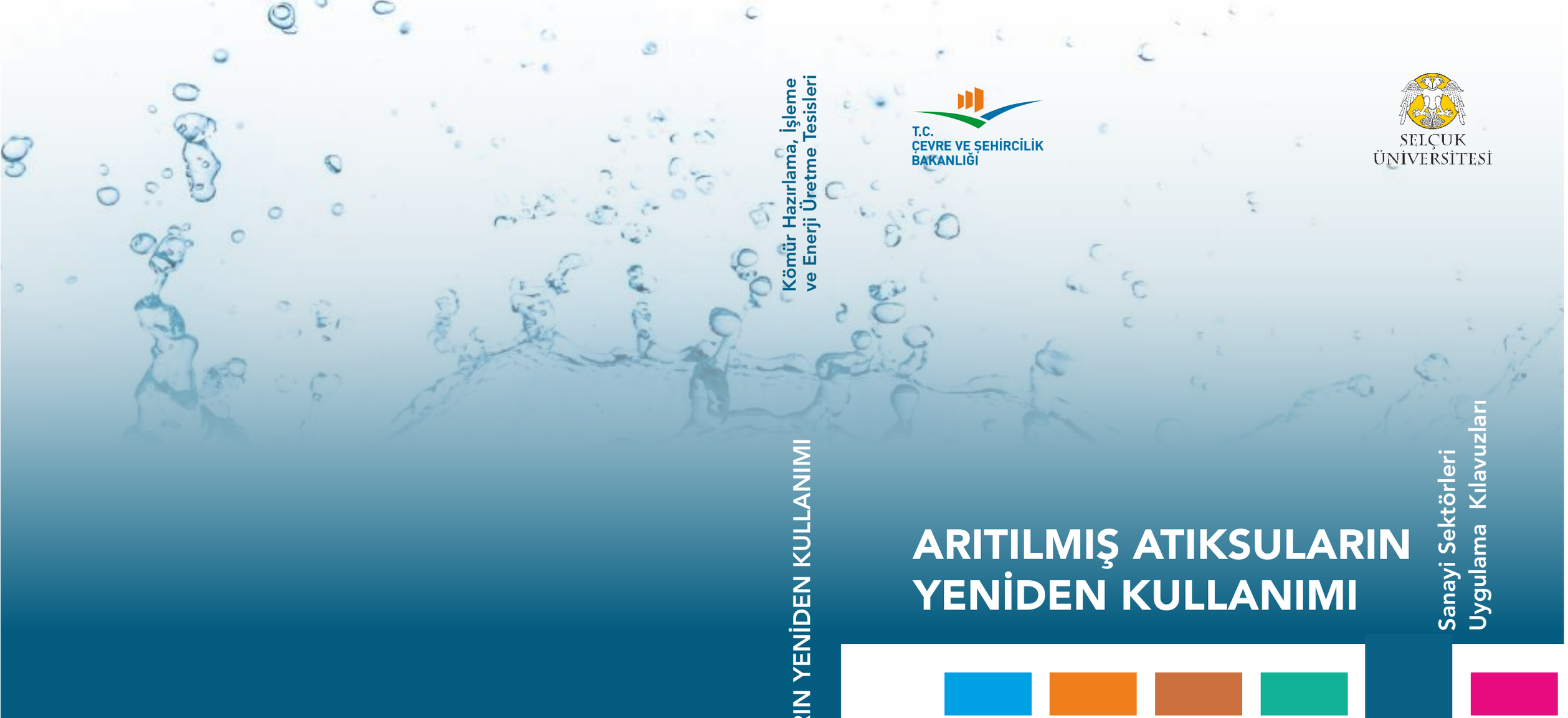
T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

Kömür Hazırlama, İşleme
ve Enerji Üretme Tesisleri



ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

KÖMÜR HAZIRLAMA, İŞLEME VE ENERJİ ÜRETME TESİSLERİ

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

KÖMÜR HAZIRLAMA, İŞLEME VE ENERJİ ÜRETME TESİSLERİ

TERMİK SANTRALLER 65
TERMİK SANTRALLERDE ENERJİ ÜRETİMİ 69
TERMİK SANTRALLERDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU 77
TERMİK SANTRALLERDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI 91
DEĞERLENDİRME 98
KAYNAKLAR 101

DOĞALGAZ ÇEVRİM SANTRALLERİ 103
DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİ 105
DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU 109
DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI 115
DEĞERLENDİRME 118
KAYNAKLAR 119

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

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.Türkiye'nin enerji tüketiminin ve elektrik üretimin dağılımı 66
Şekil 2.Kullanılan yakıt cinsine göre santrallerin kurulu güç dağılımı 68
Şekil 3.Kullanılan yakıt cinsine göre santrallerin sayısı 68
Şekil 4.Türkiye'de bulunun termik santrallerin dağılımı 68
Şekil 5.Kömür yakıtlı termik santralde su dengesi 79
Şekil 6.Kömür hazırlama ünitesinde hazırlanan kömürün iletim hattı 80
Şekil 7.Proje kapsamında ziyaret edilen termik santrallerden birinin su hazırlama üniteleri 82
Şekil 8.Su hazırlama tesisi flokülatör havuzu 82
Şekil 9.Membran tiplerine göre kirleticilerin giderimi 83
Şekil 10.Kül barajı 85
Şekil 11.Islak tip baca gazı arıtma sistemi şematik görünümü 87
Şekil 12.Termik santral atıksu arıtma tesisi 89
Şekil 13.Kül ve çamur havuzu 95
Şekil 14.Atıksu geri kazanım tesisi 95
Şekil 15.Atıksu geri kazanım tesisi akım şeması 95
Şekil 16.Termik santrallerde su kaynakları, su kullanımı, atıksu oluşumu ve yeniden kullanım diyagramı 97

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.Yakıt cinsine göre Türkiye'de kurulu santraller ve kurulu güç 67
Tablo 2.Termik santrallerde kullanılan kazan tipleri ve verimleri 73
Tablo 3.Kömür ve linyitle çalışan termik santrallerde oluşan atık ve yan ürünlerin yeniden kullanım alternatifleri 76
Tablo 4.Farklı kapasiteli termik santrallerin spesifik su tüketim değerleri 78
Tablo 5.Kömür yataklı termik santrallerin üretim proseslerinde spesifik su kullanım değerleri 78
Tablo 6.Proje kapsamında incelenen termik santralin (A tesisi) su kullanım alanları ve miktarları 78
Tablo 7.Proje kapsamında incelenen termik santralin (B tesisi) su kullanım alanları ve miktarları 78
Tablo 8.Termik santrallerde kaynağına göre çekilen su miktarı, 2010 – 2016 (TÜİK, 2017) 80
Tablo 9.Kazan, kondens ve kazan tamamlama suyunda istenen değerler 84
Tablo 10.Termik santrallerde su kullanım ve tüketim istatistikleri 86
Tablo 11.Termik santraller tarafından alıcı ortamına göre deşarj edilen atıksu miktarı (bin m ^{3} /yıl), 2010 - 2016 (TÜİK, 2017) 90
Tablo 12.Termik santrallere ait atıksu arıtma tesisi mevcut durumu, 2010 - 2016 (TÜİK, 2017) 90
Tablo 13.Proje kapsamında incelenen termik santrallerin analiz sonuçları* 96

DOĞALGAZ ÇEVRİM SANTRALLERİ

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.2016 yılı doğal gaz sektörel tüketim dağılımı 103
Şekil 2.Doğalgaz çevrim santrallerinin bölgelere göre dağılımı 104
Şekil 3.Doğalgaz kombine çevrim santralleri üretim süreçleri 106
Şekil 4.Gaz türbini 107
Şekil 5.Atık ısı kazanı 107
Şekil 6.Ülkemizdeki doğal gaz çevrim santrallerindeki atık ısı kazanları 107
Şekil 7.Buhar türbini 108
Şekil 8.Buhar türbini jeneratör bağlantısı 108
Şekil 9.Doğalgaz çevrim santrallerinde kullanılan soğutma kuleleri 108
Şekil 10.Doğalgaz çevrim santrallerinde su kullanımı 109
Şekil 11.Ham su kaynağı olarak kuyu suyu kullanan tesisler 111
Şekil 12.Ham su kaynağı olarak şebeke suyu kullanan tesisler 112
Şekil 13.Ham su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanan tesisler 112
Şekil 14.Doğal gaz çevrim santrallerinde su hazırlama ünitelerinde arıtma prosesleri 113
Şekil 15.Geri kazanılmış proses atıkuyu make-up suyu olarak kullanılan geri kazanım tesisi akım şeması 116
Şekil 16.Geri kazanılmış proses atıkuyu yangın suyu ve geri yıkama suyu olarak kullanılan geri kazanım tesisi akım şeması 117

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.2016 yılı doğalgaz kullanım miktarlarının sektörel dağılımı 103
Tablo 2.Türkiye, birincil enerji arzı 104
Tablo 3.Türkiye, yıllara göre kişi başına enerji ve elektrik tüketimi 104
Tablo 4.Proses dışı su kullanımı 110
Tablo 5.Proses dışı atıksu oluşumu 110
Tablo 6.Proseste su kullanımı 111
Tablo 7.Proses atıksularının kaynakları 112
Tablo 8.Doğalgaz çevrim santralleri sektörü geri kazanım tesisi giriş ve çıkış değerleri* 113

ÖZET

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

MADEN SANAYİ

Maden Sektörü

Hazır Beton Sektörü

GIDA SANAYİ

Sebze, Meyva Yıkama ve İşleme Sektörü

Şeker Üretimi Sektörü

İÇKİ SANAYİ

Alkolsüz İçkiler, Meşrubat Üretimi Sektörü

SELÜLOZ, KÂĞIT, KARTON VE BENZERİ SANAYİ

KÖMÜR HAZIRLAMA, İŞLEME VE ENERJİ ÜRETME TESİSLERİ

Termik Santraller

Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralleri

KARIŞIK ENDÜSTRİLER

Organize Sanayi Bölgeleri

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

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

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

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

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

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMI

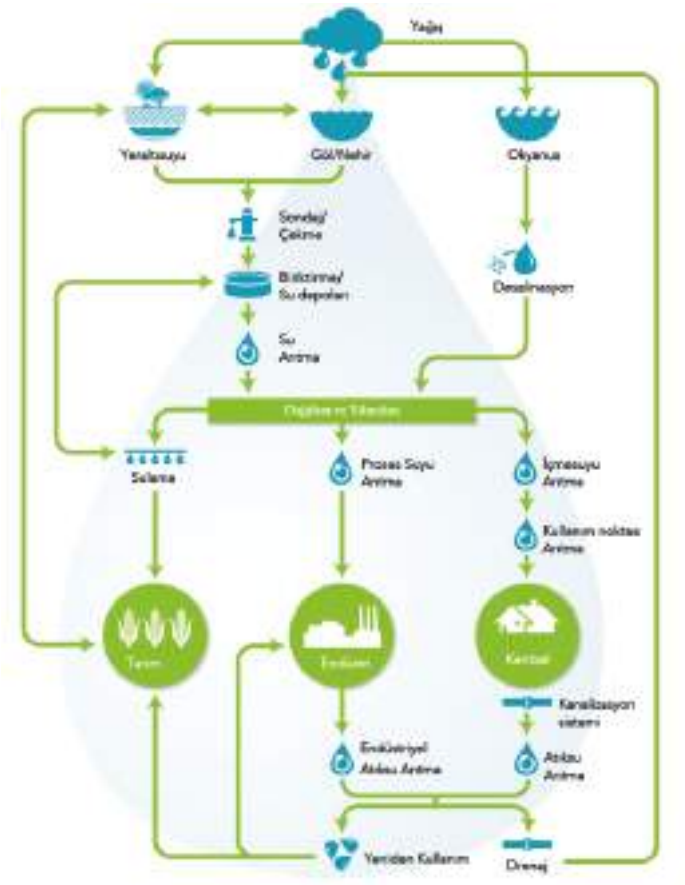
Bölüm Yazarları:

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

1 BÖLÜM

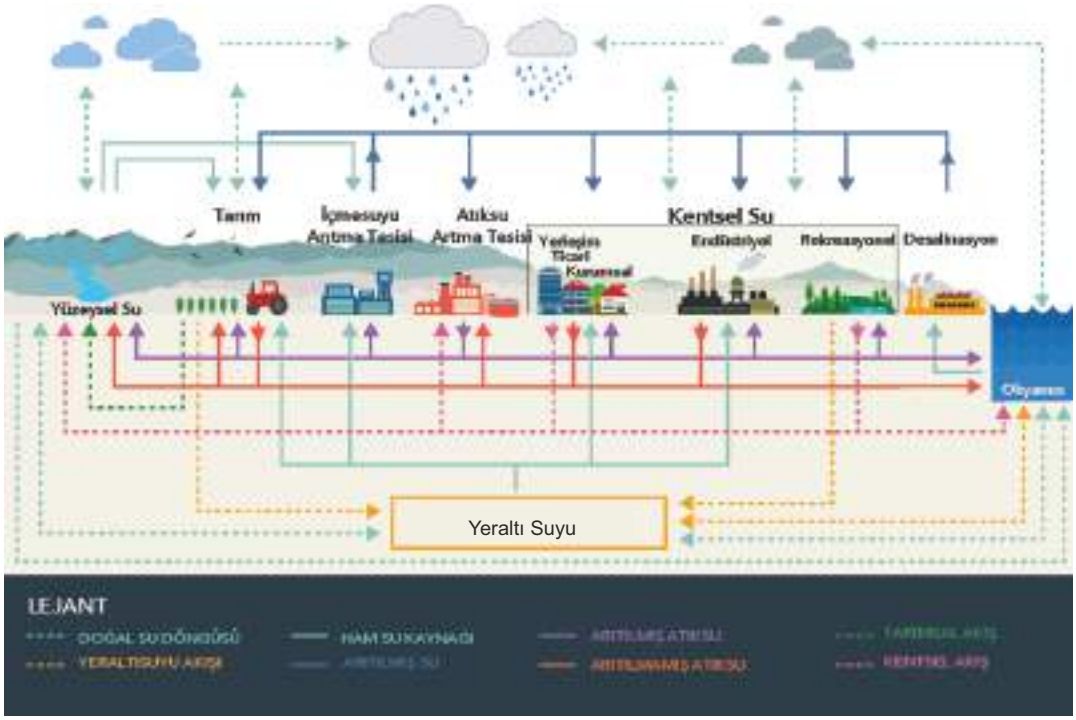
GİRİŞ

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



Şekil 1. Su ve atıksu döngüsü

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



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

Yeniden kullanım ile ilgili Dünya'da çeşitli terminolojiler kullanılmaktadır.

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

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

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

Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (Urban Waste Water Treatment Directive)

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

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

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

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Standardization Organisation, ISO)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Global Water Research Coalition (Küresel Su Araştırma Koalisyonu)

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

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

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

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

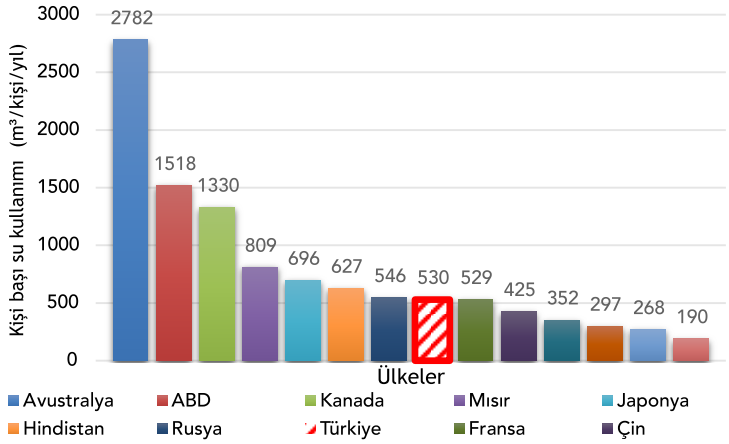
Doğrudan içme suyu olarak yeniden kullanım (Direct potable reuse): Arada bir depolama olmaksızın geri kazanılmış suyun doğrudan bir su dağıtım sistemine girişi (borudan-boruya)

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

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

TÜRKİYE'DE SU VE ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM POTANSİYELİ

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



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

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

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

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

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

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

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

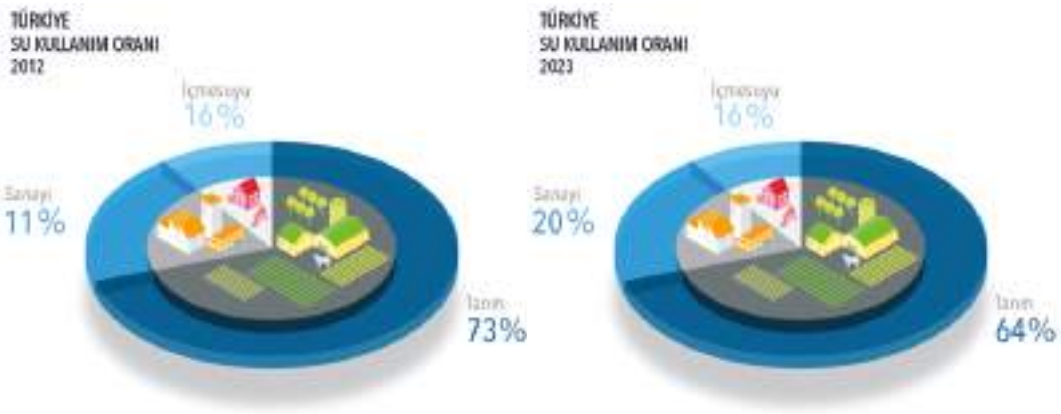
Tablo 1. *Türkiye'nin su potansiyeli* (http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, Erişim Tarihi: 28.10.2017)

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

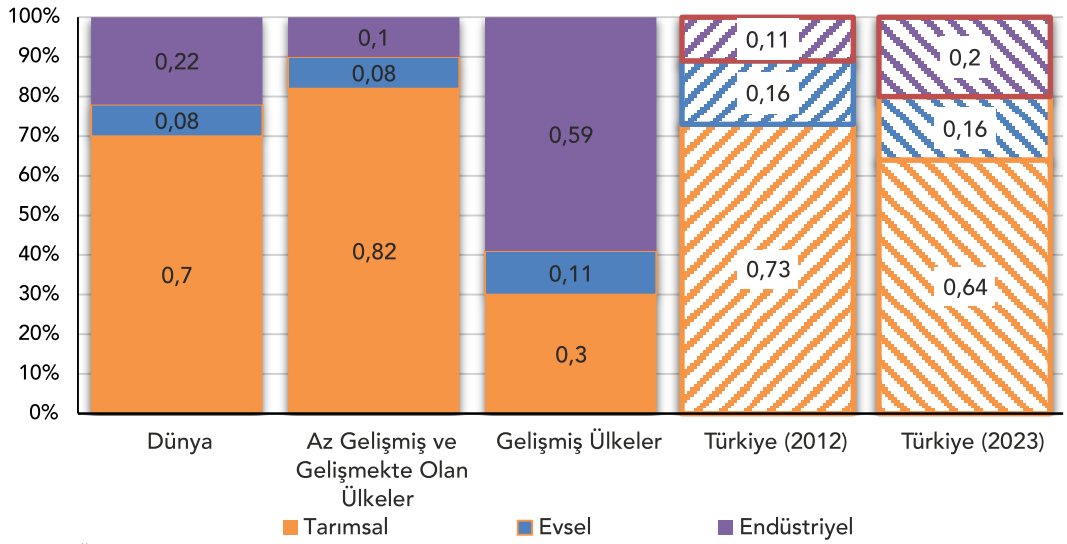
Ülkemizde mevcut 112 milyar m^3 kullanılabilir su kaynağından mevcut yararlanma oranı yaklaşık %39 olup, 32 milyar m^3'ü sulamada, 7 milyar m^3'ü içme ve kullanmada, 5 milyar m^3'ü sanayide kullanılmaktadır. Bu durumda ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık % 73'ü sulama, % 11'i sanayi, % 16'i kentsel tüketim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

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

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



Şekil 5. Türkiye 2012 ve 2023 su kullanım oranları

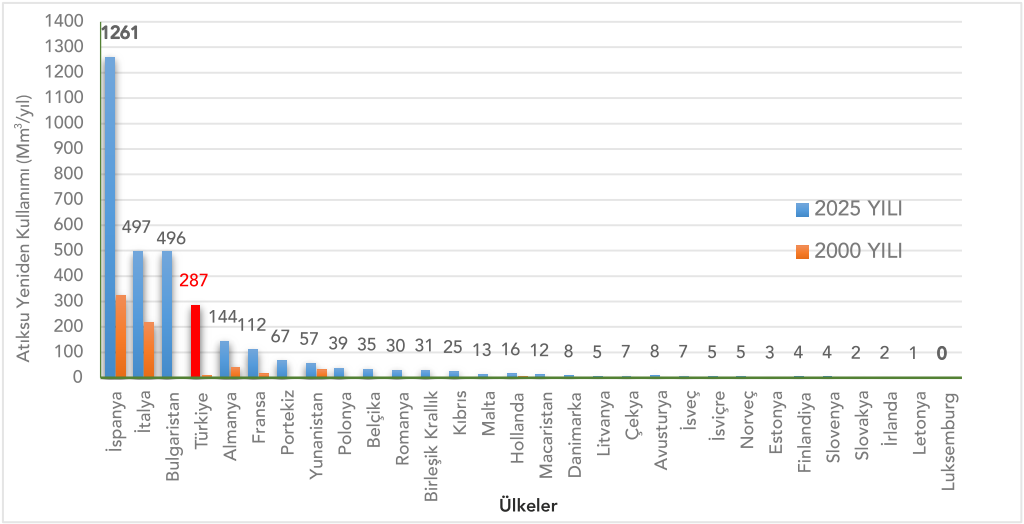


Şekil 6. *Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre sektörel su kullanımlarının dağılımı ve Türkiye'de sektörel su kullanımı*

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

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

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



Şekil 7. *AB ülkeleri yeniden kullanım miktarları*

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA RİSKLER VE FAYDALAR

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

ÇEVRESEL FAYDALAR

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

SAĞLIK VE ÇEVRE İÇİN RİSKLER

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

EKONOMİK FAYDALAR

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

EKONOMİK RİSKLER

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

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

SOSYAL RİSKLER

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

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

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

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

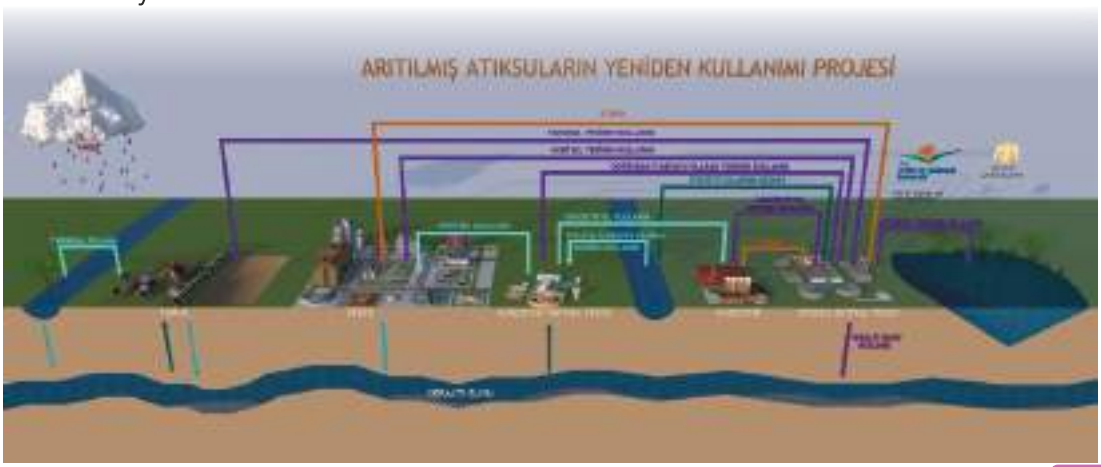
Bu yönetmelik ile ülkemiz yüzölçümünün %50'den fazlası kentsel hassas alan olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile mevcut atıksu arıtma tesislerinden besin elementi giderimi yapılmak üzere ileri arıtıma dönüştürülmesi gereken atıksu arıtma tesislerinde bunun yerine atıksu geri kazanımı uygulaması yapılarak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

ARITILMIŞ ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIM ALANLARI

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

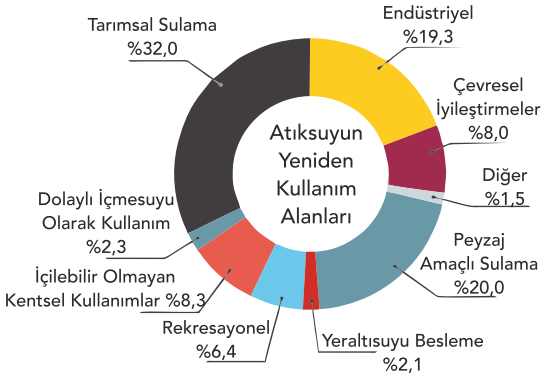
- Kentsel Yeniden Kullanım
- Tarımsal Yeniden Kullanım
- Su Kaynaklarının Desteklenmesi Amacı İle Yeniden Kullanım
  - o Çevresel Yeniden Kullanım
  - o Operasyonel Depolama
  - o Yüzeysel Biriktirme – Su Rezervuarları
  - o Yüzey Suyu Depolama ve Beslemesi
  - o Akifer Beslemesi
- Endüstriyel Yeniden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

Şekil 8. *Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı alternatifleri*



Şekil 9. *Arıtılmış atıksuların yeniden kullanım alanları*

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



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

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

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

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

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

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

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

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

ARITILMIŞ ATIKSULARIN SANAYİDE YENİDEN KULLANIMI

Su;

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

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

Yoğun su kullanımına ihtiyaç duyan endüstriler;

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

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

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

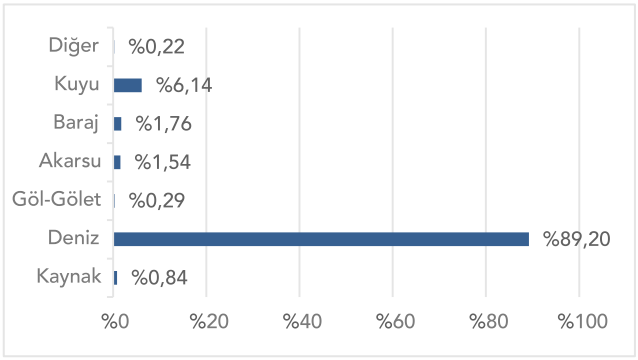
	Gıda End. (%)	Kağıt End. (%)	Petrol Rafineleri ve Kimya End. (%)	Metal Üretimi (%)	Elektrik üretimi ve dağıtımı (Soğutma için su kullanımı) (%)	Maden ve Taş ocakçılığı (%)
Belçika (2009)	2,2	0,9	16,6	2,2	76,5	0,8
Bulgaristan (2011)	0,7	0,6	1,9	0,5	94,6	0,6
Çek Cumhuriyeti	1,5	4,5	10,5	3	75,4	3,3
Almanya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

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

Tablo 4. *Ülkemizde endüstrilerin su ve atıksu istatistikleri*

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

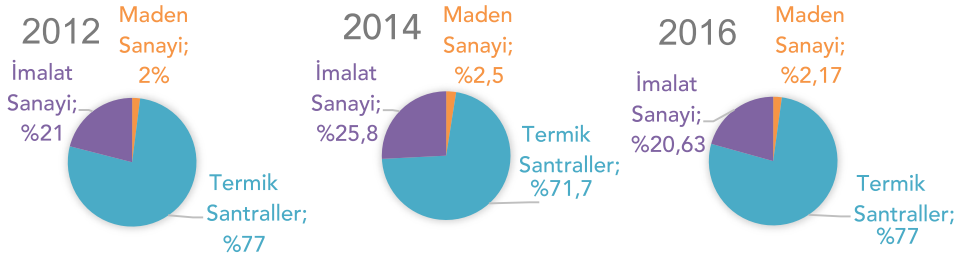
Tablo 4 incelendiğinde endüstrilerde kullanılan su miktarı ve dolayısı ile deşarj edilen atıksu miktarının yıllara göre arttığı (imalat sanayi hariç) görülmektedir. 2012 yılında endüstriler tarafından 8,3 milyar m^3 su kullanımı gerçekleşmiştir. Bu miktar 2014 yılında 9,1 milyar m^3 olarak gerçekleşirken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



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

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

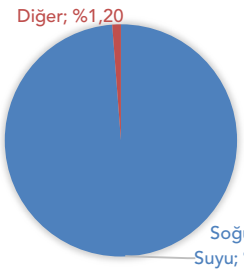
Denizlerden çekilen su hesaba katılmadığında ise ülkemizde endüstriyel kullanım için 2014 yılında çekilen suyun toplamının yaklaşık 974 milyon m^3 olduğu görülmektedir. Şekil 12'de yıllara göre endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımı verilmektedir.



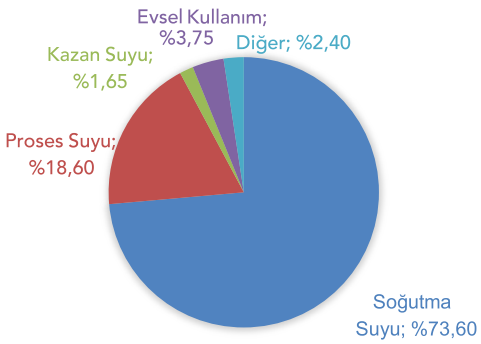
Şekil 12. *Endüstrilerde kullanılan toplam su miktarının sektörlere göre dağılımının yıllara göre değişimi*

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

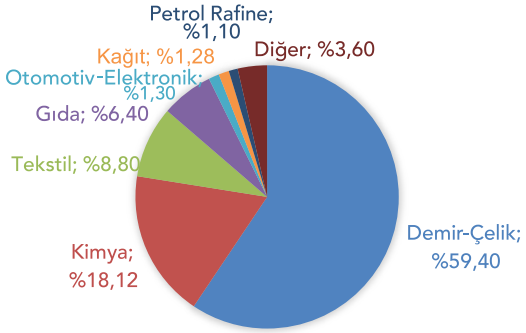
Şekil 13'te termik santrallerde suyun son kullanım alanları verilmektedir. Termik santrallerde kullanılan endüstriyel suyun neredeyse tamamının soğutma işlemi için kullanıldığı görülmektedir.



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



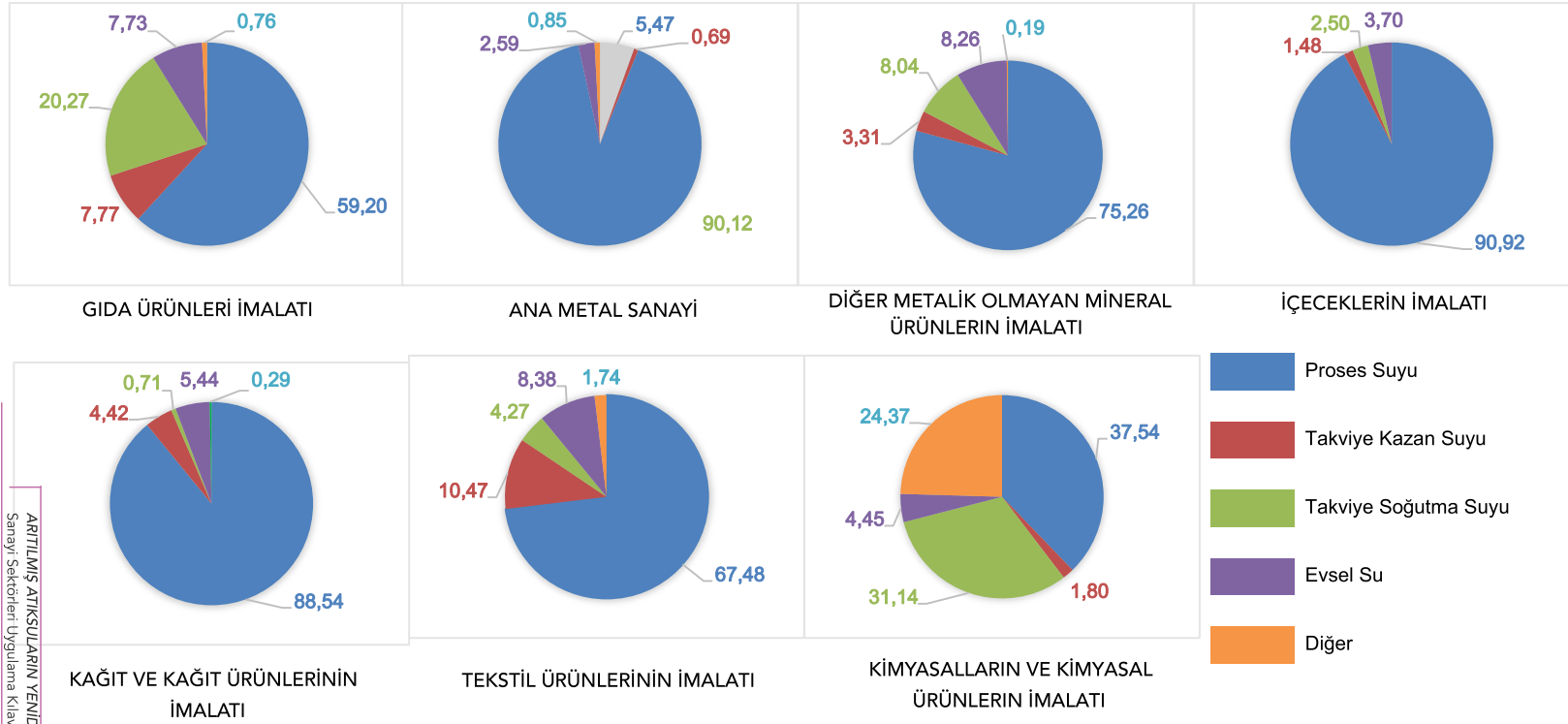
Şekil 14. *İmalat sanayinde kullanılan suyun son kullanım alanlarına göre dağılımı*



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

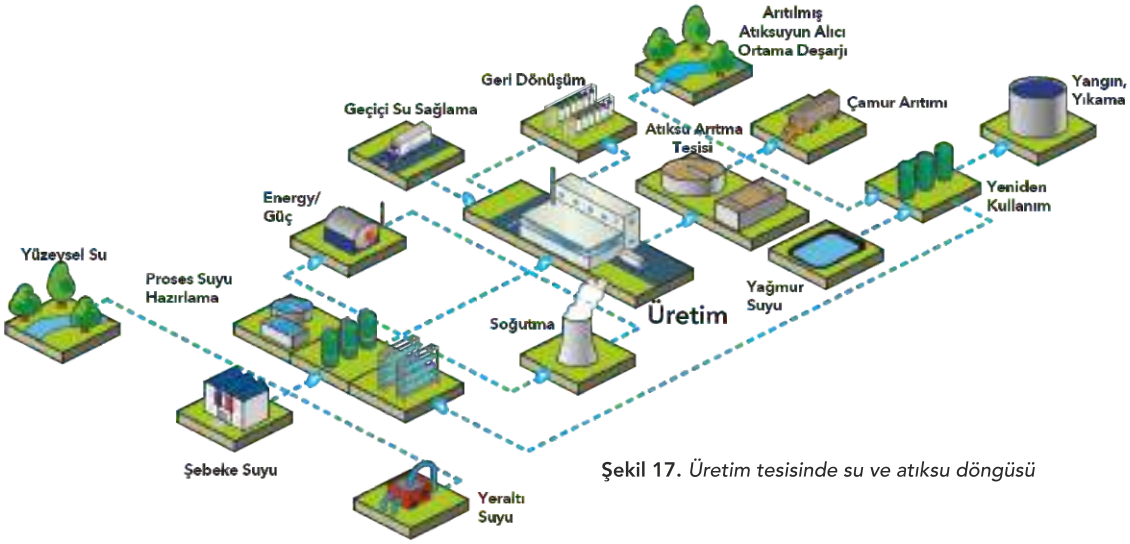
Şekil 14'te imalat sanayinde suyun son kullanım alanları verilmektedir.
Şekil 14 incelendiğinde imalat sanayinde endüstriyel su en çok %73,60 oranında soğutma suyu olarak kullanımaktadır, soğutma suyundan sonra % 18,60 ile proses suyu olarak kullanılmaktadır.
2016 yılında TUİK imalat sanayi endüstrisi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

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



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

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



Şekil 17. *Üretim tesisinde su ve atıksu döngüsü*

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

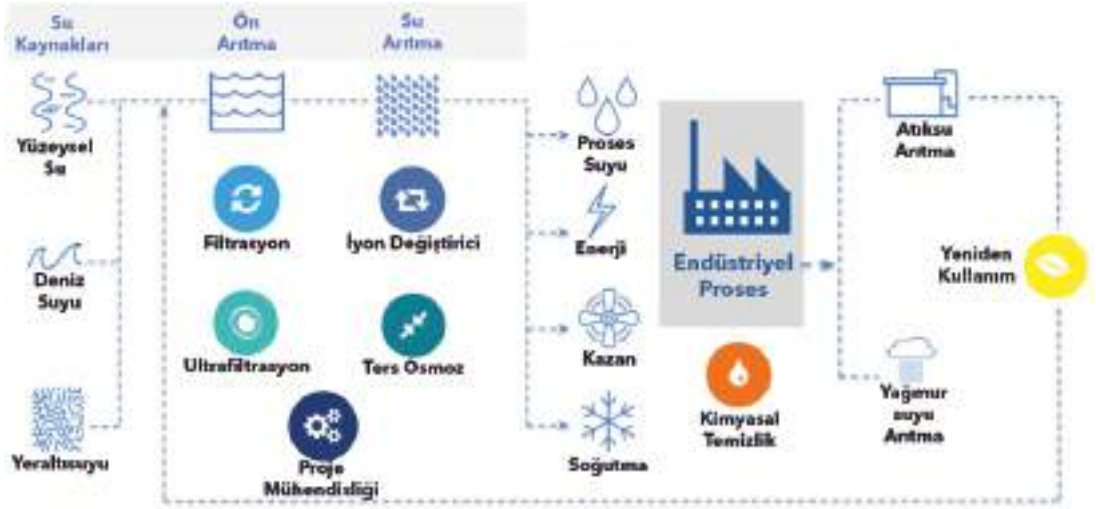
Tablo 5. *Farklı sanayi sektörlerinde oluşan atıksuların karakteristik özellikleri*

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

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

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

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



Şekil 18. *Endüstriyel proseste su ve atıksuyun kullanımı*

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

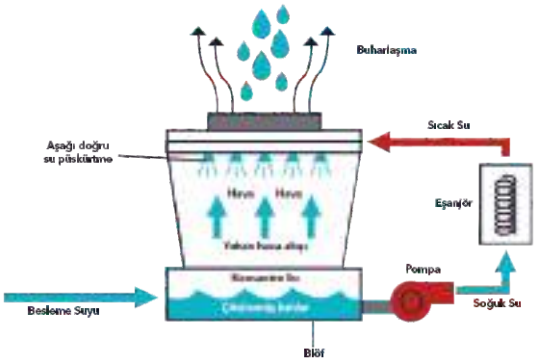
Geri kazanılmış su ilk kez endüstriyel amaçlarla kullanıldığında (ilk kullanım kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrilerinde) genellikle geri kazanılmış su arıtılmış ve tesis içinde yeniden kullanılmıştır. ABD'de kurak eyaletlerde (Arizona, Kaliforniya ve Teksas) su kaynakları giderek strese girmektedir ve yeraltı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

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

Soğutma Kulesi Tamamlama Suyu Olarak Kullanımı

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

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



Şekil 19. *Soğutma kulesi su akım şeması*

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

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

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

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

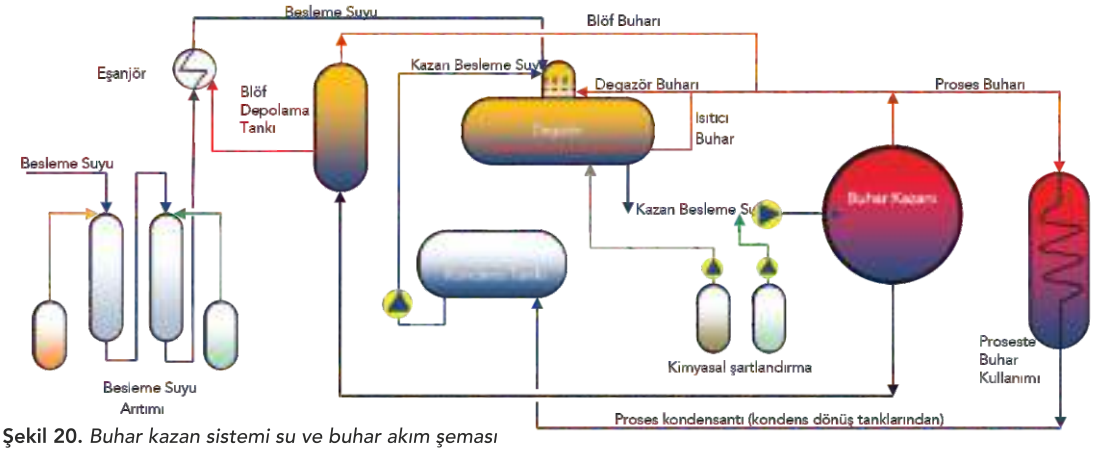
Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri Tablo 6'da verilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2007).

Tablo 6. *Soğutma kulelerinde kullanılacak su özellikleri*

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

Kazan Tamamlama Suyu Olarak Kullanımı

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



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

Tablo 7. *Tavsiye edilen kazan suyu limitleri*

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

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

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

Proses Suyu Olarak Kullanımı

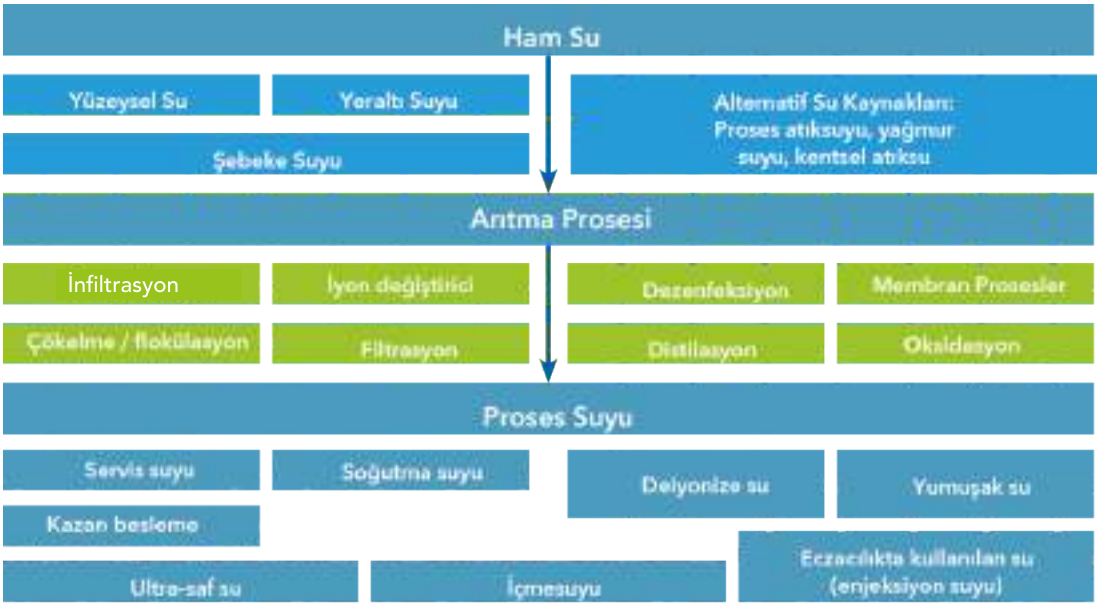
Sanayi sektörlerinin her birinde farklı üretim ve prosesler mevcut olduğundan ihtiyaç duydukları su kaliteleri de çok değişkendir. Her bir sanayi sektörü için su kullanacağı prosese göre farklı su kalitesi parametreleri öne çıkabilmektedir. Örnek olarak; korozyon ve kireçlenme için önemli parametreler;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

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

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

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

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



Şekil 21. *Sanayi sektöründe proses suyu hazırlama*

Sanitasyon ve Genel Temizlik İşlerinde Kullanımı

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

Geri Kazanılmış Atıksuların Yeniden Kullanımında Diğer Uygulamalar

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

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

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

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

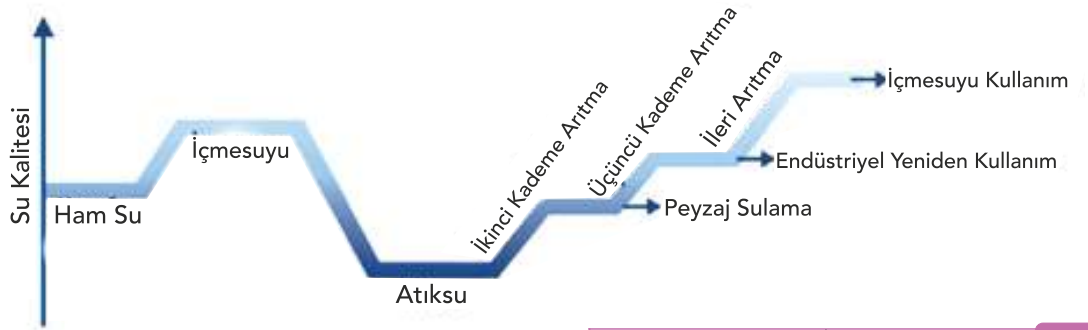
Şekil 22. *Endüstri'de atıksuyun yeniden kullanım alanları*

ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMINDA ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

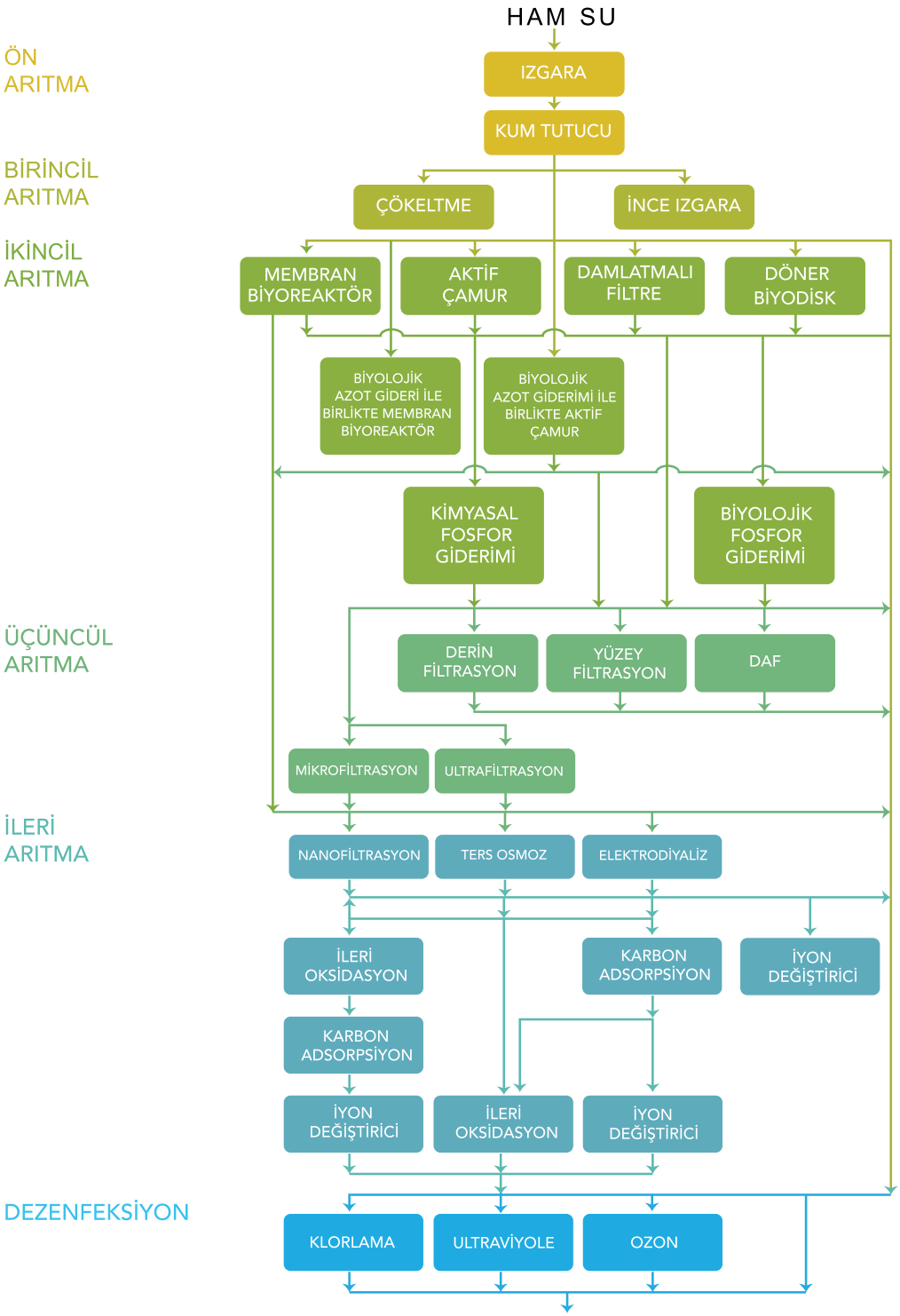
Yerüstü su kaynağından alınan ham suyun içmesuyu olarak kullanılabilmesi için çeşitli artıma prosesleri ile su kalitesinin arttırılması gerekebilir. İçmesuyu olarak kullanılan su, atıksuya dönüştüğünde su kalitesi azalır. Atıksu arıtma tesisinde, ikinci kademe sonrası peyzaj sulama suyu, üçüncü kademe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

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

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

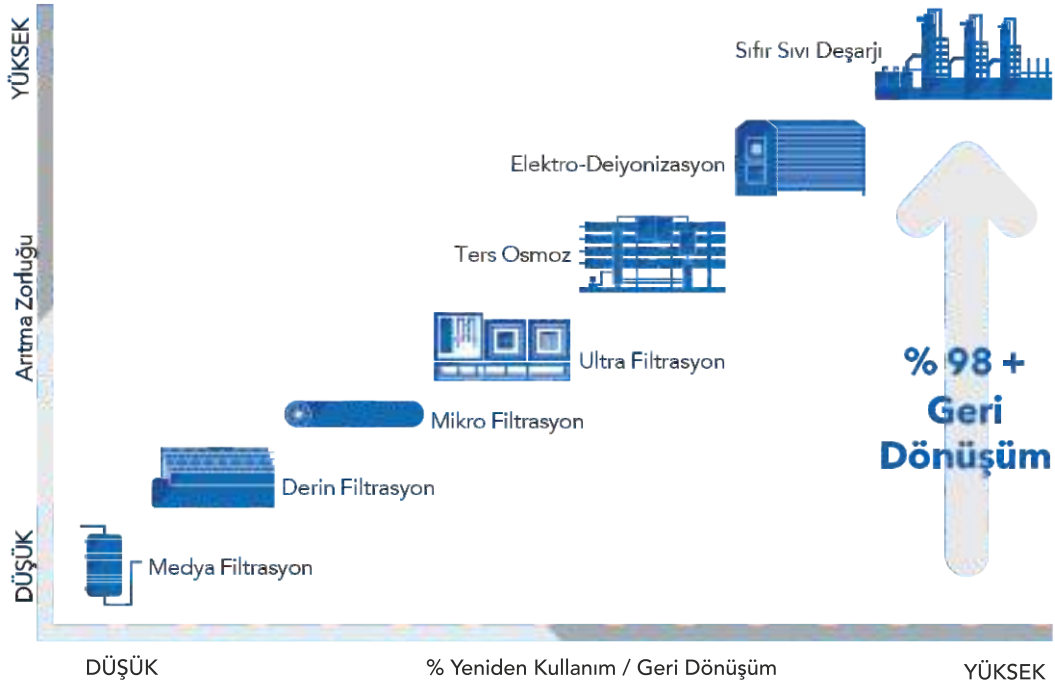


Şekil 23. *Suyun yeniden kullanım alternatifleri*



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

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



Şekil 25. *Arıtma proseslerinde atıksuyun geri dönüşüm oranı*

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

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

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

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

KAYNAK KONTROLÜ

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

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

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

FİLTRASYON

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

Kum Filtrasyonu

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

Yüzey Filtrasyonu

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

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

Membran Filtrasyonu

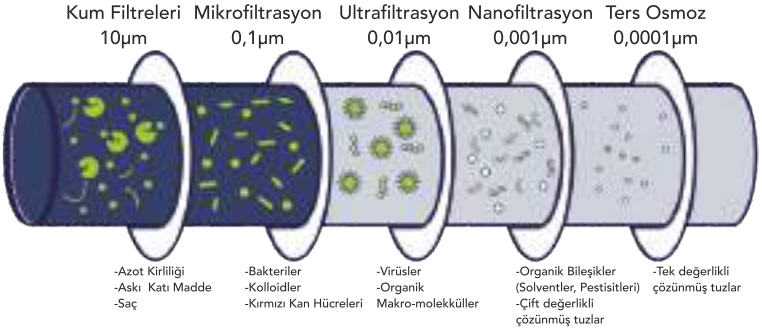
Membran, iki fazı ayıran ve maddenin taşınmasına karşı seçici bir bariyer gibi davranan ince bir film olarak tanımlanabilir. Suyun membran boyunca akması için bazı türlerde itici güçlere ihtiyaç vardır. Yeniden kullanım uygulamalarında, membran prosesleri tipik olarak basınç ile işletilen proseslerdir.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

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

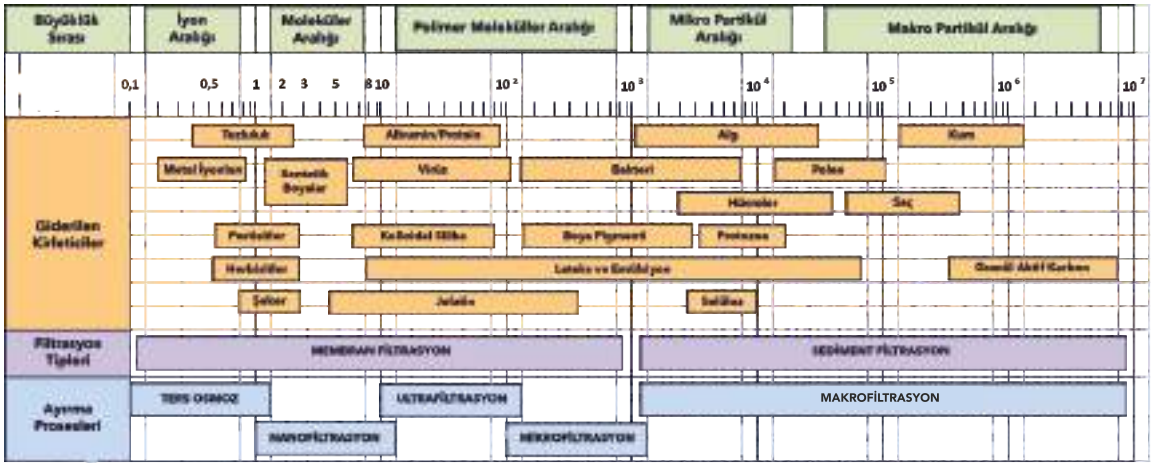
Bir filtreleme sisteminin kapasitesi, genellikle filtrasyon hızı ve filtrasyon sistemindeki mevcut yüzey alanına bağlı olarak değerlendirilir. Üreticiler, hidrolik yükleme hızlarını ya da su kalitelerini arttırmak suretiyle; filtre performansını arttırmak için sürekli olarak yeni filtreleme teknolojileri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

Tablo 10. *Filtre tipi özelliklerinin özeti*

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



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



Şekil 27. *Filtrasyon tiplerine göre giderilen kirleticiler*

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

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

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

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

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

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

DEZENFEKSİYON

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

Klorlama

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

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

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

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

Ultraviyole Dezenfeksiyon

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

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

Ozon

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

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

İLERİ OKSİDASYON

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

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

DOĞAL SİSTEMLER

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

KAYNAKLAR

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SANAYİ SEKTÖRLERİ UYGULAMA KILAVUZLARI

2 BÖLÜM

Bölüm Yazarı:
Prof. Dr. Bilgehan NAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Belirlenmesi

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

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

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

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

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

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

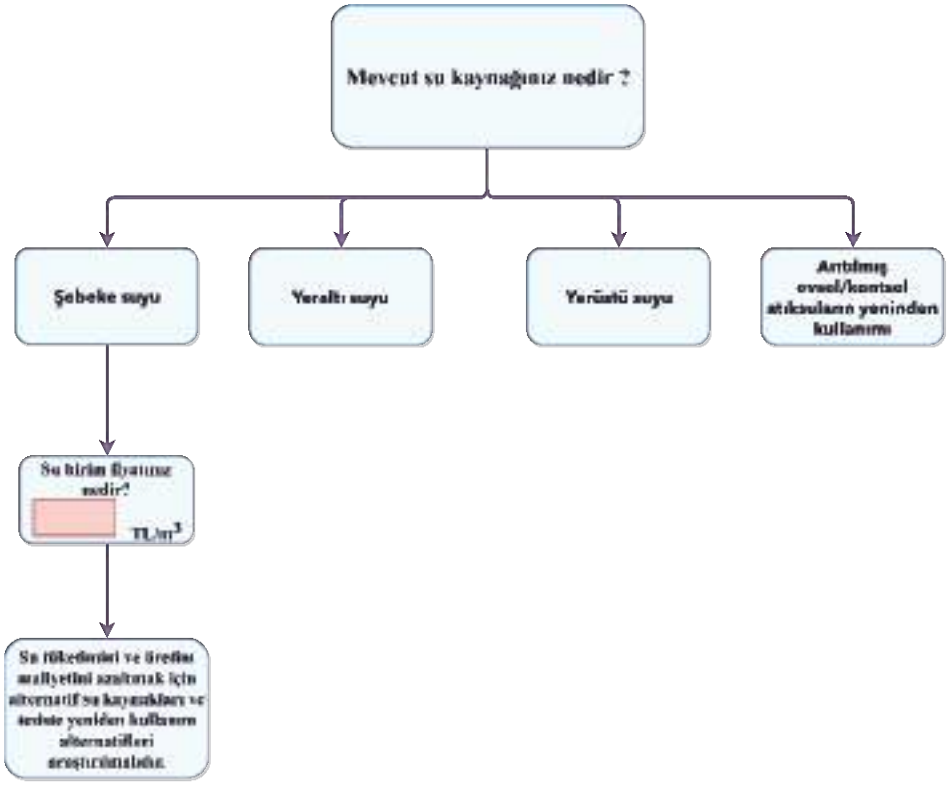
Tablo 2. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım kaynakları ve uygulama alanları matrisi*

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

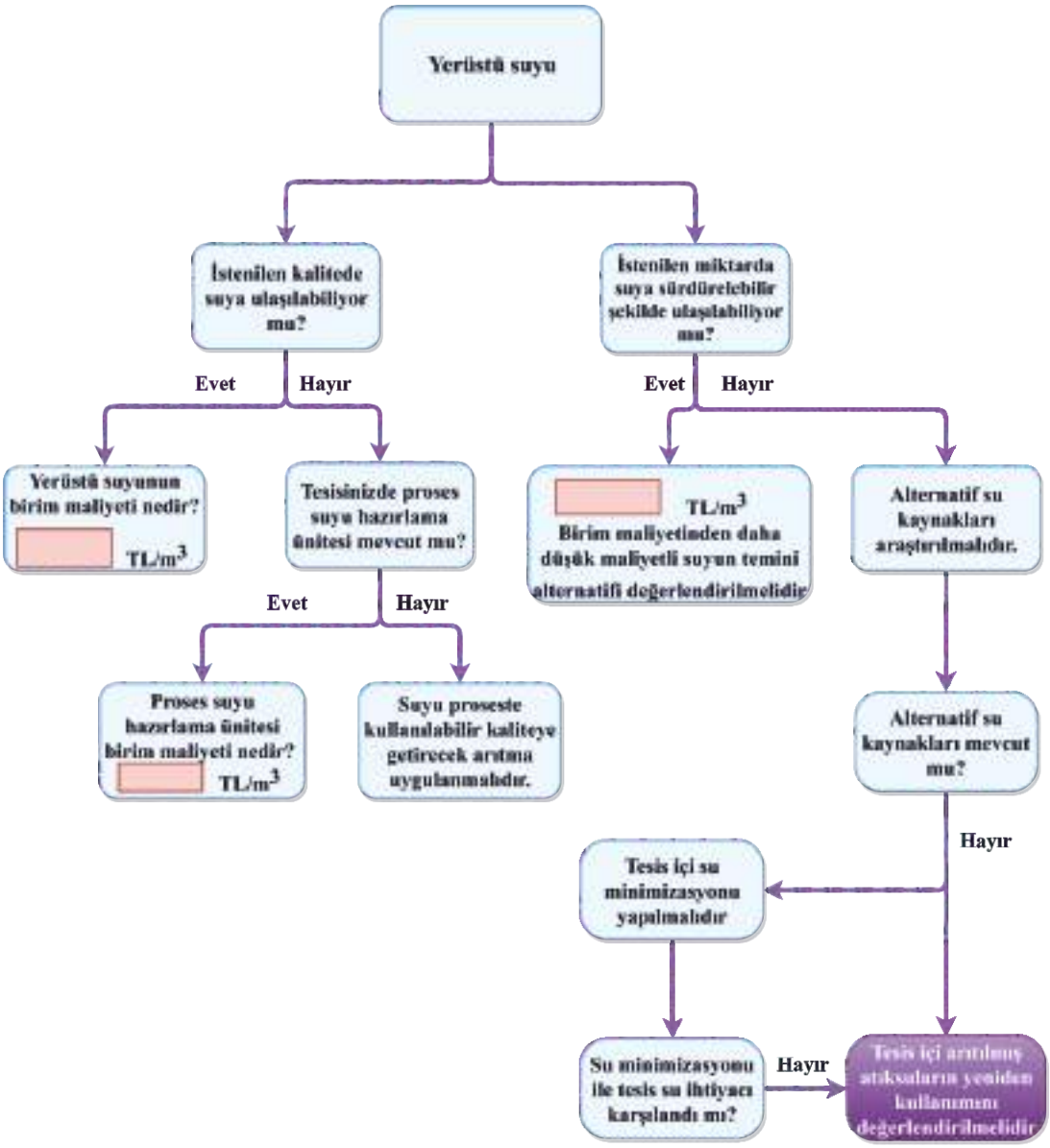
Tablo 3. *Sanayi tesisleri için yeniden kullanım alanlarına uygun su kalitesi belirleme matrisi örneği*

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

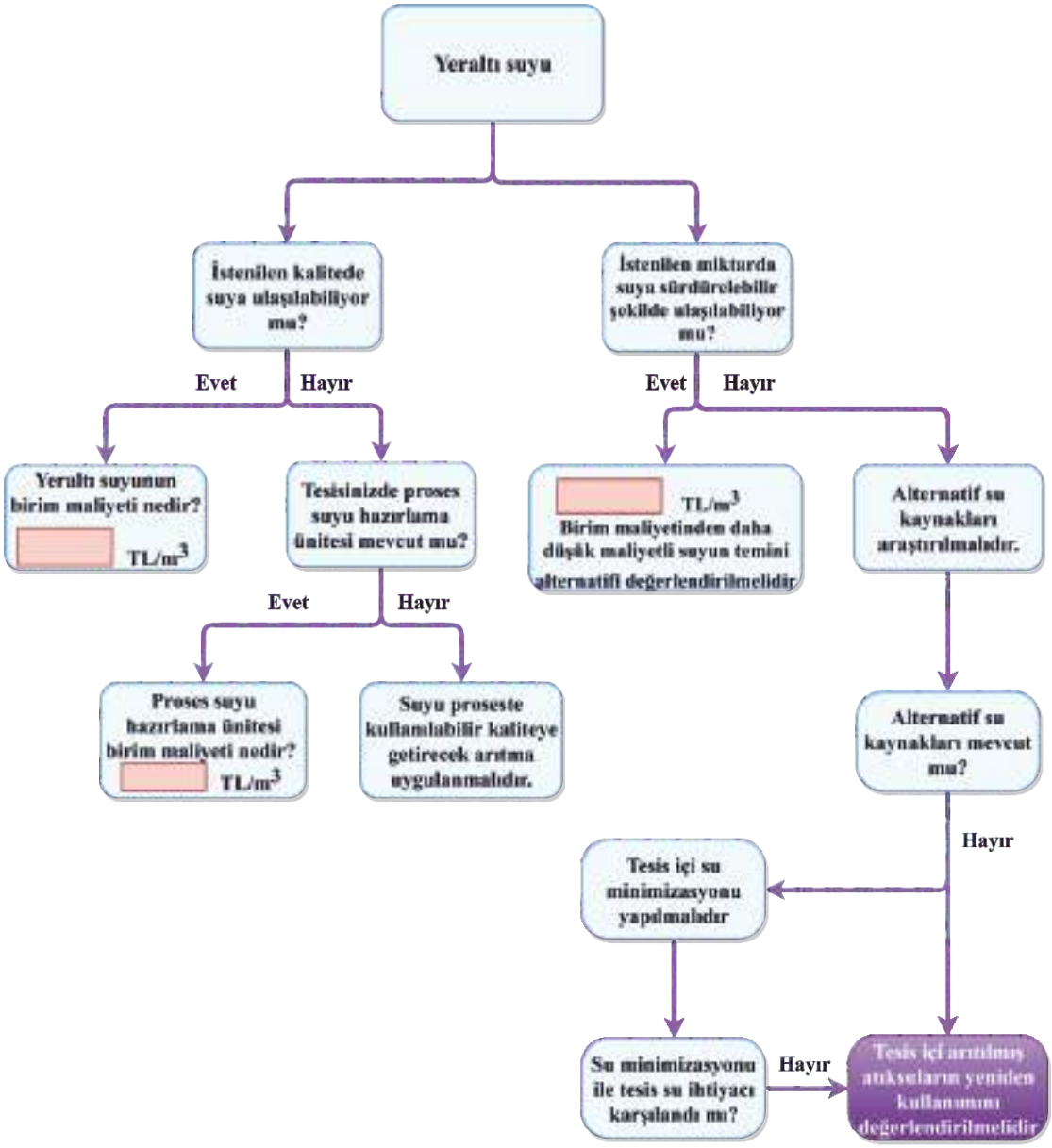
Şekil 1,2,3 ve 4'te sanayi tesislerinin su kaynağından başlanılarak su kullanımı, atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı değerlendirebilmesine imkan sağlayabilecek bir karar ağacı verilmiştir. Bu karar ağacı, sanayinin şebeke, yeraltı, yerüstü veya arıtılmış evsel atıksuyu su kaynağı olarak kullanması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



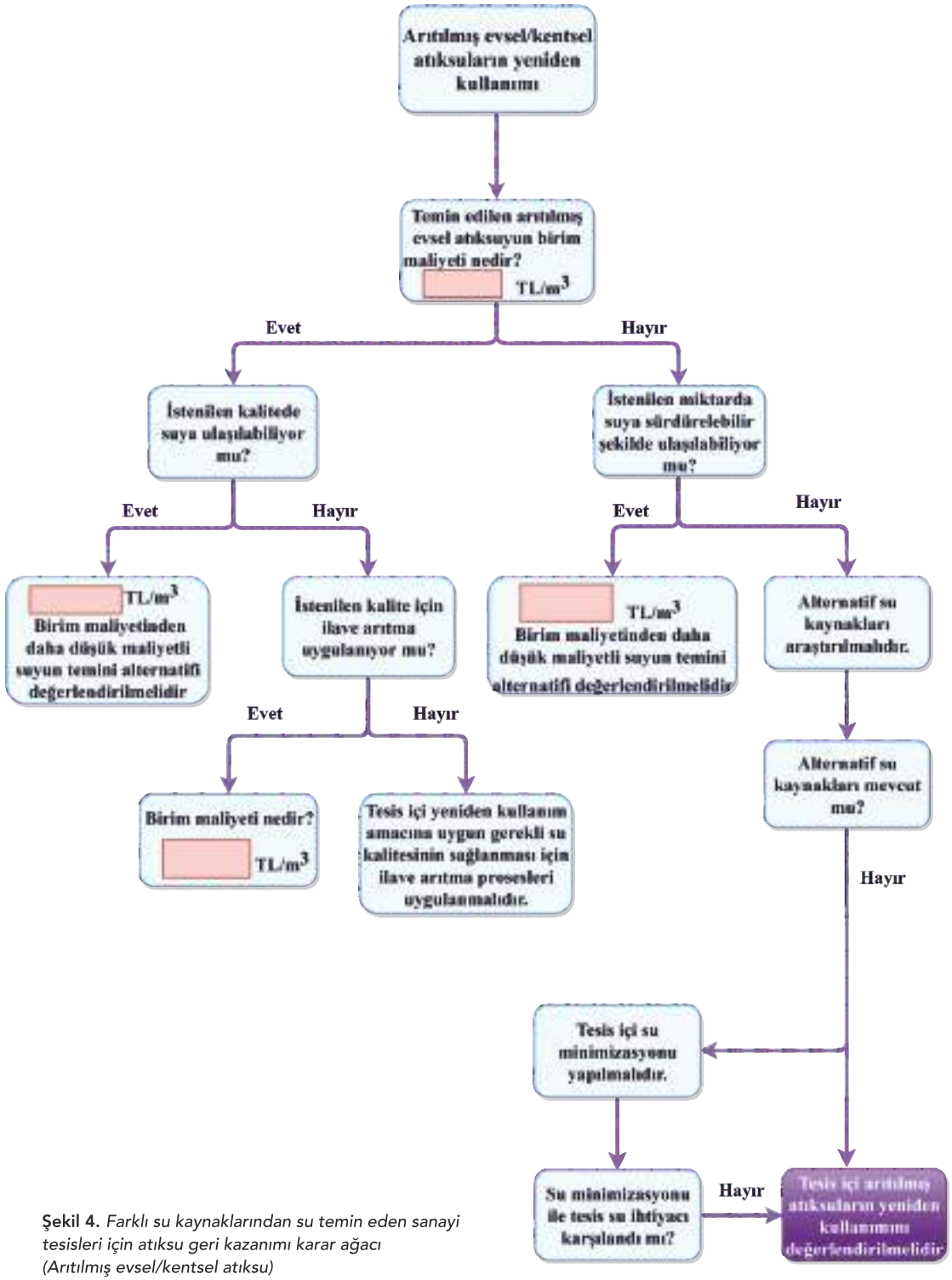
Şekil 1. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Şebeke suyu)*



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

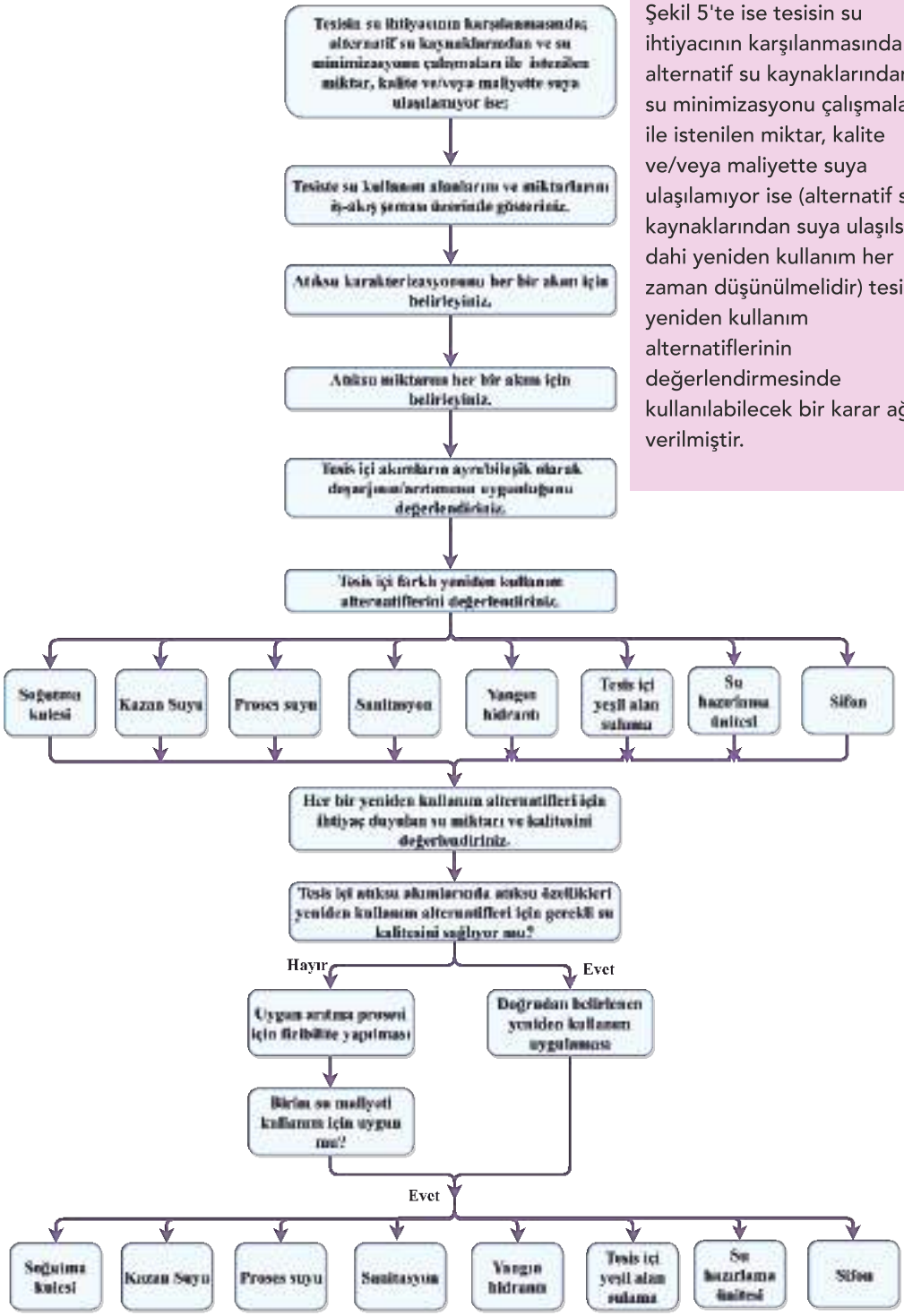


Şekil 3. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Yeraltı suyu)*



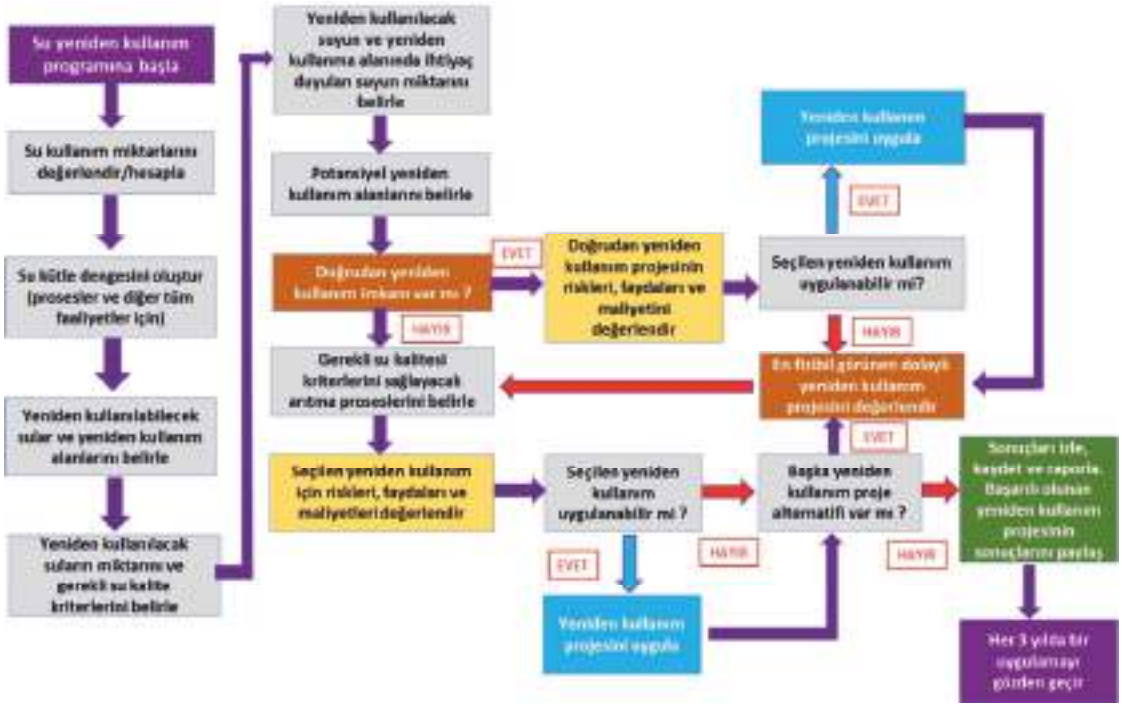
Şekil 4. *Farklı su kaynaklarından su temin eden sanayi tesisleri için atıksu geri kazanımı karar ağacı (Arıtılmış evsel/kentsel atıksu)*

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



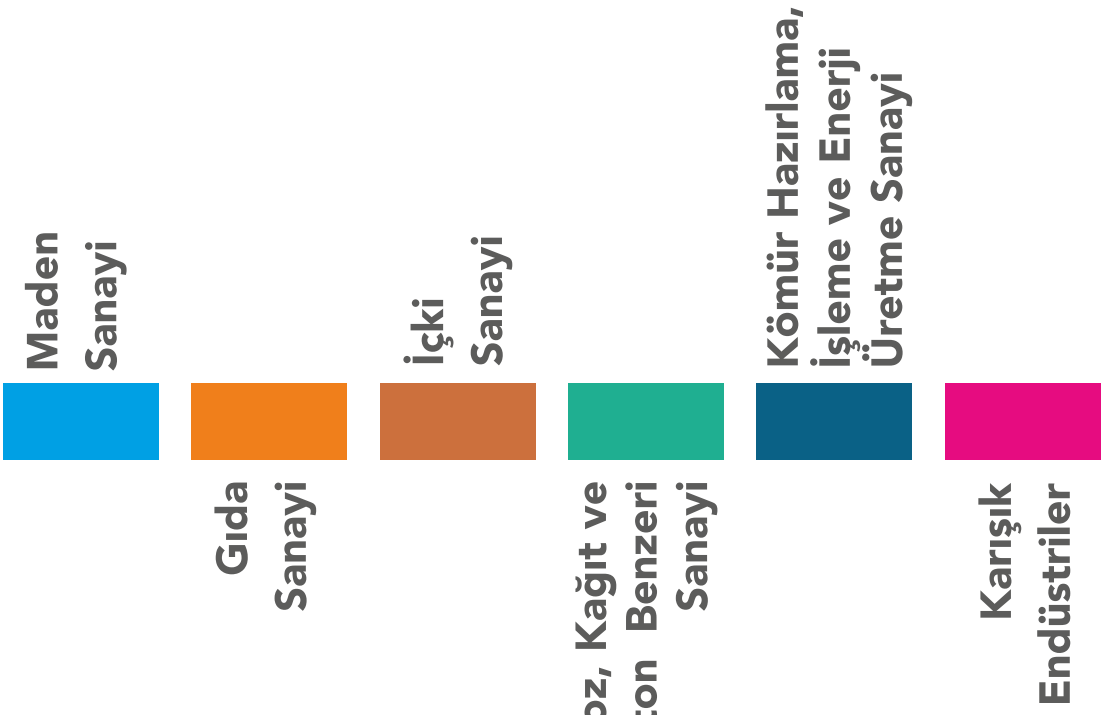
Şekil 5. *Sanayi tesisinde yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirmesinde kullanılabilecek bir karar ağacı*

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



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

Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları



Sanayi Sektörleri
Uygulama Kılavuzları

Kömür Hazırlama İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri

KÖMÜR HAZIRLAMA, İŞLEME VE ENERJİ ÜRETME TESİSLERİ

TERMİK SANTRALLER

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

DOĞAL GAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİ

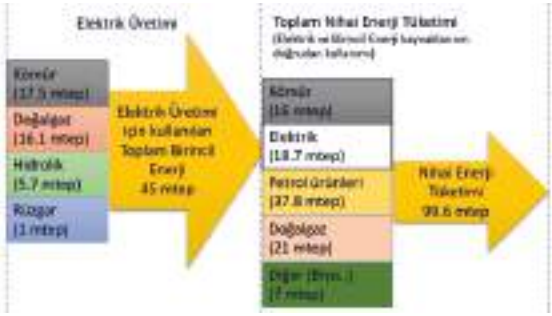
Bölüm Yazarları:
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Y. Doç. Dr. Ahmet AYGÜN
Çevre Yüksek Müh. Mustafa COP

TERMİK SANTRALLER

Kömür günümüzde birçok alanda kullanılmakla birlikte temel kullanım alanı elektrik üretimidir. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre hali hazırda kömür %37'lik payı ile dünya elektrik üretiminde en çok kullanılan kaynakdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) planlanmış hükümet politikalarını baz alarak hazırladığı "Mevcut Politikalar Senaryosuna" göre 2040 yılında kömürden elektrik üretiminin %34'lük pay ile yenilenebilir kaynakların (%31) üzerinde bir paya sahip olacağı öngörülmektedir. "Yeni Politikalar Senaryosu" kapsamında önümüzdeki 25 yıllık süreçte dünya genelinde 880 GW kapasiteli kömür yakıtlı termik santralin devreye gireceği planlanmaktadır. Dünya'daki görünüme bakıldığında özellikle Hindistan ve Pakistan gibi gelişmekte olan ülkelerde kömürün payının artmakta olduğu görülmekle birlikte AB ülkeleri ve ABD'de kömürden elektrik üretiminin çevresel kaygılar nedeniyle azalma trendinde olduğu ortaya çıkmaktadır. AB üyesi ülkeler değerlendirildiğinde kömürün geleceğinde iki önemli kömür tüketicisi olan Polonya ve Almanya'nın politikalarının etkili olacağı belirtilmektedir [1].

Türkiye'nin 2015 yılı nihai enerji tüketim dengesini yaklaşık 100 milyon ton eşdeğer petrol (mtep) (99.6) olarak kabul edersek; bu miktarın 18.7 mtep'ini elektrik, 21 mtep'ini doğalgaz, 37.8 mtep'ini petrol ürünleri, 16 mtep'ini kömür oluşturmaktadır. Geriye kalan 7 mtep'e yakın kısmını da biyokütle, güneş ısısı ve jeotermal ısısı oluşturmaktadır. Elektrikte 18.7 mtep üretmek için 45 mtep birincil enerji kaynağı kullanılmaktadır [2].

Şekil 1'de Türkiye'nin enerji tüketiminin ve elektrik üretiminin dağılımı verilmektedir.



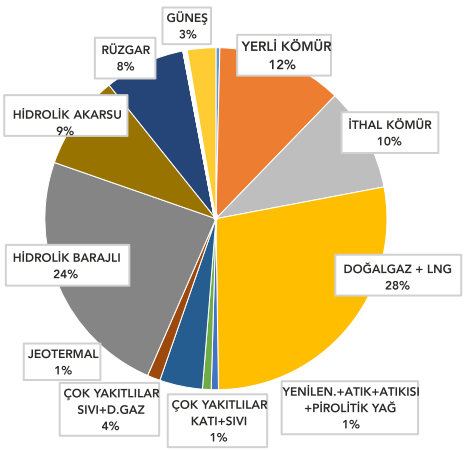
Şekil 1. *Türkiye'nin enerji tüketiminin ve elektrik üretimin dağılımı [2]*

Türkiye'de enerji ihtiyacının büyük bir kısmı termik santraller tarafından karşılanmaktadır. Kasım 2017 sonu itibariyle Türkiye'de toplam kurulu güç 83.139 MW'dır. Bunun 46.183 MW'ı termik, 1.020 MW'ı jeotermal, 27.212 MW'ı hidrolik, 6.479 MW'ı rüzgar, 2.246 MW'ı güneş kaynaklıdır.

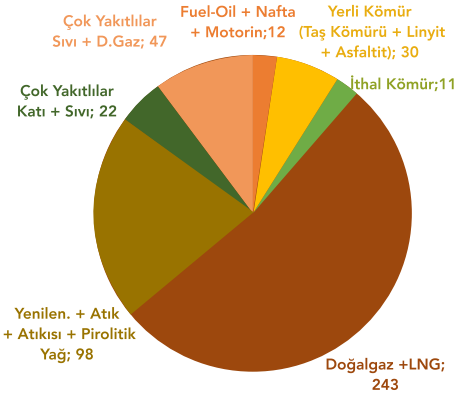
2017 yılı Kasım ayına ait verilere göre Türkiye'de 1282 adet lisanslı olmak üzere toplam 4064 adet santral bulunmaktadır. Bunların 463'ü termik santraldir. Bu işletmelerin kullanılan yakıta göre ve kurulu güçlere göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Türkiye'de ki santrallerin kurulu güç dağılımı ve sayısının grafiği Şekil 2-3'te verilmiştir [3]. Kömür yakıtlı termik santrallerin haritası Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. *Yakıt cinsine göre Türkiye'de kurulu santraller ve kurulu güç (Kasım 2017)*

Yakıt Cinsleri	2016 Yılı Sonu İtibariyle			30 Kasım 2017 Sonu İtibariyle		
	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Adet Sayısı	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Adet Sayısı
Fuel-Oil + Nafta+ Motorin	368,7	0,5	14	303,6	0,4	12
Yerli Kömür(Taş Kömürü+Linyit +Asfaltit)	9.842,4	12,5	29	9.872,6	11,9	30
İthal Kömür	7.473,9	9,5	10	8.133,9	9,8	11
Doğalgaz + LNG	22.156,1	28,2	240	23.063,7	27,7	243
Yenilen.+Atık+Atıkısı-Pirolitik Yağ	467,4	0,6	82	562,7	0,7	98
Çok Yakıtlılar Katı+Sıvı	667,1	0,8	23	682,9	0,8	22
Çok Yakıtlılar Sıvı+D.Gaz	3.354	4,3	46	3.369,6	4,1	47
Jeotermal	820,9	1,0	31	1.019,7	1,2	39
Hidrolik Barajlı	19.558,6	24,9	116	19.776,0	23,8	117
Hidrolik Akarsu	7.119,6	9,1	478	7.428,7	8,9	499
Rüzgâr	5.738,4	7,3	148	6.447,8	7,8	161
Güneş	12,9	0,0	2	13,9	0,0	3
Termik (Lisanssız)	82,1	0,1	33	193,5	0,2	62
Rüzgâr(Lisanssız)	12,9	0,0	23	31,6	0,0	43
Hidrolik(Lisanssız)	2,9	0,0	3	7,0	0,0	9
Güneş (Lisanssız)	819,6	1,0	1.043	2.231,8	2,7	2.668
TOPLAM	78.497,4	100,0	2.321	83.138,9	100,0	4.064



Şekil 2. *Kullanılan yakıt cinsine göre santrallerin kurulu güç dağılımı [3]*



Şekil 3. *Kullanılan yakıt cinsine göre santrallerin sayısı [3]*

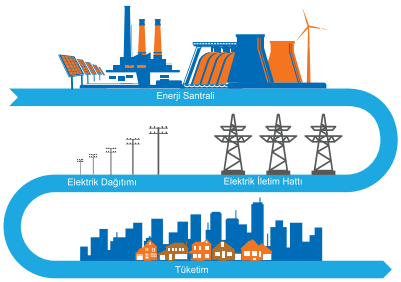
Şekil 4. *Türkiye'de bulunun termik santrallerin dağılımı*

TERMİK SANTRALLERDE ENERJİ ÜRETİMİ

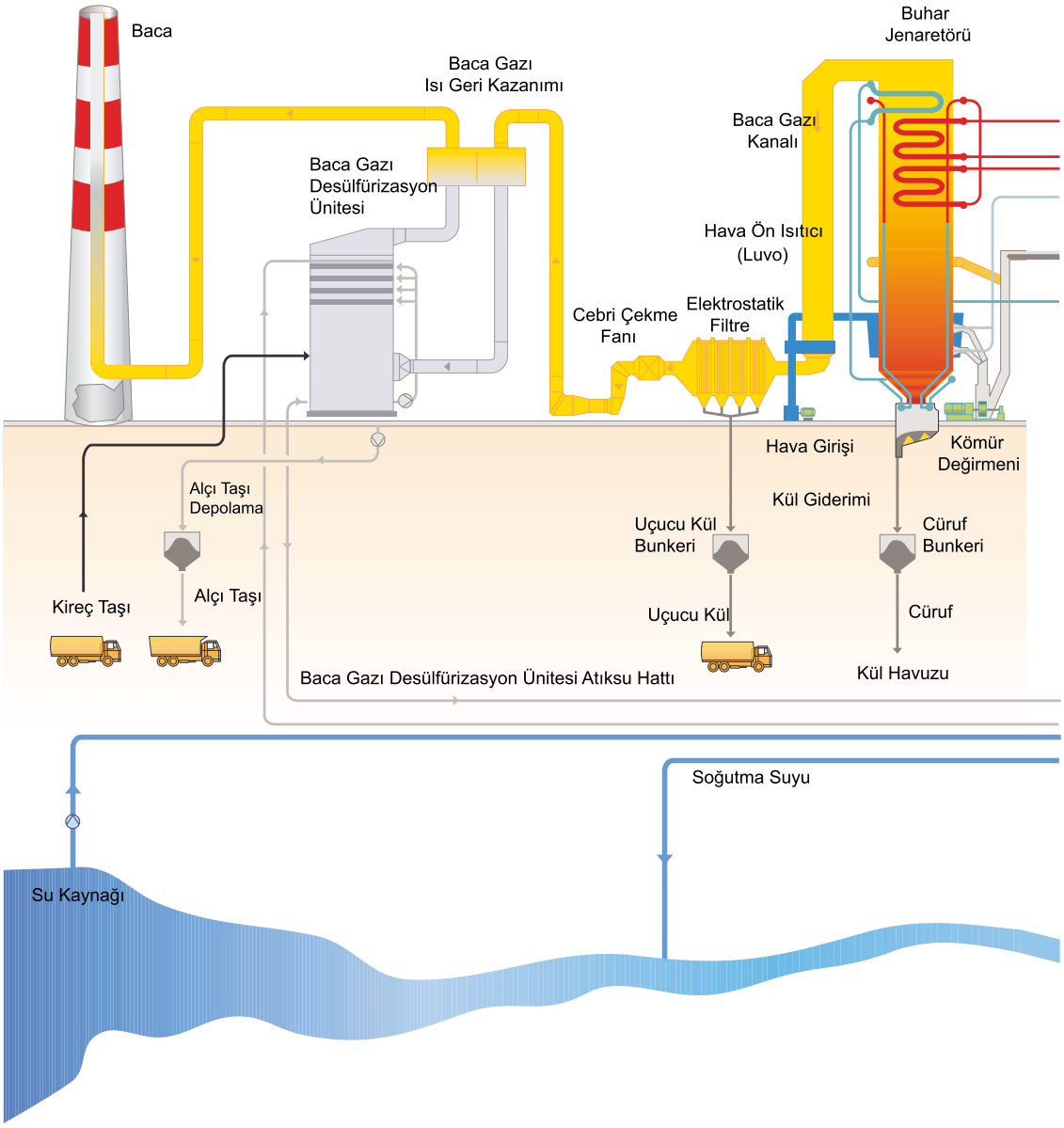
Termik santraller katı, sıvı ve buhar halindeki yakıtlarda var olan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini hareket (kinetik) enerjisine, hareket enerjisini de elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Kısaca termik santraller kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştüğü tesislerdir.

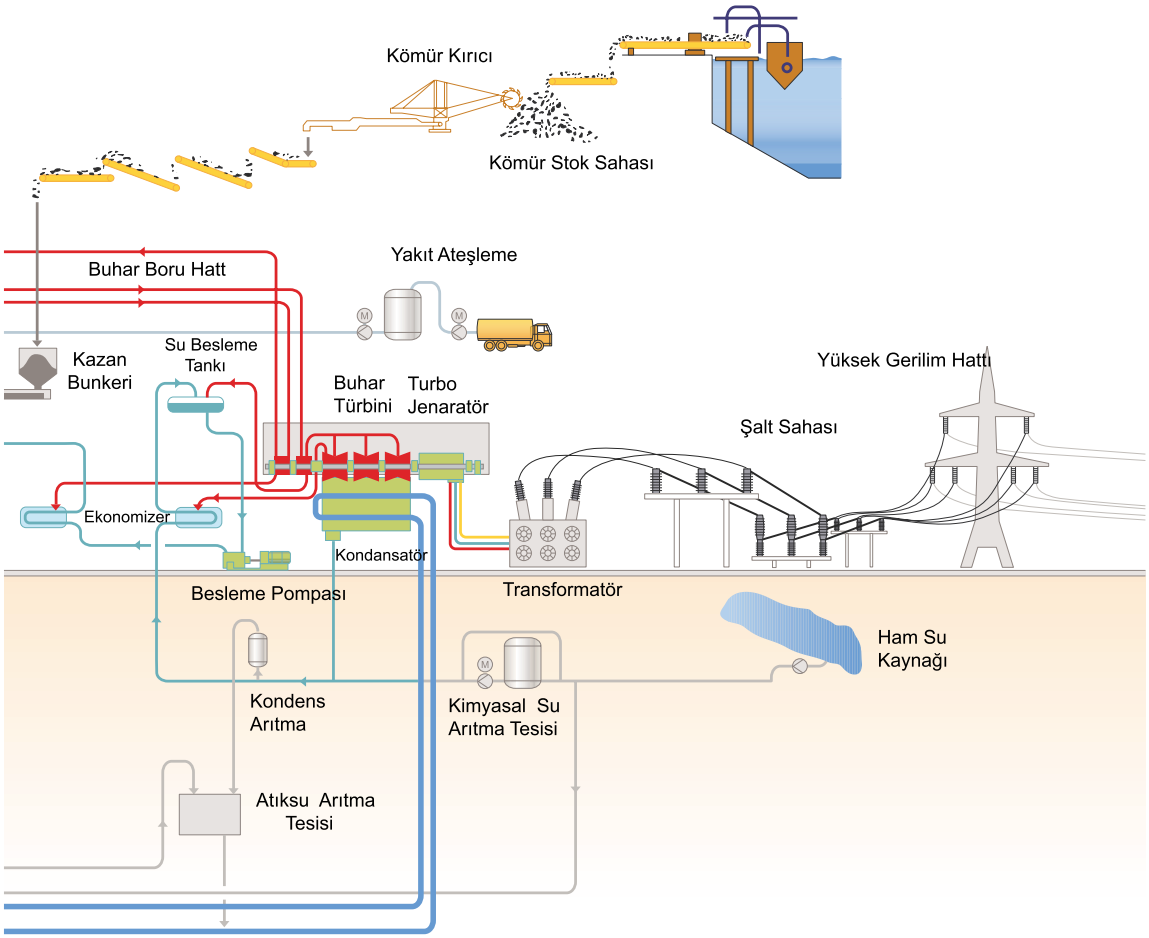
Termik Santralin Çalışma Prensibi

Elektrik enerjisine dönüştürülecek olan termik enerjiyi üretmek için, yakıt bir buhar kazanında yakılır. Buhar kazanı, bir ocak ile bir boru demetinden oluşur; boruların içinde dolanan su, burada ısıtılır ve buhar haline geldikten sonra türbinlere gönderilir. Eğer yakıt olarak kömür kullanılıyorsa, bu kömür önce öğütülüp toz haline getirilir; sonra sıcak havayla karıştırılır ve brülörle buhar kazanının yanma odasına püskürtülür. 600 MW'lik bir santralde buhar 565 derecelik bir sıcaklığa ve 174 bar düzeyinde bir basınca çıkarılır. Yüksek basınçlı türbinlere yollanan buhar kısmen genleşerek türbin çarklarını döndürür. Bu ilk aşamadan geçen buhar, enerjisinin bir bölümünü korur. Aynı buhar, ayrı bir devre aracılığıyla yeniden kazana gönderilir ve tekrar ısıtılır; sonra 34 bar düzeyinde bir basınçla, orta basınçta çalışan türbine basılır. Düşük basınç bölümündeyse buhar tam olarak genleşir. Bu çevrimin sonunda basıncı 300 milibara düşen buhar kondensere gönderilir. Kondenser, buharın yeniden suya dönüştürüldüğü soğuk bir kaynaktır. Buhar burada, içinde soğutma suyunun dolandığı binlerce küçük çaplı boruya temas ederek tekrar suya dönüşür. Sonra pompalarla toplanır ve yeniden ısıtma çevrimine sokulur; bu amaç için türbinin farklı noktalarında ısıtılan buhardan yararlanılır. Böylece yeni çevrim başlamış olur. Su tekrar buhar kazanına girer, burada ısıtılarak buharlaştırılır ve türbinlere doğru yollanır. Türbinlerin mekanik enerjiyse jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür ve son olarak da bir transformatörde gerilimi yükseltilen elektik, genel iletim hatlarına verilir [4].



KÖMÜR YAKITLI TERMİK SANTRALLER PROSES AKIM ŞEMASI





Çevre ve Şehircilik Bakanlığı - Selçuk Üniversitesi
Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi
2018

Kömürlü santrallerin çok farklı tipleri olmasına karşın kazanların teknolojilerine göre sınıflandırılmasında bugün iki ana tipten bahsedilmektedir.

1. Püskürtme Toz (Pulverize) Kömürlü Kazanlar
2. Akışkan Yataklı Kazanlar

Kömüre dayalı bir termik santraldeki ana işlem; kömürde var olan kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu dönüşün, esas itibari ile büyük miktardaki kömürün kazan adı verilen yanma odasında yakılmasıyla elde edilen ısı ile, bir dizi arıtma işlemiyle saflaştırılan suyun yüksek basınç ve sıcaklıkta buharlaştırılması ve buharın türbinde mekanik enerjiye, jeneratörde de elektrik enerjisine dönüşmesiyle gerçekleşir.

Termik santral, 6 ana birimden oluşmaktadır.

- Kömür Hazırlama Ünitesi
- Saf Su Hazırlama Ünitesi
- Kazan ve Yardımcıları
- Türbin ve Yardımcıları
- Elektrik Sistemleri
- Baca Gazı (Kükürt) Arıtma Ünitesi

Bu birimler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Kömür Hazırlama Ünitesi

Ham kömür, kömür madeninden santrale büyük gemilerle, mavnalarla, demir yolu vagonlarıyla, kamyonlarla ve konveyörlerle taşınabilir. Türkiye'deki kömür santrallerinin çoğunluğu düşük kalorifik değere sahip linyite dayalı olduklarından linyit madeni çıkarılan bölgede kurulmuşlardır.

Madenden gelen ham kömür kırıcılardan geçirilir ve 30-40 mm olan tane büyüklüğüyle santralin 20-30 günlük kapasitesini karşılayacak kapasiteye sahip olan kömür stok sahasına getirilir. Kömür, stok sahasından park makinalarıyla alınır ve ünite bunkerlerine götürülür.

Saf Su Hazırlama Ünitesi

Su kaynağından alınan su havuzlara iletilir, sertliğinin yüksek olması durumunda bir kimyasal madde ($FeCl_3$) ilavesi ile çöktürme havuzlarında sertliği giderilir. Sertliği giderilmiş olan su çok katmanlı kum filtresinden geçirilerek; içme suyu, soğutma kulesi ve yangın devresinde kullanılabilir.

Anyon, katyon ve mixbed karışık yataklı reçinelerden geçirilen suda demineralizasyon sonrası su diğer amaçlar için hazır hale getirilir.

Su Geri Kazanım Tesisi

Prosesin farklı noktalarından kaynaklanan proses atıksuları (kazan altı tekneleri curuf yıkama, soğutma kuleleri drenaj, by-pass filtre geri yıkama suları, su tasfiye drenajları) fiziksel arıtma sonrası, yıkama suyu ve kül ıslatma suyu gibi yumuşak su gerektirmeyen ve önemli miktarlarda su kaybına sebep olan yerlerde yeniden kullanmak mümkündür.

Kazan ve Yardımcıları

Püskürtme toz kömürlü kazanlı santrallerde bunkerlerden alınan kömür nakil bantlarıyla değirmenlere gelir, değirmenlerde toz haline getirilen kömür yanma odasına sıcak havayla püskürtülür ve kömür havada yanar. Yakıtın kimyasal enerjisi kazanda meydana gelen yanma sonucu ısı enerjisine dönüşür. Yanma sonucu meydana gelen gazlar (baca gazları) ısılarını konveksiyon ve radyasyon (ışıma) yolu ile kazan borularına vererek boruların içinden geçmekte olan suyun sıcaklığının yükselmesini sağlarlar. Su sıcaklığı kazan basıncının karşılığı olan buharlaşma sıcaklığına eriştiğinde buharlaşma başlar. Bu şekilde meydana gelen su-buhar karışımı genellikle "dom" denilen bir büyük tankta doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Doymuş buhar daha sonra yine baca gazları ile kızdırılır. Su ise tekrar çevrimin başlangıç noktasına gönderilerek yeniden ısıtılır. Kızdırıcılarda mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıklara erişmek arzu edilen bir durumdur, çünkü bu sıcaklık ne kadar artarsa verim de o kadar artar [31]. Termik santrallerde kullanılan kazan tipleri ve verimleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Termik santrallerde kullanılan kazan tipleri ve verimleri*

Kazan Tipi	Sıcaklık (C°)	Basınç (Bar)	Güç (MW)	Verim (%)
Subkritik	540	130 - 220	150 - 660	30 - 40
Süper Kritik	560 - 600	220 - 250	500 - 1000	39 - 41
Ultra Süper Kritik	> 600	> 250	500 - 1100	> 42

Buhar parametrelerinin dışında kritik altı ve kritik üstü kazanlar arasındaki en önemli fark "dom" olarak bilinen ve genellikle kritik altı kazanlarda bulunan buhar ayrıştırıcısı kritik üstü kazanlarda yoktur. Dom olmadığından üst blöf yapılmamakta ve bunun yerine kondens arıtma sistemi kullanılarak su arıtımı yapılmaktadır. Elektrofiltre, dönerli hava ısıtıcı ve eko altlarından toplanan uçucu kül; kül barajına atılır. Kazanda yanma atığı olarak meydana gelen kül ve curuf ile desülfürizasyon tesisi atığı alçıtaşı kül barajına atılır. Kazan altına dökülen curuflarda, kazan altı teknesinde su ile ıslatılıp soğutulduktan sonra bantlar yardımıyla kül barajına atılır.

Türbin ve Yardımcıları

Türbinler dönme hareketleriyle çalışan bir ve daha fazla hareketli, sabit kanatlardan meydana gelen, ısı enerjisini önce kinetik enerjiye sonra mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır. Kazandan çıkan taze buhar önce yüksek basınç türbinine girer. Burada türbin kanatlarını döndürdükten sonra tekrar kazana gönderilirek kızdırıcılarda orta basınç da kızdırılır. Oradan orta basınç türbinine girer. Son olarak alçak basınç türbinine girer.

Kondens yoğuşumunu sağlayan ana soğutma suyu, soğutma kuleleri ile kondens bölmeleri arasında ana soğutma suyu pompaları vasıtasıyla devir daim yapar. Kondenste ısınan soğutma suyu soğutma kulesindeki fanlar yardımıyla hava ile cebri olarak soğutulur.

Elektrik Sistemleri

Alternatörün (jeneratörün) stator ve rotor adında iki ana parçası vardır. Stator, sabit olup gövdeyi oluşturur. Rotor ise, hareketli parça olup, türbin tarafından döndürülür. Rotor, sargılıdır. Bu sargılara ikaz dinamosu tarafından doğru akım verilir. Böylece rotorda manyetik alan meydana gelir. Rotor aynı zamanda türbinle döndürüldüğü için döner manyetik alan meydana gelir. Bu sargılar döner manyetik içerisinde bulunduğu için üzerlerinde elektrik akımı meydana gelir. Her sargıda üretilen elektrik akımına faz denir. Alternatörde üretilen elektrik akımının bir miktarı iç ihtiyaç trafosu vasıtasıyla santralin kendi iç ihtiyacında kullanılırken geriye kalanı da ana trafoya gönderilir.

Baca Gazı Arıtma Ünitesi

Baca gazı kükürt arıtma tesisinde konvansiyonel kireçtaşı ile yıkama uygulanmakta olup, yan ürün olarak alçıtaşı üretilir. Baca gazı kükürt arıtma tesisi; kireçtaşı çözeltisi hazırlama ünitesi, yıkayıcı kule ve alçıtaşı su giderme ünitesi olmak üzere 3 ana bölümden oluşur. Santralin mevcut elektrofiltrelerinden geçen baca gazı, yıkayıcı kuleye gönderilir. Yıkayıcı kule, SO_2 arıtımının gerçekleştiği ortamdır. Baca gazı aşağıdan yukarıya doğru yükselirken aynı zamanda aşağıya doğru püskürtülen reaksiyon çözeltisi ile karşılaşmakta ve baca gazındaki kükürtoksitleri resirküle eden çözelti vasıtasıyla absorblanarak alçıtaşı çözeltisi elde edilir. Baca gazı arıtma teknolojileri kuru ve ıslak sistemler olarak ikiye ayrılır. Kuru proseslerin avantajları olmasına rağmen yüksek kükürtlü kömürlerde tutma verimi yeterli olmadığı için, dünyada ve Türkiye'de en yaygın kullanılan proses ıslak kireç taşı prosesidir. Bu proseste kükürt tutma verimi %95'in üzerine çıkabilmektedir.

Termik Santrallerde Çevre Yönetimi

Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı üzerine olan etkileri, içeriğinde bulunan veya yanma sonucu oluşan maddelerin, su, hava ve toprak gibi çeşitli alıcı ortamlara karışmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle kömür, büyük oranda organik maddeden oluşmakla birlikte coğrafi bölgeye ve yatağa bağlı olarak kurşun, cıva, nikel, kalay, kadmiyum, antimuan ve arsenik gibi çeşitli ağır metaller ile radyoaktif element olarak uranyum, toryum ve stronsiyum gibi elementler içerebilmektedir.

Termik santrallerde kirleticiler;

- Kömürün taşınması, depolanması ve sisteme beslenmesi sırasında,
- Kömürün kazanda yakıldıktan sonra oluşan yanma gazının atmosfere deşarjında,
- Yakıtın yanması sonucu oluşan külün depolanması sırasında yaşanmaktadır.

Bu kirleticiler

Katı

Endüstriyel nitelikli katı atıklar (Kül, cüruf, jips, arıtma ünitelerinden çıkan arıtma çamurları, hurda malzemeler, ünitelerin bakımları sırasında oluşan katı atıklar) evsel nitelikli katı atıklardır.(ambalaj atıkları, organik atıklar)

Sıvı

Endüstriyel nitelikli sıvı atıklar (soğutma suyu, proses atık suları, tehlikeli kimyasallar ve ünitelerin bakımı sırasında oluşan atık yağlar) evsel nitelikli sıvı atıklardır.

Gaz

SO_x, NO_x, CO, CO_2, HF, HCL toz emisyonu formlarında meydana gelmektedir.

TÜİK, Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre termik santrallerde 12 bin tonu tehlikeli olmak üzere toplam 19,5 milyon ton atık oluşmuştur. Toplam atığın %87,8'ini kül ve cüruf atıkları oluştururken %12,2'sini atıksu arıtım çamurları, kimyasal atıklar, kağıt, plastik, metalik atıklar ile evsel ve benzeri atıklar oluşturmuştur. Toplam atığın %83,3'ü kül dağı, kül barajı veya düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilirken, %16,7'si ise atık bertaraf/geri kazanım tesislerine ve maden/taş ocaklarına gönderilmiştir.

Termik santrallerde oluşan kirleticilerin çevresel etkilerine bakıldığında;

- Kömürün yanması sonucu meydana gelen gaz atıklar (SO_x, NO_x) asit yağmurlarının oluşmasında önemli rol oynarlar.
- CO_2 emisyonu atmosferde birikip, atmosferin özelliklerini etkileyip, uzun vadede sera etkisi yaratmaktadır.
- Kömürün yanması sonucu kazan altında biriken cürüf ve baca gazı desülfürizasyon ünitesinden çıkan jips önemli çevre kirliliğine sebep olmaktadır.
- Kömür stok sahalarında kömürün depolanması ve taşınımı sırasında ve termik santralde kömürün yanması sonucu bacadan toz, uçucu kül yayılması gibi emisyonlar oluşabilmektedir. Rüzgar ve benzer etkiler sonucunda bu atıkların atmosfere yayılmasıyla hava ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır.
- Açık alanda depolanan kömürün havayla teması sonucu yanma olayı meydana gelmekte ve hava kirletici emisyonlar oluşmaktadır.
- Kömür stok sahalarında kömürün düzensiz depolanması, toprak ve yer altı suyu kirliliğine sebep olmaktadır.
- Doğal çevrede varolan radyoaktif elementler kömürle birlikte yeraltından çıkarılmakta, organik bünyeye bağlı olan U-Th, kömürün organik elemanları (kül) üzerinde birikmektedir. Buda kömürün yanması sonucu oluşan külün depolanması sonucu radyoaktif kirliliği meydana getirmektedir.
- Soğutma suyunun etkisi ise deşarj edilen suyun sıcaklığının yüksek olması durumunda alıcı ortamdaki yaşamı olumsuz yönde etkilemesidir.

Meydana gelen çevresel etkileri gelişen çevre teknolojileri ve kirliliği azaltmaya yönelik yöntemler ile en aza indirgemek ve önlemek mümkündür. Yanma öncesi, düşük kaliteli kömürlerin iyileştirilmesi ve kükürt gibi kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla fiziksel ve kimyasal yöntemler uygulanmaktadır. Fiziksel yöntemle kömürün özelliğine bağlı olarak SO_2 emisyonlarının %10-40 arasında azaltılması mümkün olabilmektedir. Kimyasal yöntemlerle ise SO_2 emisyonlarının %90'lara varan oranlarda

uzaklaştırılması mümkün olabilmektedir.
Yakma sistemlerinde yüksek sıcaklıktaki yanma süreçlerinde oluşan NO_x miktarı; kazan ve yakıcı tasarımına, işletme koşullarına (sıcaklık, hava/yakıt oranı, basınç gibi), yakıttaki kimyasal azot miktarına bağlı olarak değişmektedir. Az hava ile yakma, kademeli hava beslemesi ve kademeli yakıt besleme yöntemlerinin uygulanabileceği değişik tip düşük NO_x yakıcılarının kullanımıyla, maksimum alev sıcaklığı ve oksijen miktarı düşürülerek, hem yakıtın içermiş olduğu azota bağlı, hem de termal NO_x oluşumu azaltılabilmektedir. NO_x oluşumu, az havayla yanmayı sağlayan yakıcılarla %0-25, yakma havasını kademeli olarak besleyen yakıcılar ile %40-65, yakıtı kademeli olarak besleyen yakıcılar ile ise %50-70 oranında azaltılabilmektedir. SO_2 gazlarının, yanma sırasında kısmen uzaklaştırılması amacıyla uygulanan kimyasal enjeksiyon yöntemi genel olarak kireç, kireçtaşı, dolomit gibi kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yolla %98 oranında SO_x giderimi söz konusudur.
Yakma işlemi sonrası oluşan baca gazı kül parçacıkları ihtiva etmekte olup, atmosfere verilmeden önce yüksek verimliliğe sahip elektrostatik çökelticiler ile arıtılır. Yakma sonucu oluşan yanma gazı içerisindeki SO_x ise desülfürizasyon ünitesinde kireç sütü çözeltisi ile muamele edilerek %98 verimle arıtımı sağlanmaktadır. NO_x emisyonu ise denitrifikasyon reaktöründe amonyak ve katalist ortamından geçirilerek zararsız N_2 ve H_2O dönüştürülür. Bu yolla %80-90 verimle NO_x arıtımı sağlanmaktadır.
Çevre açısından en önemli sorunlardan biride kömür küllerin oluşturduğu katı atıklardır. Bu küller kömürün cinsine ve yakma metoduna bağlı olarak ağır metaller içermektedir. Ayrıca atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurları ve baca gazı arıtımdan çıkan alçıtaşı da katı atık olarak nitelendirilmektedir. Bu atıklar çimento katkısı olarak bertaraf edilebilir [5].
Özetle; temel amacı elektrik üretmek olan termik santrallerde gerekli arıtma teknolojileri ve çevre yönetim sistemleri uygulanılarak bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunması sağlanmalıdır.
Termik santraller, yakma atıklarını ve yan ürünleri, düzenli atık depolama sahasında bertaraf yerine, bu ürünlerden mümkün olduğunca yararlanmaya odaklanmalıdır. Kömür ve linyitle çalışan yakma tesislerinden çıkan atık madde ve yan ürünlerin farklı yeniden kullanım alanları Tablo 3'te verilmiştir [6].

Tablo 3. *Kömür ve linyitle çalışan termik santrallerde oluşan atık ve yan ürünlerin yeniden kullanım alternatifleri*

KÖMÜR VE LİNYİT KULLANAN YAKMA TESİSLERİNİN ATIK VE YANÜRÜNLERİNİN YENİDEN KULLANIMI	Uçucu kül		Kazan altı külü		Sorpsiyon Prosesi ürünleri	Alçıtaşı
	Linyit	Taş kömürü	Linyit	Taş kömürü		
Beton katkı maddesi	X	X				
Betona yönelik hafif ağırlıklı agregalar	X	X	X	X		
Köpük harç, gözenekli beton	X	X			X	
Yüksek performanslı beton	X	X				
Çimento endüstrisinde harman katkı maddesi	X	X				
Katılaşma gecikmesi için çimento katkı maddesi					X	X
Yalıtım duvarları	X	X			X	
İnşaat alçıtaşı						X
Seramik endüstrisi	X	X	X	X	X	
Yol yapımı ve peyzaj	X	X	X	X		
RCC (Silindir Sıkıştırmalı Beton) tekniği ile baraj yapımı	X	X	X	X		
Toprak işi ve yol yapımına yönelik yer stabilizaysonu	X	X	X	X	X	
Ses yalıtımı		X		X	X	
Arazi doldurma	X	X	X	X	X	X
Tehlikeli madde immobilizasyonu	X	X				
Arazi dolumu taban astarı için astar malzemesi	X	X			X	
Arazi dolum kapatma için yüzey filtresi			X	X		
Biyolojik atık su arıtmaya yönelik temel materyal			X	X		
Stabilize kül çimento karışımı	X	X			X	
Ark doldurma	X	X			X	
Madencilikte tasfiye malzemesi	X	X	X		X	
Zeolit üretimi	X	X				
Kağıt endüstrisinde doldurma materyali					X	X
Termal geri dönüşüm			X	X		
Baca gazı kükürt giderimi					X	

TERMİK SANTRALLERDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU

2000-2050 yılları arasında imalat, termal enerji üretimi ve evsel kullanımdaki artan taleplere bağlı olarak dünya çapında su ihtiyacının %55 oranında artması öngörülmektedir [7].
Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) "Yeni Politikalar Senaryosuna" göre küresel enerji talebinin 2010-2035 yılları arasında %35, elektriğe olan talebin ise %70 oranında artması beklenmektedir [8].
Yine aynı raporda, enerji üretimi için çekilen su miktarının 2010 yılında 540 milyar m^3 iken 2035 yılında 560 milyar m^3 (%3,7 artış) olacağı tahmin edilmektedir, ayrıca su tüketiminin (kaynağa geri gönderilmeyen hacmin) %40 artacağı düşünülmektedir [8].
Genel olarak, enerji santrali ne kadar verimli olursa, ısı kaybı daha az olmakta ve dolayısıyla daha az soğutmaya ihtiyaç duymaktadır. Daha eski santraller yeni santrallere göre daha az verimli olduğundan su tüketimleri fazladır (benzer meteorolojik koşullar altında aynı tip soğutma sistemi kullanılması durumunda).

Termik santrallerde su kullanılan alanlar, su kalitesine ve nihai kullanım amacına göre değişmektedir, genel olarak su kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir;

- Soğutma kuleleri
- Tamamlama suyu
- Su hazırlama ünitesi
- Kül ıslatma ve iletme suyu
- Servis suyu
- İçme suyu

Kömür yakıtlı termik santrallerde baca gazı kükürt arıtma sistemi (FGD), kazan tamamlama suyu, kül iletimi ve tesis içindeki diğer uygulamalar için su gerekmektedir.
Termik santrallerde spesifik su tüketim değerleri 1.7 – 8.0 m^3/MW arasında değişmektedir. Tablo 4 - 5'de farklı kapasiteli termik santrallerin spesifik su tüketim değerleri verilmektedir [9].
Kömür yakıtlı termik santrallerde kullanılacak olan suyun miktarı; kullanılan kazanın tipine (subkritik, süper kritik veya ultra süper kritik), soğutma kulelerinin türüne ve baca gazı arıtma prosesine göre değişim göstermektedir. Örneğin, ıslak tip FGD sistemleri subkritik kazanlarda 0,25 m^3/MWh tamamlama suyu ihtiyacı olurken, süper kritik kazanlarda 0,22 m^3/MWh tamamlama suyuna ihtiyaç vardır. Yarı kuru FGD teknolojileri ise %60 daha az su tüketmektedir [10].

Tablo 4. *Farklı kapasiteli termik santrallerin spesifik su tüketim değerleri [9]*

Santral Tipi	Aralık Değer (m^3/MW)
Gaz yakıtlı termik santraller	1.7 – 2.0
110 MW Kömüryakıtlı termik santraller	7.0 – 8.0
200 MW Kömür yakıtlı termik santraller	4.5 – 5.0
200 MW Kömür yakıtlı termik santraller (Kül iletim suyu geri kazanımı yapılan)	3.5 – 4.0
660 MW Kömür yakıtlı termik santraller	4.0 – 4.5
660 MW Kömüryakıtlı süper termik santraller (Kül iletim suyu geri kazanımı yapılan)	3.0 – 4.0

Tablo 5. *Kömür yataklı termik santrallerin üretim proseslerinde spesifik su kullanım değerleri* **[9]**

Kullanım Alanı	Su tüketimi (m/MW)	Su kullanımı (%)
Kül ıslatma ve iletme	2.0	41.4
Soğutma kuleleri	1.5	30.4
Su hazırlama ünitesi	0.13	2.6
İçme suyu	0.32	6.3
Kömür iletimi	0.065	1.3
Yangın söndürme	0.37	4.7
Diğer	0.66	13.2
Toplam	5	100

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında incelenen iki termik santralin su kullanım alanları ve miktarları Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmektedir

Tablo 6 . *Proje kapsamında incelenen termik santralin (A tesisi) su kullanım alanları ve miktarları*

Kullanım Alanı	Miktar (m^3/sa)	Su tüketimi (m^3/MW)	Su Kullanımı (%)
Soğutma suyu sistemleri	700	1,91	64
Saf su üretimi	70	0,19	6
Yangın suyu hatları	110	0,30	10
Kül ıslatma, ızgara altı, palet yıkama ve soğutma	220	0,60	20
Toplam kullanım miktarı	1100	3,01	100

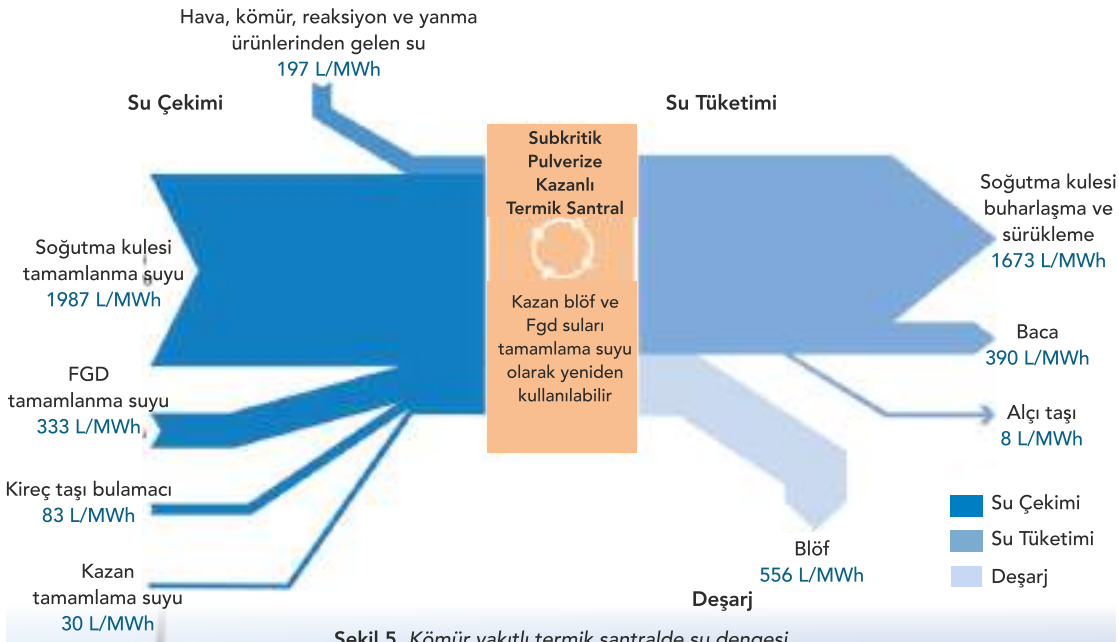
Tablo 7. *Proje kapsamında incelenen termik santralin (B tesisi) su kullanım alanları ve miktarları*

Kullanım Alanı	Miktar (m^3/sa)	Su tüketimi (m^3/MW)	Su Kullanımı (%)
Soğutma suyu	1036	1,67	57
Lavvar tesisine eklenen su	50	0,08	3
Baca gazı arıtmada kullanılan su	342	0,55	19
Kazan suyu	95	0,15	5
Geri kazanıma beslenen su	50	0,08	3
Kullanma suyu	36	0,06	2
Diğer (Yangın hatları, temizlik vb.)	217	0,35	12
Toplam kullanım miktarı	1826	2,95	100

Proje kapsamında incelenen termik santrallerin su tüketimi ve literatür de belirlenen referans değerler karşılaştırıldığında, üretim kapasitelerine göre su tüketim değerleri 3 m^3/MW ve 2,95 m^3/MW olarak hesaplanmış olup literatür değerlerde belirtilen minimum aralıkta yer almaktadır.

Ülkemizde ki termik santrallerde su kullanım alanları incelendiği zaman ise en yoğun su tüketiminin soğutma kulelerinde olduğu görülmektedir. Soğutma kulelerinde kullanılan su miktarının literatür değerlerinden yüksek olduğu görülmüş olup, soğutma kulelerinde su minimizasyonu için raporun değerlendirme bölümünde verilen tavsiye ve yöntemler uygulanabilir.

Kömür yakıtlı termik santral için örnek su dengesi Şekil 5'te verilmiştir



Şekil 5. *Kömür yakıtlı termik santralde su dengesi*

TÜİK, Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 2016 yılında termik santraller tarafından %98'i denizden olmak üzere 8,6 milyar m^3 su çekilmiş ve toplam suyun %98'i soğutma suyu olarak kullanılmıştır.

Termik santraller tarafından 2016 yılında deşarj edilen 8,5 milyar m^3 atıksuyun %99'unu soğutma suyu oluşturmuş ve toplam atıksuyun %99,7'si denize deşarj edilmiştir [11].

Tablo 8. *Termik santrallerde kaynağına göre çekilen su miktarı, 2010 – 2016 (TÜİK, 2017).*

Su kaynağı	Yıl	Toplam çekilen su (bin m^3/yıl)	Soğutma suyu (bin m^3/yıl)
Toplam	2010	4.285.419	4.227.027
	2012	6.407.505	6.334.599
	2014	6.536.015	6.397.092
	2016	8.611.221	8.467.951
Deniz	2010	4.139.761	4.125.206
	2012	6.254.111	6.242.314
	2014	6.388.620	6.304.087
	2016	8.477.209	8.383.528
Baraj	2010	49.817	29.400
	2012	52.128	31.121
	2014	66.515	36.679
	2016	57.749	35.850
Akarsu	2010	40.426	33.395
	2012	42.066	30.860
	2014	40.001	31.966
	2016	35.512	24.145
Kuyu	2010	9.205	4.706
	2012	10.456	4.457
	2014	12.324	4.858
	2016	11.366	1.878
Diğer(1)	2010	46.209	34.320
	2012	48.744	25.847
	2014	28.554	19.503
	2016	29.385	22.550

TÜİK, Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016
Tablolardaki rakamlar yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.
(1) Şehir şebekesi, kaynak, göl, gölet, organize sanayi bölgesi şebekesi, başka bir işyerinden vb. çekilen suları içermektedir.

Termik santrallerde su kullanılanım ve atıksu oluşum alanları aşağıda detaylı olarak özetlenmiştir;

Kömür Hazırlama Ünitesi;

Kömürün alınması, taşınması, depolanması ve sisteme beslenmesi aşamasında oluşacak atıksular;

- **Maden Sahalarında Yeraltından Çıkan Atıksular:** Maden sahalarında bulunan maden sektörlerinde üretim esnasında ortaya çıkan atık sulardır.
- **Tikiner Atıksuları:** Kömürün zenginleştirildiği kömür yıkama tesisinden (lavvar) çıkan şlamlı suyun sisteme geri kazanımı için, şlamlı su tikinere beslenmektedir. Bu proseste tikinerde çökelen şlam ve şlamdan ayrılan atıksu oluşumu söz konusudur.

Termik santrallerde kömür hazırlama ünitesinde hazırlanan kömürün iletimi Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6. *Kömür hazırlama ünitesinde hazırlanan kömürün iletim hattı*

Su Hazırlama Ünitesi;

Santrallerde elektrik üretebilmek için türbinlerden geçecek olan buharın saf sudan elde edilmesi gerekmektedir. Termik santrallerde demineralize suyun genel olarak iki tip kullanımı vardır. Buhar türbininde güç üretmek üzere oluşturulan buhar türbinin soğutulması için kullanılan su demineralize proseslerinden elde edilir.

Suyun arıtılmasındaki temel maksat; borularda, kazanda ve özellikle türbin kanatlarında oluşabilecek korozyon, depozit ve çatlakların önlenmesidir.

Depozitler, kimyasal olarak suda çözünmeyerek sertlik yapıcılar olarak adlandırılan kalsiyum ve magnezyum tuzlarının donanımda birikmesi ile meydana gelen çok sert tabakalardır. Boru yüzeylerinde oluşan sert depozitler, akışkanlar arasındaki ısı transferini azaltır. Bu durum; uzun bir işletme süresi göz önünde tutulduğunda, fazla miktarda yakıt sarfiyatına neden olur. Eğer depozit yanma odasındaki direkt alev gören borularda meydana gelirse, geciken ısı transferi ile sıcaklığı aşırı derecede yükselen borular patlayabilir.

Korozyon, malzeme yüzeylerinde meydana gelen aşınma olup, büyük bir bölümü demirli malzemeden yapılan santral donanımında oluşması önlenmelidir. Kullanılan suyun pH'ının düşük olması ve içerisinde çözülmüş oksijen, karbondioksit, metan gibi gazların bulunması, gerek demir gerekse bakır alaşımlarından yapılan kazan, kondens, ısıtıcılar, borular vb. elemanlarda korozyona sebep olur. Demirle su arasında gerçekleşen reaksiyon neticesinde açığa çıkan hidrojen ve sonrasındaki metan gazı, metalin içinden geçerek boru patlamalarına yol açar. Ortamda bulunan amonyak, oksijen ve karbondioksit gibi unsurlar da bakır alaşımlarının fazlaca kullanıldığı kondens ve ısıtıcı borularında bakır korozyonuna sebep olur. Korozyon sonucu oluşan bakırlı bileşikler, suyla beraber kazana taşınır ve kazan korozyonunu artırır [5].

En yaygın kullanılan demineralizasyon prosesleri aşağıda verilmektedir.

- İyon Değiştirme Teknolojisi
- Ters Osmoz (RO) gibi membran teknolojisi
- Termal Prosesler

Bunlara ek olarak, elektro de-iyonizasyon (EDİ) prosesi de su saflaştırma için kullanılan başka bir teknolojidir. Bu arıtma teknolojileri tek başına veya farklı kombinasyonlarla işletilerek "ultra saf" su kalitesi elde edilebilmektedir. Su saflaştırma proseslerinin seçimi, ham su kaynağının karekterizasyonu ve istenilen su kalitesine göre belirlenmelidir.

Termik santrallerin su kaynakları aşağıda verilmektedir.

- İçme suyu
- Kuyu Suyu
- Endüstriyel Su
- Yerüstü suyu
- Deniz Suyu
- Arıtılmış Atıksu

Su kaynağı olarak kuyu suyu veya yerüstü suyu kullanacaksa toplam organik klor parametresi uygun arıtma teknolojisinin seçiminde kilit rol oynamaktadır. Su hazırlama proseslerinin seçiminde bölgesel tercihlerde ön plana çıkmaktadır. Örneğin, Avrupa'da önceki yıllarda iyon değiştirme prosesleri kullanırken, son yıllarda ters osmoz ve mixed bed reçinelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Orta Doğu'da ise termal prosesler ve ters osmoz/membran teknolojileri kullanılmaktadır. Kuzey Amerika'da ise EDİ prosesi su saflaştırma işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

İyon Değiştirme

İyon değiştirme prosesi, bir çözeltideki iyonların, bir katının yüzeyindeki yüklü fonksiyonel gruplara, elektrostatik güçlerle tutunması olayıdır. Saf su elde edilebilmesi için suyun geçici sertliğinin alınması gerekmektedir. Sertliği yapan tuzlar artı ve eksi iyonlardan meydana gelir. Reçineler bir iyonla diğer bir iyonun yer değiştirmesini ve yer değiştirdikleri iyonları tutabilme özelliklerine sahip maddelerdir.

Su-buhar çevrimindeki suyun kalitesi, sistemin çalışma kapasitesi ve ömrü açısından çok önemlidir. Arıtılmış suyun iletkenliğinin çok düşük olmasının (0.1 µs/cm) gerekli olduğu hallerde mixed bed demineralizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler özellikle kondens geri dönüşlerinde tek başlarına kullanıldıkları gibi anyon ve katyon kolonlarından oluşan reçineli sistemlerde veya ters osmoz sistemlerinden sonra ultra saf su istenildiği durumlarda kullanılabilmektedir.

İyon değiştirme proseslerinde rejenerasyon reçineleri için kullanılan kimyasal miktarı 1 m^3 su başına 0,66 gr asidik ve 0,54 g alkali'dir. Asit için genellikle hidroklorik asit (HCL) veya sülfürik asit

(H_2SO_4) kullanılırken, alkali olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmaktadır.

İyon değiştirme prosesi için işletme şartları ve maliyetleri aşağıda özetlenmektedir [34];

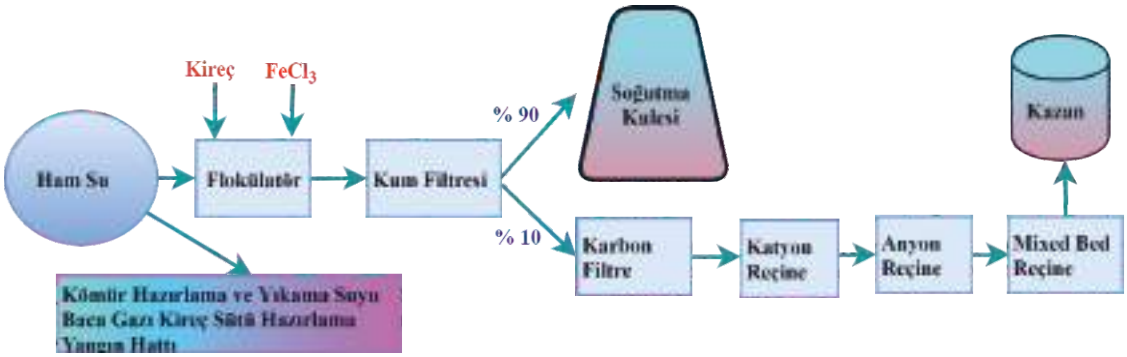
- Demineralizasyon suyu üretimi için tipik işletme maliyeti 0,40 – 0,50 EUR/m^3
- Demineralizasyon prosesinin elektrik tüketimi 0,31 – 0,5 kWh/m^3 arasında değişmektedir.
- Demineralizasyon prosesinin ürün suyunda iletkenlik 0.1 µs/cm'den daha düşüktür.

Yukarıda işletme maliyetleri verilen iyon değiştirme prosesleri için ham su kaynağı olarak kuyu suları, içme suları, yüzey suları gibi nispeten temiz su kaynaklarının kullanılması durumuna göre hesaplanmıştır. Su temin fiyatlarının ülkelere göre değiştiği düşünülürse, toplam arıtma maliyeti 0,4 – 2 EUR/m^3 arasında olacaktır. Eğer ham su kaynağı olarak kullanılan kuyu veya yüzey suları yüksek miktarda tuz ve demir konsantrasyonu içeriyorsa ilave ön arıtma prosesleri gerekli olacaktır [13].

Su kaynağı olarak deniz suyunun kullanılması durumunda ise iyon değiştirme prosesi yerine ters osmoz, membran teknolojilerinin tercih edilmesi ekonomik açıdan daha uygundur. Bu durumlarda ön arıtma için flokülasyon, çökeltme ve kum filtresi prosesleri tercih edilebilir. Ayrıca yeniden kullanılacak atıksularda pH'ın 7 olması sağlanacak şekilde nötralizasyon yapılmalıdır [14]. Bu sistemle elde edilen su, buhar çevrimi için kullanılabileceği gibi soğutma ve ekipmanların yıkanması gibi yardımcı tesisler için de kullanılabilmektedir.

Kum filtreleri ve su hazırlama ünitesinde filtre ve reçinelerinin geri yıkaması ve temizliği sonucunda atıksu oluşmaktadır.

Proje kapsamında saha ziyareti yapılan termik santrallerinden birinin su hazırlama ünitelerinin akım şeması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. *Proje kapsamında ziyaret edilen termik santrallerden birinin su hazırlama üniteleri*

Alıcı ortamdan pompalarla çekilen su, ham su havuzlarında depolanır. Buradan su, kendi akışı ile flaklatörlere gelir. Geçici sertliğe sebep olan karbonat ve bikarbonatlar burada kireçle reaksiyona girerek flokülatörde çöker (Şekil 8). Kolay çökmeleri için koagülant madde kullanılır.

Şekil 8. *Su hazırlama tesisi flokülatör havuzu*

Çöktürme yoluyla berraklaştırılan su, kum filtrelerinden geçirilir ve ön arıtma işlemi tamamlanan suyun büyük bir kısmı soğutma kulelerine tamamlama suyu olarak gönderilir. Kalanı ise demineralizasyon ünitesine gelir. Burada sırasıyla karbon, katyon, anyon ve mixed bed filtrelerden geçen su, kazan tamamlama suyu olarak kullanılmak üzere saf su havuzlarında depolanmaktadır. Hamsuyun iletkenlik değeri 2000 µs/cm iken, mixed bed filtre çıkışında 0,07 µs/cm'ye kadar düşürülmektedir. Kum filtresinden geçen 770 m^3/sa suyun 700 m^3/sa'lik kısmı soğutma suyu olarak kullanılmak üzere, soğutma kulelerine gönderilirken, geriye kalan 70 m^3/sa'lik kısımı yukarıda anlatılan demineralizasyon ünitelerinden geçirilerek saf su havuzuna alınarak, kazana gönderilmektedir. Kazan besi ve tamamlama sularında verimli kazan işletmeciliği açısından en kritik parametreler iletkenlik, silis ve alkalinitedir.

Membran Teknolojisi

Membran, belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir. Ayrılacak maddelerin büyüklükleri ve kimyasal özellikleri uygulanacak membranın gözenek çapını belirlemektedir. Memranların gözenek büyüklüğüne bağlı olarak; farklı membran teknolojilerine göre sınıflandırılması aşağıda verilmektedir:

- Mikrofiltrasyon (MF), gözenek boyutları >0,1 µm ise
- Ultrafiltrasyon (UF), gözenek boyutları 0,01-0,1 µm ise
- Nanofiltrasyon (NF) gözenek boyutları yaklaşık 0,01-0,1 µm ise
- Ters Osmoz (RO) gözenek boyutları <0,001 µm ise

Literatürde farklı membran tipleri için çok çeşitli sınıflar bulunmaktadır. Uygulamada gözenek boyutları teorik değerlerden farklılık gösterebilmektedir. MF ve UF membranlar partiküllerin tutulması için kullanılırken, NF ve RO prosesleri küçük molekül ve iyonların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Ters osmoz sistemleri genellikle kompozit poliamid veya selüloz asetat polimerlerden yapılmaktadır. Membran tiplerine göre giderilen kirletici türleri Şekil 9'da verilmiştir.

Membran teknolojilerinin işletme şartları ve maliyetleri aşağıda özetlenmektedir [34];

- Kullanılan kimyasallar; Sodyum bisülfit, hipoklorit, demir klorür, sertlik kimyasalları veya anti-skalant
- Tipik işletme maliyeti 0,55 – 2,00 EUR/m^3
- Elektrik tüketimi 2,5 – 7 kW/m^3
- Sadece ters osmoz sisteminin kullanılması durumunda elde edilebilecek iletkenlik değeri 10-100 µs/cm arasında değişirken, MixBed reçineler ile birlikte kullanıldığında 0,1 µs/cm'den daha az iletkenlik değerine ulaşılabilmektedir.

Şekil 9. *Membran tiplerine göre kirleticilerin giderimi*

Kazan ve Yardımcıları

Su Buhar Çevrimi: Kazana gelen besleme suyu kül silosundan geçerek doma ulaşır. Domdan borularla kazan altına kolektöre gelen su kazanın etrafında bulunan borularından yükselerek tekrar doma ulaşır. Domdan çıkan buhar kızdırıcılarda kızdırıldıktan sonra türbine (yüksek basınç türbinine) gider. Burada türbin kanatlarını döndüren buhar tekrar kızdırıcılara gelir. Sıcaklığı tekrar kızıdırıcılarda istenen değere ulaştıktan sonra tekrar türbine (orta basınç türbinine) gönderilir. Orta basınç türbininde, türbin kanatlarını döndüren buhar direkt olarak alçak basınç türbinine girer ve orada da iş gördükten sonra kondens tankına iletilerek su fazına geçer. Proje kapsamında incelenen termik santralde kazan, kondens ve kazan tamamlama suyunda istenilen değerler Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. *Kazan, kondens ve kazan tamamlama suyunda istenen değerler*

Parametreler	Reçine Sonrası Kazana Verilen Suda İstenen Değerler	Kazan Suyunda İstenilen Değerler	Kazan Tamamlama Suyunda İstenilen Değerler
pH		8,5 – 8,7	9 – 9,3
İletkenlik	Max. 0,200 µS/cm	Max. 1 µS/cm	4 – 5 µS/cm
Silisyum Dioksit	1 – 2 ppb	Max. 100 ppb	Max. 20 ppb
Toplam Demir		Max. 20 ppb	Max. 20 ppb
Klorür		Max. 50 ppb	
Amonyak			500 – 600 ppb

Proje kapsamında incelenen termik santralde kazan tamamlama suyu olarak yıllık 828.720 m^3 su kullanıldığı belirtilmiştir.

Kül ve Cüruf Atma Sistemi: Elektrofiltre, dönerli hava ısıtıcı ve kül silolarının altlarından toplanan uçucu kül; sıkıştırılmış hava yardımıyla silolara depolandıktan sonra ya kamyonlara yüklenir veya suyla ıslatılarak bantlar yardımıyla kül depolama alanına atılır. Kazanda yanma atığı olarak meydana gelen kül ve cüruf ile baca gazı kükürt arıtma tesisi atığı alçıtaşı taşıyıcı bantlarla kül depolama alanına atılmaktadır. Kazan altına dökülen cüruflar kazan altı teknesinde su ile ıslatılıp soğutulduktan sonra bantlar yardımıyla kül depolama alanına atılır.

Kömürün kazanda yakılması sonucu cüruf oluşur. Kazan altı teknesinden alınan cüruf ve elektrofilitrede tutulan kül, konveyör bandına dökülerek ya madende kömürün çıkarıldığı yerlere veya ayrı olarak inşa edilen kül barajlarına gönderilmektedir. Kül ve cürufun direkt suyla taşındığı hidrolik sistemler de vardır.

Üretilen kül miktarı kömürün özelliklerine; kalorifik değerine ve kül içeriğine göre değişmektedir.

500 MW'lık kömür yakıtlı bir termik santralde %40 kül içeriğine sahip kömür kullanılması durumunda 140 ton/sa kül oluşmaktadır [33].

Kazanın yanması sonucu oluşan toplam kül miktarının %10-20'sini kazan altı külü (cürüf), %80-90'nını uçucu küller oluşturmaktadır. Oluşan küllerin toplanarak bertaraf edilmesi gereklidir. Yaygın olarak tercih edilen bertaraf yöntemi ise büyük düzenli depolama sahalarına veya kül barajlarına iletilerek depolanmasıdır. Kül barajı fotoğrafı Şekil 10'da verilmiştir. Ayrıca kömürün yanması sonucu oluşan kül, yapı malzemesi olarak yol yapımında, çimento ve beton üretiminde kullanılabilmektedir.

Kül atma ve taşıma sistemleri kuru, yarı kuru ve ıslak tip olmak üzere üçe ayrılırlar. Islak tip kül atma sistemleri, cürufun soğutulması ve taşınması için su kullanan sistemlerdir. Cürufun su ile soğutulduktan sonra, suyun geri kazanılarak yeniden kullanıldığı sistemler ise yarı kuru sistemlerdir. Külün soğutulması ve taşınması için hava kullanan sistemler ise kuru tip sistemlerdir.

Kül iletiminde kullanılan suların %70'i geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir niteliktedir. Islak kül taşıma sistemleri önemli miktarda su tüketmektedir. Külün yarı kuru sistemlerle susuzlaştırılması ve taşınması sırasında su yeniden kullanılabilir böylece külün taşınması sırasında sıfır sıvı atık (ZLD) deşarjı sağlanabilmektedir.

Kuru tip kül taşıma sistemleri 30 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Kuru tip kül taşıma sistemleri suya ve kül barajlarına (yer altı suyunu kirletebilir) olan ihtiyacı ortadan kaldırır, kazan verimliliği arttırarak cürufun kalitesini (düşük karbon içeriği) iyileştirir ve kül taşıma maliyetlerini azaltmaktadır.

Kazanda kömürün yanması sonucu oluşan uçucu kül ve cüruf, bantlarla kül ve cüruf silolarına taşınmadan önce su ile soğutulmakta ve bu işlem sonucu sistemde atık su oluşmaktadır.
Proje kapsamında incelenen termik santrallerde kül ıslatma için kullanılan yıllık su miktarı 1 milyon m^3 ve 1,9 milyon m^3 olarak belirtilmiştir.

Şekil 10. *Kül barajı*

Türbin ve Yardımcıları

Kondense: Türbinde iş gören buharın kondensede yoğunlaşması ve sistemde kaybolan su miktarı kadar stok tankından ilave edilen suyun Hotwel teknesinde toplanmasına besleme suyu denir. Kondens Hotwel teknesinde toplanan besleme suyu kondens temizleyici ünitesine pompalar vasıtasıyla gönderilir. Burada kondensat, su hazırlama ünitesinde bulunan mix-bed filtrelere göre sıcağa daha dayanıklı reçinelerin bulunduğu mix-bed filtrelerinden geçerek kondense tahliye pompaları emişine verilir. Kondensten çıkan diğer hat ise alçak basınç ısıtıcılarından geçerek degazöre dökülür.

Soğutma Kuleleri:

Soğutma sistemleri seçiminde çevresel ve ekonomik etkenler önemlidir. Kullanılan soğutma sistemi, termik santrallerde ne kadar miktarda suya ihtiyaç olduğunu büyük ölçüde belirlemektedir. Soğutma kuleleri, soğutma tiplerine göre; açık çevrim ve kapalı çevrim olarak ıslak (su), kuru(hava) veya hibrit sistem (her ikisinin kombinasyonu) olarak sınıflandırılmaktadır. Islak proses sistemlerinde, buharlaşma yoluyla hava akımı, suyla püskürtülerek boru veya serpantinleri soğuturken, kuru proses sistemlerde hava akımı kullanılmaktadır. Hibrit soğutma kuleleri ise kuru veya ıslak modda çalışabilen özel olarak tasarlanmış kulelerdir. Hava ısısının düşük olduğu dönemlerde kuru modda işletilerek yıllık su tüketimi daha da azaltılabilmektedir.
Açık çevrimli sistemlerde soğutucu çevreyle temas halindeyken kapalı sistemlerde soğutucunun boru veya serpantin içinden akmaktadır. Açık çevrim soğutma kulelerinde soğutma suyu, hava akımı yardımıyla soğutulur. Bu tip kulelerde, hava ve suyun temas yüzeyini artıran cihazlar mevcuttur. Hava akımı tabii sirkülasyonla ya da mekanik olarak fanla sağlanmaktadır. Açık çevrimli soğutma sistemleri blöf suları su kaynağına deşarj edilirken su yaşamını ve ekosistemi etkilemeyecek şekilde suyun sıcaklığı ayarlanarak deşarj edilmelidir. Açık çevrimli sistemlerin ilk yatırım maliyeti düşük ancak su çekme gereksinimleri en fazla olan sistemlerdir. Açık çevrimli soğutma sistemleri , su kaynaklarında meydana gelen kuraklıktan en çok etkilenen sistemlerdir. Açık çevrimli sistemler genel olarak yeterli miktarda soğutma suyu kaynağına sahip ve alıcı ortam olarak yüzey suyu kullanan büyük kapasiteli santrallerde kullanılmaktadır. Yeterli su kaynağının olmadığı durumlarda ise resirkülasyonlu sistemler kullanılmaktadır [6].

Kuru soğutma sistemleri, soğutma kulesinde soğutma için su yerine hava kullanan sistemlerdir. Su gereksinimleri diğer sistemlere göre en az olan sistemlerdir bu nedenle kuraklığın ve su stresinin yaşandığı bölgelerde kullanımları daha yaygındır. Soğutma kulelerinde su gereksinimi en az olan bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri ıslak tip soğutma sistemlerine göre 3-4 kat daha fazladır.

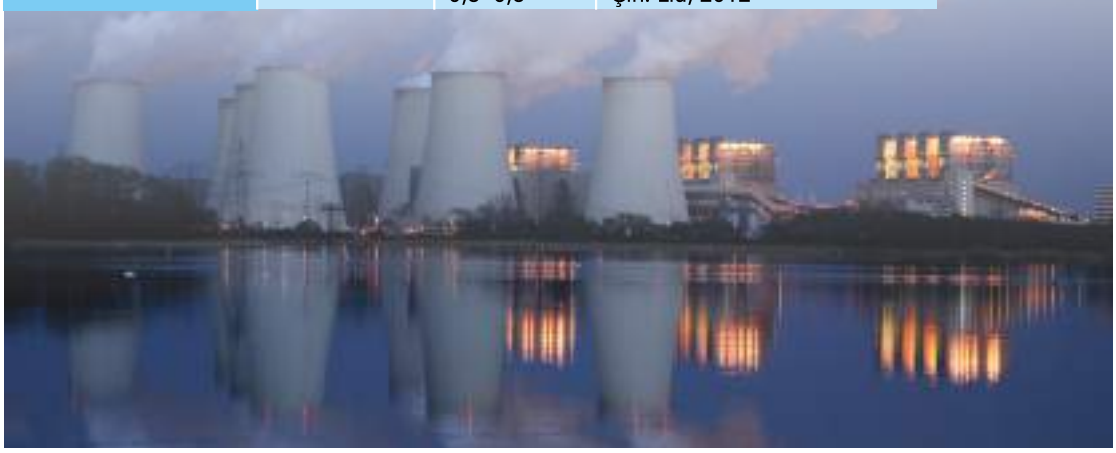
Ayrıca kuru soğutma sistemi kullanan termik santrallerin verimlerinin %2-7 (sıcak günlerde daha fazla) arasında azaldığı tespit edilmiştir. Hava soğutmalı bir kulenin içine su püskürtülerek sistemin verimi arttırılabilir ancak su tüketimi de artmış olur [32]. Tablo 10'da ABD ve Çin'de termik santrallerde üretilen enerji miktarına göre su kullanım ve su tüketim miktarları verilmektedir.

Amerika'da günlük tüketilen 3300 milyon galon suyun %2'si enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Enerji santrallerinde kullanılan suyun büyük bir kısmı soğutma ihtiyacı için kullanılmaktadır. Enerji santrallerinde kullanılan suyun yaklaşık %2'si buharlaşma ile kaybolur, geri kalan kısım ise yeniden kullanılabilir niteliktedir [15].

Proje kapsamında incelenen termik santrallerin birisinde; kış aylarında soğutma kulesi tamamlama suyu ihtiyacı 18.000 m^3/gün iken, yaz aylarında buharlaşma ile birlikte su kayıplarının artmasıyla kule tamamlama suyu ihtiyacı 36.000 m^3/gün'e çıkmaktadır. Proje kapsamında incelenen bir diğer termik santralde ise soğutma kulesi tamamlama suyu ihtiyacı 25.000 m^3/gün'dür.

Tablo 10. *Termik santrallerde su kullanım ve tüketim istatistikleri [16]*

	Su Kullanımı (m^3/MW)	Su Tüketimi (m^3/MW)	Kaynaklar
Açık Devre Soğutma	86-138	0,39 -0,95	ABD: Macknick, et al. 2012
	98	0,37	ABD: Elcock - Kuiper, 2010
	80-100	0,23 -0,29	Çin: Yang, et al. 2011
		0,4 -0,6	Çin: Liu, 2012
Soğutma Kulesi	2,3 -3,8	1,87 -2,6	ABD: Macknick, et al. 2012
	2	1,7	ABD: Elcock & Kuiper, 2010
	2,3 -2,6	1,95 -2,1	Çin: Yang, et al. 2011
Soğutma Göleti		2,1 -2,8	Çin: Liu, 2012
	46-68	0,15 -2,9	ABD: Macknick, et al. 2012
Kuru Tip Soğutma	0,29 -0,4	0,23 -0,4	Çin: Yang, et al. 2011
		0,6 -0,8	Çin: Liu, 2012



Baca Gazı Arıtma Sistemleri

Kazanda yakıtın yakılması sonucu oluşacak baca gazı sırasıyla NOx arıtımı için SCR/SNCR prosesinden ve toz tutuculardan (elektrostatik filtre (ESP), siklon, bez filtre vb.) geçirildikten sonra SO_2 arıtımı için baca gazı desülfürizasyon ünitesine (FGD) gelir. Burada gazın temizlenmesi kuru, ıslak veya yarı kuru proseslerle gerçekleştirilebilmektedir. Dünya genelinde kullanılan sistemlerin %80'ni ıslak tip, %10'unu yarı kuru, %2'si ise kuru tip baca gazı desülfürizasyon prosesidir. Aktif karbon ve sorbent enjeksiyonu (kireçtaşı, dolomit) kuru proseslerdir. Sprey kurutucu absorpsiyonu ise yarı kuru olarak adlandırılır. En yaygın kullanılan yöntem ıslak kireçtaşı gaz yıkayıcılarıdır. Bu proseste toz haline getirilen kireçtaşının sulu süspansiyonuyla baca gazının teması sonucu SO_2 temizlenir ve temiz baca gazı bacadan atmosfere bırakılır. Tepkime ürünü olan alçıtaşı yan ürün olarak adlandırılır ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere satılabilmektedir [6]. Proje kapsamında incelenen termik santralde baca gazı arıtmada kullanılan suyun miktarı 3 milyon m^3/yıl olarak belirtilmiştir.

Islak Tip Baca Gazı Arıtma Sistemleri

Kükürt dioksit açısından zengin baca gazı FGD ünitesine girer ve su, alçı taşı ve kireç taşı solüsyonu püskürtülerek soğutulur ve doygun hale getirilir, böylece oluşan gaz-sıvı karışımı kireç bulamacına dönüştürülür. Sülfür, bulamaç içerisinde kalsiyum ile reaksiyona girer ve yapı endüstrisi için bir yan ürün olarak kullanılabilen alçıtaşı oluşturur. Sülfürün giderimi tipik olarak %92-97 civarındadır. Bu işlemde kullanılan suyun büyük bir kısmı yeniden kullanılabilir durumda olsa da ıslak tip baca gazı arıtma sistemlerinde buharlaşma nedeniyle oluşan su kayıpları önemli miktardadır. "Kömür Kullanan Büyük Yakma Tesisleri için Mevcut En İyi Sistemler" raporuna göre kömür yakıtlı enerji santrallerinin %80'ninde ıslak tip baca gazı arıtma sistemi kullanılmaktadır. Denize yakın yerlerde bulunan ve açık devre soğutma kulesi kullanan termik santrallerde deniz suyu baca gazı arıtma sisteminde tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı tarafından hazırlanan bir rapora göre, subkritik ve süperkritik kazanlarda su kaybı 0,22-0,5 m^3/MWh arasında değişmektedir [17]. Buna göre, 500 MW'lık süperkritik bir termik santralde buharlaşma kaynaklı su kaybı yaklaşık olarak saatte 110 m^3'tür. Islak tip baca gazı arıtma sisteminin şematik görünümü Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 11. *Islak tip baca gazı arıtma sistemi şematik görünümü*

Kuru Tip Baca Gazı Arıtma Sistemleri

Kuru tip baca gazı giderme sisteminin temel özelliği, sönmüş kirecin, sürkilasyonlu akışkan yataklı bir reaktörde baca gazı akışına enjekte edilmesidir. Sönmüş kireç ve kireç bulamacı arasındaki fark, sönmüş kirecin daha kuru olması ve bir sıvıdan ziyade daha çok toz gibi davranmasıdır. Sönmüş kireç reaktöre suyla birlikte enjekte edilir ve reaktörün içerisinde daha yüksek seviyede yeniden aktive olması sağlanır. Kireç ve su karşımı baca gazı içindeki sülfür ile reaksiyona girer. Tepkime sonrası ortaya çıkan uçucu kül ve kuru maddeler toz filtrelerinde toplanır. Toplanan kuru maddelerin bir kısmı kül içerisindeki alkaliniteden yararlanılmak üzere kireç taşına tekrar gönderilir. Kuru ve yarı kuru tip sistemlerde atıksu oluşmamaktadır. Deniz kenarında bulunan termik santrallerde tatlı su tüketimini azaltmak için baca gazı arıtma sisteminin su kaynağı olarak deniz suyu tercih edilerek su tasarrufu sağlanabilmektedir.

Yarı kuru tip sistemler kullanılan kükürt oranı düşük ve orta seviyede olan kömür yakıtlı santrallerde daha verimli çalışırken kükürt içeriği yüksek olan kömürlerde sıkı emisyon (SO_2) değerlerini karşılayamamaktadır. Yarı kuru tip baca gazı arıtma proseslerinde %60 daha az su tüketimi olmaktadır ve ilk yatırım maliyetleri ıslak tiplere kıyasla daha düşüktür [18].

Termik Santrallerde Atıksu Oluşumu

Termik santrallerde atıksu arıtma tesisine gelebilecek olan atıksu akımlarının tamamı aşağıda özetlenmektedir. Termik santrallerin kapasiteleri, kullandıkları ekipmanlar ve farklı teknoloji seçimlerine göre her tesisin atıksu kaynakları farklılık göstermektedir.

- Kömür depolama alanı sulama ve temizleme suları
- Kömür depo alanlarında yağmur suyuyla reaksiyona girerek oluşan atıksular,
- Kömür zenginleştirme ünitelerinden çıkan şlamlı su
- Su hazırlama ünitesi
  - o Filtre geri yıkama suları
  - o Rejenarasyon suları
  - o Tesis temizlik suları
  - o Membran konsantre suları
- Flokülatör çamuru
- Cüruf temizleme ve kül nakliyatından kaynaklı atıksu oluşumu
- Kule ve kazan drenaj suları
- Kazan blöf suları
- Kazan temizleme (asitle yıkama) atıksuları
- Baca gazı arıtma sistemlerinden kaynaklı atıksular
- Araç temizlik ve sanitasyon suları
- Laboratuvar suları
- Evsel atıksular

Termik santrallerde atıksu arıtma tesisine gelen atıksuların kaynakları, karakterizasyonları, deşarj sıklıkları ve debileri farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden atıksu arıtma tesisleri şok yüklemeler ve toksititeyi tolere edebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kazan altı drenaj sularında alkalinite değerleri yüksektir. Kazanlarda oluşacak korozyonu engellemek için kazan temizleme işlemi yapıldığında oluşacak atıksular asidik özellikte olduğundan nötralizasyon yapıldıktan sonra veya dengeleme havuzlarında bekletildikten sonrası atıksu arıtma tesisine alınmalıdır. Soğutma kulesi blöf suları ise sadece su şartlandırma kimyasalları içerdiğinden temiz sayılabilecek niteliktedir. Bu yüzden soğutma kulesi blöf suları tesis içi temizlik ve baca gazı desülfürizasyon ünitelerinde yeniden kullanılabilmektedir. Yeniden kullanım yapılacak ünitelerde istenen su kalite gereksinimlerine göre geri kazanım yapılmalıdır. Ancak, su buhar çevriminde hidrazin gibi kansorejen bileşiklerin kullanıldığı durumlarda yeniden kullanılacak veya deşarj edilecek blöf sularının arıtılması önemlidir. Açık devre soğutma sistemlerine sahip termik santrallerde saf su hazırlama ünitesinden oluşan rejenarasyon sularının nötralize edildikten sonra alıcı ortama deşarj edilebilmektedir. Şekil 12'de incelenen bir termik santraldeki atıksu arıtma tesisi verilmiştir.

Termik santrallerde atıksu arıtma tesisleri tasarlanırken göz önüne alınması gereken parametreler aşağıda özetlenmektedir [6].

- Kullanılan kömürün cinsi ve kalitesi
- Kömür hazırlama ünitesinin türü
- Kazan sisteminin türü
- Soğutma sisteminin türü
- Kazan ve soğutma kuleleri için kullanılan kimyasal şartlandırma programı
- Ham atıksu karakterizasyonu
- Baca gazı arıtma sisteminin türü
- Yanma sonucu oluşan yan ürünler
- Alıcı ortamın özellikleri

TÜİK, Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 2016 yılında termik santrallerde toplam kapasitesi 43,6 milyon m^3 olan 84 adet atıksu arıtma tesisinde 18,5 milyon m^3 atıksu arıtılmıştır [11]. Termik santraller tarafından alıcı ortamına göre deşarj edilen atıksu miktarı Tablo 11'de verilmiştir. Termik santrallere ait atıksu arıtma tesisi mevcut durumu Tablo 12'de verilmiştir.

Şekil 12. *Termik santral atıksu arıtma tesisi*

Tablo 11.*Termik santraller tarafından alıcı ortamına göre deşarj edilen atıksu miktarı (bin m³/yıl), 2010 - 2016 (TÜİK, 2017).*

	2010	2012	2014	2016
Santral sayısı	51	59	66	61
Toplam deşarj edilen atıksu miktarı (bin m³)	4.167.170	6.305.997	6.400.042	8.476.219
Deniz	4.126.795	6.249.462	6.371.523	8.452.648
Akarsu	19.146	28.221	11.905	9.288
Kül dağı/kül barajı	17.305	21.941	12.804	11.119
Diğer(1)	3.924	6.373	3.810	3.165

Tablo 12.*Termik santrallere ait atıksu arıtma tesisi mevcut durumu, 2010 - 2016 (TÜİK, 2017).*

Tesis tipi	Yıl	Tesis sayısı	Kapasite (m³/yıl)	Arıtılan atıksu miktarı (m³/yıl)
Toplam	2010	60	35.047.349	17.334.594
	2012	67	37.351.947	16.941.013
	2014	77	37.299.320	13.055.870
	2016	84	43.618.000	18.477.000
Fiziksel/kimyasal arıtma	2010	28	33.663.839	16.466.469
	2012	30	35.511.537	15.821.666
	2014	29	35.158.899	12.207.348
	2016	30	41.413.000	17.299.000
Biyolojik ve ileri arıtma	2010	32	1.383.510	868.125
	2012	37	1.840.410	1.119.347
	2014	48	2.140.421	848.522
	2016	54	2.205.000	1.178.000

TERMİK SANTRALLERDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI

Termik santrallerden enerji üretiminde su, hayati bir öneme sahiptir. Yeterli su kaynağına sahip termik santraller bile kuraklığın, ısı dalgalanmalarının ve mevsimsel değişikliğin üretime etkisini en aza indirmek için suyun temini ve yönetimini doğru planlamak zorundadır. Yeterli su kaynağı olmadığı için üretimi geçici olarak azaltan ya da durduran tesisler bulunmaktadır.

Örneğin, Hindistan'daki Parli Termik Santrali 2013 yılında su sıkıntısı nedeniyle kapatılmak zorunda kalmıştır. Yeraltı su kaynaklarının dünya üzerinde %20 oranında azaldığı düşünülürse; gelecek yıllarda su stresi yaşayacak termik santrallerin sayısının artacağı ve ciddi ekonomik sonuçları da beraberinde getireceği görülmektedir.

Evsel/Kentsel Arıtılmış Atıksuların Termik Santrallerde Yeniden Kullanımı

Evsel/kentsel arıtılmış atıksular; yerleşim bölgelerinden, insanların günlük yaşam faaliyetleri sonucu oluşan ve fabrikaların endüstriyel nitelik taşımayan atıksularının arıtıldığı evsel/kentsel AAT'lerin çıkış suları olarak tanımlanmaktadır. Evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış atıksuların farklı kentsel yeniden kullanım alanları olmakla birlikte, tesis yakınında bulunan termik santrallerinin su ihtiyacını karşılamak için de kullanılabilmektedir. Evsel arıtılmış atıksuların termik santrallerde yeniden kullanılması durumunda, santralin kuraklık ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak su stresi yaşaması engellenmiş olur. Ayrıca bu düzenlemeyle birlikte termik santral ve yerleşim yerinin atıksu arıtma tesisinin birbirine makul ölçüde yakın olması sağlanarak çevresel ve mali açıdan fayda sağlanabilir. Artan kentleşme ile birlikte nüfus artışının da etkisi ile evsel atıksuların miktarını da artacağı düşünülürse arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı termik santraller için sürdürülebilir bir çözüm olacaktır.

Arıtılmış atıksuların termik santrallerde baca gazı kükürt arıtma sistemi (FGD), soğutma kuleleri ve kazan tamamla suyu olarak kullanıldığı başarılı uygulamalar vardır.

Örneğin, Avustralya'nın New South Wales eyaletinde bulunan Eraring Enerji Santrali'nde, kazan tamamla suyu olarak, Dora Creek AAT'nin arıtılmış atıksuları kullanılmaktadır [19]. Evsel arıtılmış atıksu ile temiz suyu paçallayarak termik santralin su ihtiyacını karşılamak için kullanan tesis sayısı az olmakla birlikte bu tarz uygulamalar da mevcuttur.

Evsel arıtılmış atıksuların termik santrallerde en yaygın yeniden kullanım alanı, kapalı devre (resürkilasyonlu) soğutma kulelerinde tamamlama suyu olarak kullanılmasıdır. Termik santrallerin su temin edeceği AAT'lerin istenilen su kalitesini sağlayabilecek proseslerle tasarlanarak, verimli bir şekilde işletilmesi gereklidir.

Evsel/kentsel arıtılmış atıksuyun kalitesi temiz su kaynaklarına göre daha düşük kalitede olduğundan termik santrallerde yeniden kullanımında bazı zorlukları da beraberinde getirecektir. Arıtılmış atıksuda bulunan nütrient ve kirleticilerin varlığı, borularda ve ısı eşanjörlerinin yüzeyinde birikerek korozyon, kireçlenme ve biyolojik film tabakası oluşumuna neden olabilir. Kondansatörde bulunan ısı eşanjörlerin yüzeyinde oluşacak birikim ve kirlilik kapalı devre çalışan soğutma kulelerinin verimleri açısından önemlidir. Soğutma kulesinin sirkülasyon suyunda oluşacak kontaminasyon, kulenin konsantrasyon sayısını düşüreceğinden, kulelerde kullanılacak tamamlama suyunun miktarını da arttıracaktır. Isı eşanjöründe yaşanacak performans düşüklüğü tesisin buhar gücü döngüsünün verimini azaltacağından, birim kömür başına üretilen güç miktarını düşürür ve sonuçta gelir kaybına neden olur. Bu işletme sorunlarını kontrol altında tutabilmek için çeşitli yollar bulunmaktadır. Plastik boruların kullanılması ve yüksek sirkülasyon oranları bu işletme sorunlarının oluşmasını engelleyebilir [18]. Ayrıca, sirkülasyon suyundaki karakterizasyon blöf ve kule tamamlama suyu miktarı ayarlanarak korunabilir [20]. Bir diğer alternatif olarak, arıtılmış atık su kullanılmadan önce gerekli su kalitesini sağlayacak şekilde yeniden arıtılabilir. Evsel/kentsel atıksulardan kaynaklanacak işletme sorunlarını önlemek için kullanılmadan önce suyun yeniden arıtılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli olan arıtma işlemi termik santralde veya finansmanın karşılanması/ödeme yapılması durumunda evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde yapılabilir. ABD'de yapılan bir çalışmada arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması durumunda oluşacak olan biyolojik kirlilik, kondansatörün temizliği ve azalan üretim verimliliğini yönetmek için gerekli olan maliyetin, satış gelirinin %1-2'sine karşılık geldiği belirtilmektedir [21]. Bununla birlikte, su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanan bazı termik santrallerin hiçbir sorunla karşılaşmadığı da bildirilmiştir.

Soğutma kulesinden yayılan damlacıklarda bulunabilecek olan biyolojik (virüsler ve bakteriler) ve diğer iz kirleticilerin olası emisyonları, damlacıkların kulenin etrafına yayılacağı için insan sağlığı açısından kaygılara yol açmıştır. Örneğin, lejyonella pnömofilli bakterileri, lejyonella hastalığına neden olabilir. Bununla birlikte damlacıklar, soğutma kulesinde bulunan damla tutucu kullanımıyla kontrol edilebilir. İleri arıtma veya membran yöntemlerle istenmeyen kirleticilerin giderilmesi sağlanabilir [18].

Soğutma kulesi blöf sularının deşarj edilmeden önce arıtılması gereklidir. Arıtılmadan kanalizasyona verilerek arıtma tesisine gönderildiği takdirde, yüksek toplam çözünmüş katı madde yükü, biyosit veya enerji santralinde kullanılan kimyasallardan kaynaklanan toksisite problemleri ile karşılaşılabilir [18].

Termik santrallerin soğutma kulesi ve kazan tamamlama suları için kalite gereksinimleri aşağıdaki gibidir [22];

- Düşük amonyak (çoğunlukla <2 mg/L veya ölçülebilir sınır değerin altında)
- Düşük toplam çözünmüş katı madde (TDS) özellikle kazan tamamlama suları için
- Klorür 150 mg/L'den daha az
- Düşük fosfor (<0,5 mg/L)
- Düşüş Demir ve Mangan (<0,5 mg/L)

Termik santraller için gerekli su kalitesini sağlamak için gerekli olan ileri arıtma prosesleri; biyolojik arıtma, filtrasyon, dezenfeksiyon işlemlerinin yanı sıra pH'ın ayarlanmasını içerebilir. Yaygınlaşan biyolojik arıtma prosesleri; membran biyoreaktörleri, akışkan yataklı biyofilm reaktörleri, askıda veya yüzeyde büyüyen aktif çamur sistemlerini ve biyolojik havalandırmalı filtreleri içermektedir. MBR sistemleri küçük bir alanda nütrient ve katı madde giderimi yapabilmektedir. MBR prosesleri yüksek oranda azot, fosfor, bakteri, BOİ, AKM giderim verimine sahiptir.

Enerji santrallerinde kullanılan filtrasyon prosesleri, kum ve iri partiküllerin filtre içerisinde oluşturulan santrifüj kuvvetiyle sudan ayrıştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Disk filtreler, kalitesi düşük olan ikincil arıtma atıksularının istenilen su kalitesine ulaşılmasında yetersiz kalmaktadır ve kimyasal fosfor giderimi için uygun değildir. Dezenfeksiyon işleminde

kullanılan, sodyum hipoklorit ve klor genellikle biyolojik büyümeyi sınırlandırmak için kullanılmaktadır [22]. UV dezenfeksiyon da biyolojik kirlenmeyi (mikroorganizma, virüs, bakteri) kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Arıtılmış atıksuyun kazan tamamlama suyu olarak kullanılacak olması durumunda istenen su kalitesine ulaşabilmek için genellik ters osmoz prosesi kullanılmaktadır. Örneğin, Çin'de bulunan bir termik santralde su kaynağı olarak kullanılan arıtılmış atıksular; membran biyoreaktör+ ultrafiltrasyon + ters osmoz proseslerinden sonra kazan tamamlama suyu olarak kullanmaktadır. Geri kazanım tesisinin kapasitesi 18.000 m^3/gün'dür.

İkincil arıtma çıkışı atıksuların yeniden kullanılması için uygulanan üçüncül arıtma proseslerine alternatif olarak, daha uygun maliyetlerle kimyasal arıtma yapılabilmektedir. Bunun yanında düşük kaliteli sular yüksek korozif özelliğe sahiptir ve biyolojik kirlenmeyi kontrol etmek için kullanılan serbest klor, anti-skalantlara zarar vermektedir [21,23]. Serbest klor doğrudan metallere ve metal alaşımlarla etkileşime girerek, korozyon inhibitörü olarak kullanılan tolitriazolün yapısını bozar. Ayrıca serbest klor, organik maddeler ile reaksiyona girerek istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturma eğilimindedir [23]. Sonuç olarak serbest klor yerine kloramin kullanılabilir.

Termik santrallerde arıtılmış atıksuların kazan ve kule tamamlama suyu olarak kullanılması durumunda, en uygun maliyetli yaklaşım istenilen suyun kalitesine göre, üçüncül arıtma ve kimyasal arıtma proseslerinin kombinasyonu olacaktır. Arıtılmış atıksuların termik santrallerde su kaynağı olarak kullanılmasının ekonomik fizibilitesi, suyun birim arıtma maliyetine, su temin bedeline, termik santral ve AAT arasındaki mesafeye bağlıdır.

Evsel/Kentsel Arıtılmış Atıksuların Termik Santrallerde Yeniden Kullanımında Ülke Tecrübeleri

Çin

Çin'de 2012 yılında toplam kapasitesi 149 milyon m^3/gün olan 3836 adet evsel/ kentsel AAT bulunmaktadır [24]. 2008 yılında arıtılmış atıksuların sadece %8'i yeniden kullanılmıştır. Yeniden kullanımın %24'ü endüstri tarafından yapılarak çoğunlukla soğutma amaçlı kullanılmıştır. Pekin'de bulunan Gaojing Termik Santrali [25] ve İç Moğolistan'daki Jinqiao Termik Santrali su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanmaktadır [26]. İç Moğolisanta'daki Baotou Donghua Termik Santrali su kaynağı olarak 40.000 m^3/gün kapasiteli üçüncül arıtma prosesleriyle işletilen evsel/kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyunu kullanmaktadır. Arıtılmış atıksular 7 km'lik boru hatlarıyla termik santrale iletilmektedir. Arıtılmış atıksular termik santralde soğutma kulesinde tamamlama suyu olarak kullanılmadan önce ilave arıtma işlemlerinden de geçmektedir. Santral içinde kireç sertliğinin giderimi ve pH düzenlemesi yapıldıktan sonra antiskalant ve dezenfektan ilave edilerek soğutma kulelerinde tamamlama suyu olarak kullanılmaktadır. Geri kazanılan atıksuyun işletme maliyeti 0,6 RMB/m^3'tür. Projenin maliyeti %10 faiz oranıyla hesaplandığında 1 RMB/m^3'tür. Elektromekanik teçhizat için 15 yıl, inşaat işleri için 20 yıl amortisman süreleri de dahil edilerek işletme maliyetine 1,6 RMB/m^3 daha eklenmesi durumunda bile 3,3 RMB/m^3 olan tatlı su maliyetine göre önemli ölçüde tasarruf edilmiştir [27].

Hindistan

Hindistan'da 2014-2015 yılında toplam kapasitesi 23,2 milyon m^3/gün olan 816 adet evsel/kentsel AAT bulunmaktadır. Maharashtra Eyaleti Elektrik Üretim Şirketi (Mahagenco), Pench Nehri'nden yıllık 55 milyon m^3 su kullanım hakkına sahipken, 2015 yılında devreye alınan yeni ünitelerle birlikte yıllık su ihtiyacı 58 milyon m^3 daha artmıştır. Nagpur Belediyesi ile yapılan anlaşma ile 110.000 m^3/gün arıtma kapasitesine sahip evsel/kentsel atıksu arıtma tesisinin arıtılmış atıksuları termik santralin su ihtiyacını karşılamak için kullanıldı. Ayrıca Maharashtra Eyalet Yönetimi elektrik santrallerinin su ihtiyaçlarını karşılayamayarak kapanmalarını engellemek ve kentler için temiz su tasarrufu sağlamak için 6 termik santrale daha su tedarik etmeyi planlamaktadır [28]. Örneğin, 2013 yılında 1130 MW kapasiteli Parli Termik Santrali yeterli suyun temin edilememesi nedeniyle kapanmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri

Arıtılmış atıksular ABD termik santrallerinde en çok kullanılan alternatif su kaynağıdır ve şu an kullanılan 1709 soğutma sisteminin yaklaşık %5'i kadardır. Bu sayının 2013-2022 arasında su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanmayı planlayan 60 soğutma sistemi ile %25 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanan termik santrallerin çoğu Florida, Kaliforniya, Teksas ve Arizona gibi su sıkıntısı çeken eyaletlerde bulunmaktadır. Arıtılmış atıksuları su kaynağı olarak kullanmak isteyen termik santral işletmecileri, kullanmadan önce eyalet izni almaları ve gerekli yönetmelikte belirlenen şartları yerine getirmeleri gereklidir. Sonuç olarak arıtılmış atıksuların termik santrallerde yeniden kullanımı etkili bir su yönetim stratejisi olarak öne çıkmaktadır.

Arıtılmış atıksular, evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinin yakınında bulunan termik santraller için kuraklık ve iklim değişikliğine karşı sürdürülebilir bir su kaynağı olacaktır. Santrallerde arıtılmış atıksuların kullanılması ile santrallerin su kullanım maliyetlerinde azalmalar olacak aynı zamanda atıksu arıtma tesislerinin daha verimli çalışmaları sağlanacak, su kirliliği kontrol altına alınarak hem çevresel hem de ekonomik kazanımlar sağlanabilecektir. Arıtılmış atıksuların kulelerde yeniden kullanılmasındaki en büyük bariyer olan insan sağlığı kaygıları, uygun arıtma prosesleri ve doğru işletme koşullarıyla en aza indirilmektedir. Aynı şekilde korozyon, kireçlenme ve biyolojik kirlilik de kontrol altında tutulabilmektedir.

Proje kapsamında incelenen termik santrallerin birinde endüstriyel atıksuların arıtılarak yeniden kullanımı uygulaması mevcuttur. Atıksu arıtma tesisi 5.640 m^3/gün kapasiteye göre tasarlanmıştır. Atıksu arıtma tesisine iletilmeden önce kül havuzuna gelen atıksu akımları aşağıda verilmektedir. Kül ve çamur havuzuna ait fotoğraflar ise Şekil 13'te verilmiştir.

- Flokülatör çamuru
- Kule drenajları
- Kum filtresi geri yıkama suyu
- Kazan altı drenaj suları
- Blöf suları
- Su hazırlama ünitesi filtre geri yıkama suları

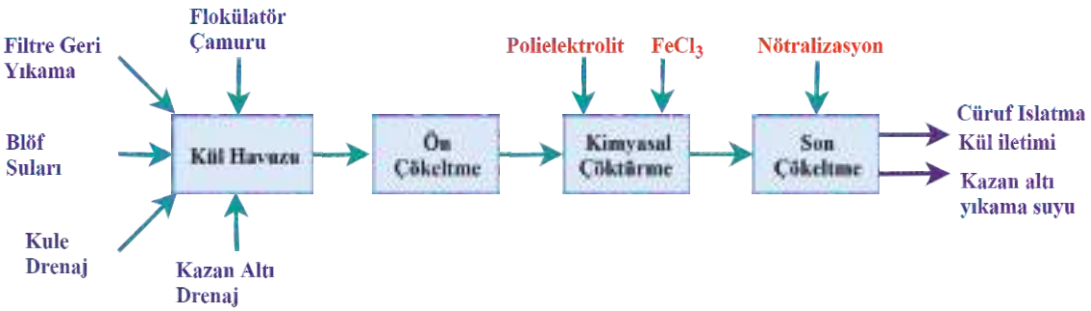
Santralden kaynaklanan atıksularda genel olarak AKM, KOİ ve pH parametrelerinin deşarj limitlerinin dışında olduğu için, arıtma işleminde; ön çöktürme, kimyasal arıtma, nötralizasyon ve çamur yoğunlaştırma prosesleri uygulanmaktadır.

Endüstriyel atık sular arıtıldıktan sonra yıkama ve kül ıslatma suyu gibi yumuşak su gerektirmeyen ve önemli miktarda su kaybına sebep olan yerlerde kullanılmaktadır. Arıtılmış atıksuyun fazlası ise "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği" esaslarına göre; Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri (Termik Santraller ve Benzerleri) Sektörü için Tablo 9.3'de verilen değerlerine göre alıcı ortam deşarj limitlerini sağlayacak şekilde dereye deşarj edilmektedir. Atıksu geri kazanım tesisine ait fotoğraf Şekil 14'te verilmiştir.

Atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı uygulaması olan termik santrallin atıksu arıtma tesisi akım şeması Şekil 15'te verilmiştir.

Şekil 13. *Kül ve çamur havuzu*

Şekil 14. *Atıksu geri kazanım tesisi*



Şekil 15. *Atıksu geri kazanım tesisi akım şeması*

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında, ülkemizde faaliyet gösteren termik santrallerden belirlenen 3 farklı santralden Haziran 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında proje ekibinin incelemeleri doğrultusunda akredite bir laboratuvar tarafından atıksu analizleri yapılmıştır. Termik santraller için; "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği" esaslarına göre; Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri (Termik Santraller ve Benzerleri) Sektörü için Tablo 9.3'de verilen parametrelere ilave olarak AATTUT sulama suyu kriterleri ve kazan besi suyu standartları dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Proje kapsamında incelenen termik santrallerin analiz sonuçları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. *Proje kapsamında incelenen termik santrallerin analiz sonuçları**

Parametre	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune Sınır Değer SKKY Tablo 19	1. TESİS Tesis Çıkışı (OSB Kanalizasyon Şebekesine Deşarj)	2. TESİS Geri Kazanım Tesisi (Giriş)	2. TESİS Geri Kazanım Tesisi (Çıkış)	3. TESİS AAT Çıkış (Dereye Deşarj)
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	60	108	26	24	< 20
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	150	70	< 5	< 5	< 5
pH	-	6-9	7,14	8,1	8,2	8,25
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L				7	
Demir (Fe)	mg/L		0,18		< 0,01	< 0,01
Sülfat (SO4)	mg/L		2		23	107
İletkenlik	µs/cm		346		924	1411
Klorür	mg/L		54		67	164
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L				530	
Bulanıklık	NTU				< 1,2	

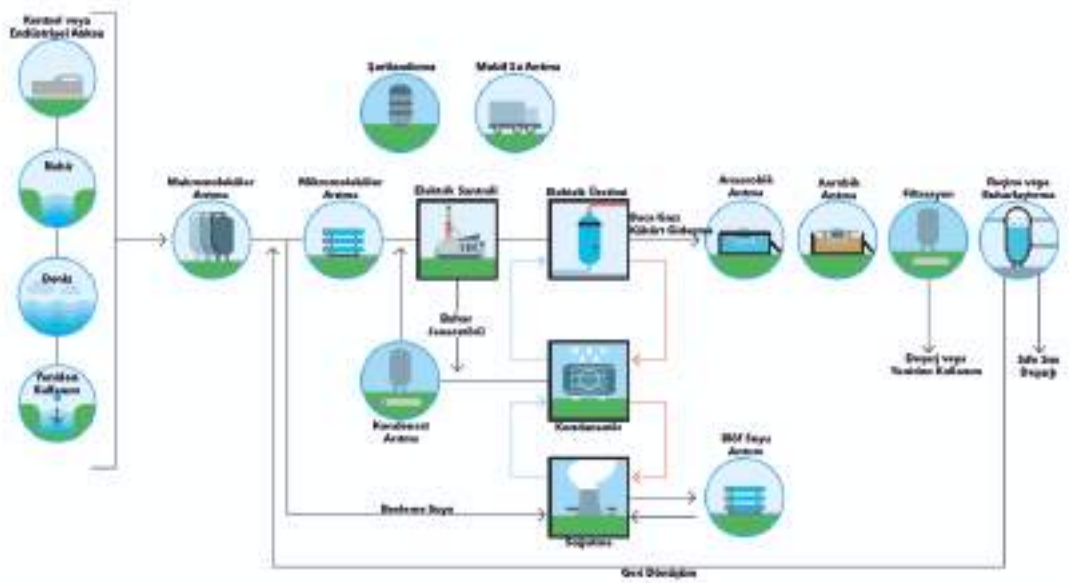
* Haziran 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında 3 farklı tesisten farklı tarihlerde 3 tekrar alınan atıksu numunelerinin ortalama değerleridir.

İncelenen tesislerden 1. tesis; oluşan bütün atıksularını tesisdeki bir havuzda biriktirerek yakınında yer alan bir OSB'nin kanalizasyon şebekesine deşarj etmektedir. Dolayısı ile alıcı ortam deşarj standartlarına tabi değildir ve ilgili OSB nin kanalizasyon deşarj standartlarını sağlaması gerekmektedir. Bu tesis akışkan yataklı kazan kullandığından dolayı atıksu miktarı çok düşüktür. Tesiste bir atıksu arıtma tesisi bulunmamaktadır ve deşarj edilen atıksuda organik madde içeriği (KOİ) 108 mg/L, AKM ise 70 mg/L olarak düşük seviyelerdedir.

2. tesisde su kaynaklarından alınan suların prosese hazırlanması için proses suyu hazırlama tesisleri bulunmakta, atıksuların geri kazanımı için de atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Oluşan atıksular arıtıldıktan sonra cürüf ıslatma ve kül iletmede kulanılmaktadır. Bu kullanım alanlarında yüksek nitelikli su ihtiyacı da bulunmadığından mevcut çöekltme havuzları sonrası elde edilen su yeniden kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

Analiz sonuçlarından görüldüğü gibi, çıkış suyu çok düşük organik madde yanında AKM, bulanıklık içermektedir. Suyun iletkenliği ve çözünmüş madde içeriği sırasıyla 924 µS/cm ve 530 mg/L olduğundan kazan veya soğutma kulesi tamamlama suyu olarak kullanıma uygun olmadığından bu alanlarda kullanılmamaktadır.

3. tesisde ise, atıksuların arıtılması için bir atıksu arıtma tesisi işletilmektedir. AAT çıkış suyu kalitesi 2. tesisdeki çok benzer özellikler göstermekle birlikte iletkenlik değeri bir miktar daha (1411 µS/cm) yüksektir. Bu tesiste, kullanılan prosessuyu yakındaki bir dereden alındıktan sonra arıtılmış atıksular yeniden aynı dereye deşarj edilmektedir. Her iki tesiste alıcı ortam deşarj standartlarını sağlamaktadır.



Şekil 16. *Termik santrallerde su kaynakları, su kullanımı, atıksu oluşumu ve yeniden kullanım diyagramı*

Şekil 16'da enerji üretme tesislerinde kullanılabilecek potansiyel su kaynakları, sektörde su kullanımı, atıksu oluşumu ve atıksu geri kazanım alternatifleri verilmektedir.
Proseste kullanılacak su kaynakları; arıtılmış kentsel veya endüstriyel atıksu, yerüstü suları (nehir, göl vb.), deniz suyu ve termik santrallerde geri kazanılan proses atıksuları olarak sıralanabilir. Termik santrallerde arıtılmış evsel atıksuların su kaynağı olarak kullanılması özellikle ABD, Çin ve Hindistan'da uygulama alanları bulmuştur.
Enerji üretme tesislerinden termik santraller tüm dünyada çok su kullanan sektörler içerisinde yer aldığından ülkemizde genellikle deniz kenarlarında yer almakta ve proses suyunu denizden temin etmektedirler. 2016 yılında termik santraller tarafından %98'i denizden olmak üzere 8,6 milyar m^3 su çekilmiş ve toplam suyun %98'i soğutma suyu olarak kullanılmıştır.

Termik santrallerde su kullanılan alanlar, su kalitesine ve nihai kullanım amacına göre değişmektedir. Genel olarak su kullanım alanları: Soğutma kuleleri, tamamlama suyu, su hazırlama ünitesi, kül ıslatma ve iletme suyu, servis suyu ve içme suyudur. Bunlar içinde de en fazla su tüketenler ise soğutma kuleleri ve kül ıslatma ve iletme suyu olarak kullanımdır. Kömür yakıtlı termik santralde sadece ikisinde kullanılan su, tüm termik santralde kullanılan suyun yaklaşık %70'dir.
Termik santrallerde oluşan atıksular anaerobik, aerobik, filtrasyon, reçine veya buharlaştırma prosesleri ile geri kazanılabilir, yeniden kullanılabilir veya sıfır sıvı deşarjı yapılabilir. Bunun yanında ülkemizde kömür yakıtlı termik santrallerde proseste oluşan tüm atıksular, çökeltme havuzları sonrası cüruf ıslatma ve kül iletimi ile kazan altı yıkama suyu olarak da kullanılmaktadır.

DEĞERLENDİRME

Dünya'da her geçen gün termik santrallerde su tasarrufu daha da önem kazanmakta ve su kullanımı ile ilgili yapılan düzenlemelerin sıklığı da artmaktadır. Enerji üretim sektörü bir ülke içerisinde en büyük endüstriyel su kullanıcısıdır. Gelecek yıllarda temiz su maliyetinde artış olacağı düşünülürse sınırlı su kaynağına sahip santrallerin üretime devam edebilmeleri için tesis içinde su minimizasyonu yapmaları veya alternatif su kaynağı bulmaları gerekmektedir. Termik santrallerde su minimizasyonu için tavsiye ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Soğutma Kuleleri

Termik santrallerde soğutma kuleleri (özellikle su soğutuculu sistem) su ihtiyacının en fazla olduğu ünitelerin başında gelir. Daha verimli tasarımlar ve açık devre (tek geçişli) sistemlerin tercih edilmesiyle su kullanımı azaltılabilir. En fazla su kaybının olduğu kapalı devre (resürkilasyonlu) sistemlerde ise blöf miktarları ve sürüklenmeler kontrol altında tutularak su tasarrufu yapılabilmektedir. Buharlaşma ile oluşan su kayıplarını en aza indirebilmek için kullanılan mevcut teknolojiler bulunmaktadır. Kuleye verilen havanın veya buhar kondenslerinden çıkan suyun kuleye girmeden önce soğutulması ile buharlaşma miktarı azaltılabilmektedir. Daha önceki yıllarda yapılan hibrit soğutma kuleleri sistemde oluşan buhar dumanlarının önüne geçmesi amacıyla tasarlanmış olsa da son yıllarda yapılan hibrit soğutma sistemleri su ve enerji tasarrufları ile ön plana çıkmaktadır. Hibrit soğutma kuleleri, su kullanımını buharlaştırmalı ıslak soğutma sistemlerine göre %20-60 oranında azaltabilirken, enerji kullanımını da kuru soğutma ile karşılaştırıldığında %30-60 oranında azaltabilmektedir (Hibrit teknolojisine, hava koşullarına ve soğutma sisteminin kullanım sıklığına göre değişim gösterebilir).
Soğutma sistemi olarak su yerine hava kullanan, kuru soğutma sistemleri önemli miktarlarda su tasarrufu sağlamaktadır. Örneğin, hava soğutmalı sistemlerin, su soğutmalı sistemlere göre ilk yatırım maliyetinin daha yüksek ve enerji veriminin daha düşük olmasına rağmen Çin'de su stresi altında olan bölgelerde bulunan termik santrallerde hava soğutmalı sistemlerin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir.

Baca Gazı Arıtma Sistemleri

Enerji santrallerinde su tüketiminin en yoğun olduğu bir diğer kaynak da ıslak tip baca gazı desülfürizasyon (FGD) sistemleridir. Buharlaşma kaynaklı su kayıplarının %10-15'i yıkayıcı sistemlerden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, deniz suyu soğutmalı (tek geçişli) sistemlere sahip termik santrallerde toplam su kullanımın %40-70'ini oluşturmaktadır. Deniz kenarında bulunan termik santrallerde tatlı su

tüketimini azaltmak için baca gazı arıtma sisteminin su kaynağı olarak deniz suyu tercih edilerek su tasarrufu sağlanabilmektedir. Baca gazının ıslak gaz yıkayıcıya girmeden önce soğutulması ile su tüketimi %40-50 oranda azaltılabilir. Bu genellikle Japonya ve Avrupa'daki elektrik santrallerinde rejeneratif ısı eşanjörleri ile gerçekleştirilmektedir.

Yarı kuru gaz yıkayıcı sistemler (sprey ve sürkilasyonlu) ıslak tip kireç taşı yıkama sistemlerine göre %60 oranında daha az su tüketmesinin yanında atıksu oluşturmaması ile de ön plana çıkmaktadır. Kuru tip gaz yıkayıcı sistemlerin SO_2 giderim verimleri, ıslak tip yıkayıcı sistemlerin giderimin verimlerinden nispeten daha düşüktür.

Baca gazından su geri kazanımı teknolojileri ile ilgili dünyada genelinde yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Termik santralin konfigürasyonu, konumu ve suyun maliyeti gibi faktörlere bağlı olarak ekonomik olarak uygulanabilir oldukları görünmektedir. Yapılan çalışmalar, yüksek neme sahip kömürler ve/veya ıslak tip baca gazı arıtımı yapan termik santrallerde daha verimli çalışacağını göstermektedir. Tek dezavantaj olarak geri kazanılan suyun yeniden kullanım öncesinde tekrar arıtılması ihtiyacı bulunmasıdır. Su temini maliyetinin ucuz olduğu yerlerde, teknolojilerin uygulanması zorlaşacaktır.

Konsantrasyon döngülerini arttırma

Termik santrallerde en çok su kaybı soğutma kulelerinde buharlaşma ile gerçekleşir. Buharlaşma, blöf ile azalan su miktarını karşılamak için kazan tamamlama suyu kullanılmaktadır. Su, kapalı çevrimle sistemde birçok kez dolaştırıldığı için, çözünmüş maddelerin su içerisindeki konsantrasyonları artar. Soğutma kulesi içerisinde dolaşımda olan sudaki çözünmüş maddelerin, kazan tamamlama suyundaki çözünmüş maddelere oranına konsantrasyon sayısı denir. Soğutma kulelerinde konsantrasyon sayısı yaklaşık 5 olacak şekilde tasarlanmıştır. Konsantrasyon sayısını arttırarak blöf miktarı azaltılabilir. Kimyasallar yardımı ile konsantrasyon sayısı 10'a kadar yükseltilebilir. Konsantrasyon sayısının artmasıyla termik santrallerde su tasarrufu sağlanabilir. 1 MW elektrik üretimi için kondansatörde 135 m/sa soğutma suyu akışı olması gereklidir. Her 1 MW elektrik üretimi için soğutma kulelerinde 2 m/sa buharlaşma olmaktadır.

Blöf sularının arıtılarak yeniden kullanılması ekonomik açıdan pahalı olmasına karşın dünya genelinde bazı termik santrallerde uygulaması bulunmaktadır. Soğutma kulesinden gelen atık ısı, arıtma maliyetlerini düşürmek ve diğer atıksu akışlarını konsantre etmek için kullanılabilir. Ayrıca "Sıfır Sıvı Deşarjı (ZLD)" teknolojilerinin gelişimi ve yapılan düzenlemeler ile birlikte termik santrallerde blöf sularının arıtımı yapılabilmektedir.

Kül ıslatma ve iletimiyle ilgili optimizasyonlar

Termik santrallerde kullanılacak su miktarının %45-50'si kül ıslatma ve iletiminde tüketilmektedir. Kondense çıkış sularının temiz su kaynağı olarak kullanılması ile su tüketimi azaltılabilir. Kazan altına dökülen cüruflar kazan altı teknesinde su ile ıslatılıp soğutulduktan sonra bantlar yardımıyla kül depolama alanına atılır. Kazanda kömürün yanması sonucu oluşan uçucu kül ve cüruf, bantlarla kül ve cüruf silolarına taşınmadan önce su ile soğutulmaktadır. Uçucu kül, yüksek basınçlı su ile temizlenirken, kül haznesinin doldurulması için düşük basınçlı su kullanılmaktadır. Tasarım yapılırken, kazan altına dökülen cüruflar için su kullanımı 1:8, uçucu kül içinse 1:5 olacak şekilde hesap yapılmış olsada, mevcut uygulamalar kombine kül soğutma sularında su kullanımın 1:20 oranında olduğu gözlemlenmiştir. Kül ıslatma ve iletimi için kullanılan su miktarında meydana gelecek her %1'lik azalma, 60 m^3/sa'lik su tasarrufuna karşılık gelmektedir.

Kül iletimi sırasında kullanılan sular geri kazanılabilir nitelikte olup kül tutma ve ıslatma amacı ile yeniden kullanılabilmektedir.

Hava soğutmalı kondense kullanımı

Su stresi yaşayan termik santrallerde hava soğutmalı kondense kullanımı ile su tasarrufu yapılabilmektedir. 660 MW'lık bir termik santralde su soğutmalı kondenselerde yıllık su kullanımı 18 milyon m^3 iken hava soğutmalı kondense tercih edilerek su kullanımını yıllık 3 milyon m^3'e düşürülebilmektedir. Ancak, hava soğutmalı kondense kullanılması durumunda tesisin ilk yatırım maliyetinde %12'lik bir artış söz konusudur.

Su sızıntıları ve kayıp kaçaklarının azaltılması

Valf, musluk, yangın söndürme hatları, yeraltı yangın hidrantları, soğutma kulesi alanı ve bahçe hortumlarında meydana gelen su sızıntıları da termik santrallerde kullanılan suyun miktarını arttırmaktadır. Soğutma kulelerinde şamandıra sistemlerinin işleyişinde yaşanan taşmalar da su kaybına yol açmaktadır. Tesis içinde yapılabilecek bakım onarım işlemleri ile su kayıp kaçak miktarı azaltılabilmektedir [29].

Sonuç olarak, enerji santrallerinde yaşanabilecek su stresi; gelecek yıllarda enerji ve su talebinde meydana gelecek olan artış, aşırı su tüketimi, kuraklık, ısı dalgalanmaları ve diğer faktörlerle birlikte daha da artacaktır.
Bununla birlikte enerji santrallerinde su minimizasyonu sağlayabilecek yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekecektir.
Yeni geliştirilen teknolojiler ticari olarak temin edilebilir olmalıdır.
Yeni planlanan enerji santralleri ise su ihtiyacını azaltmaya yönelik şekilde tasarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Şubat 2018, "Kömür Yakitli Santrallerden Kaynaklanan Emisyonlar Üzerine Bir Değerlendirme" Çevre Çalışma Grubu

[2] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Eylül 2017, "Türkiye'nin Günlük Nihai Enerji Tüketimi Ve Sonuçları" Quant Çalışma Grubu

[3] www.teias.gov.tr

[4] Güngör C. vd., "Termik Santrallerin Atık Isılarının Değerlendirilmesi", Tübitak Mam. Mühendis ve Makina Cilt: 48 Sayı: 575

[5] Ciner Grubu Enerji ve Madencilik Bölümü Çevre Departmanı, 2010 "Katı Yakıtlı Termik Santraller ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması

[6] European Commission, 2017, "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants" Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control

[7] OECD, 2012, "Environmental outlook to 2015: the consequences of inaction. Key findings on water." Paris, France, OECD Publishing, 6 pp (Mar 2012)

[8] IEA, 2012, "Water for energy. Is energy becoming a thirstier resource? In: World energy outlook 2012". Paris, France, International Energy Agency, sayfa 501-528

[9] "The Bulletion on Energy Efficiency" 2006, Cilt: 7, Sayı: 3

[10] Carpenter A. M., Kasım 2012, "Low water FGD technologies. CCC/210", London, UK, IEA Clean Coal Centre, 73. Sayfa

[11] Türkiye İstatistik Kurumu, Aralık 2017, "Termik Santral Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri" Haber Bülteni Sayı: 24873

[12] Kamper G. vd, Confidential Client, 1998, "İnternational Operational Experience of Make-up Water Production From Surface Water", KEMA Report 98-5076.

[13] Heijboer R. vd, 2006 "The Behavior of Organics in a Makeup WaterPlant Power Plant Chemistry" 8(4), sayfa 197–202.

[14] Beerlage and Deelen-Bremer, 1998, "Overview of Treatment Technologies for the Demineralization of Surface Water or Wastewater", Confidential Client, KEMA Report, Nr. 98-5070

[15] Daniels D., 2001, "Power Plants Need to Learn to Reuse, Recycle." Power Magazine Eylül/Ekim

2001 sayfa 45-54
[16] Pei Liu, Temmuz 2012, "Water issues in the coal supply chain in China", Proceedings Wilson Center
[17] Klett vd., Ağustos 2008, "Power Plant Water Usage and Loss Study for the U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory"
[18] Carpenter A.M., Kasım 2012, "Low Water FGD Technologies" ISBN 978-92-9029-530-3, IEA Clean Coal Centre
[19] Anderson J., 2003, "The Environmental Benefits of Water Recycling and Reuse. Water Science and Technology: Water Supply; 3(4); 1-10
[20] Munson R. vd., 2009, "Use of non-traditional water for power plant applications: an overview of DOE/NETL R&D Efforts." Pittsburgh, PA and Morgantown, WV, USA, National Energy Technology Laboratory
[21] Stillwell A. S., Webber M. E., 2014 "Geographic, Technologic and Economic Analysis of Using Reclaimed Water for Thermoelectric Power Plant Cooling", Environmental Science & Technology; 48(8); 4588-4595
[22] Wilson M. vd., 2014, "The Power Plant Triple Bottom Line-Reclaimed Water for Cooling Water and Process Water Systems", Journal of the New England Water Environment Association; 48(4); 26-35
[23] Li H. vd., 2011, "Escalating Water Demand for Energy Production and The Potential for Use of Treated Municipal Wastewater", Environmental Science & Technology; 45; 4195-4200
[24] Hu F. vd., 2014, "8 Facts on China's Wastewater", China Water Risk, 6. sayfa
[25] Dow Water and Process Solutions, 2012, "40-Year-old Power Plant Gets Upgrade to Reuse Cooling Tower Blowdown and Comply With Stringent Water Use Standards" Midland, MI, USA, Dow Chemical Co.
[26] Da Silva A.K. vd., 2012, "Water Reuse in China. In: 2012 Guidelines For Water Reuse." Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA
[27] Lahnsteiner J. vd., 2007, "Reclamation of Wastewater for Industrial Purposes Advanced Treatment of Secondary Effluents for Reuse as Boiler and Cooling Make-up Water." Paper Presented at: 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, Belgium
[28] Kulkarni D., 2015, "Maharashtra to Use Sewage From Cities to Power Coal Plants" Mumbai, India, DNA, Diligent Media Corp
[29] Federation Of Indian Chambers of Commerce And Industry-HSBC Knowledge Initiative, "Water Use and Efficiency in Thermal Power Plants"
[30] Ekoloji Kollektifi Derneği, 2016, "Türkiye'de Termik Santraller- Kömürlü Termik Santraller ve Sağlık Etkileri"
[31] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Nisan 2017, "Türkiye'de Termik Santraller 2017" Ankara Yayın No:MMO/668
[32] Carpenter A.M., Ağustos 2015, "Water Availability and Policies for The Coal Power Cector", IEA Clean Coal Centre, CCC/256 SBN 978–92–9029–579-2
[33] CEA (2012a), Ocak 2012, "Report on Minimisation of Water Requirement in Coal Based Thermal Power Stations" New Delhi, India, Ministry of Power, Central Electricity Authority
[34] Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC), 2017, Water Energy Nexus: Coal- Based Power Generation and Conversion – Saving Water, Energy Working Group, Singapore

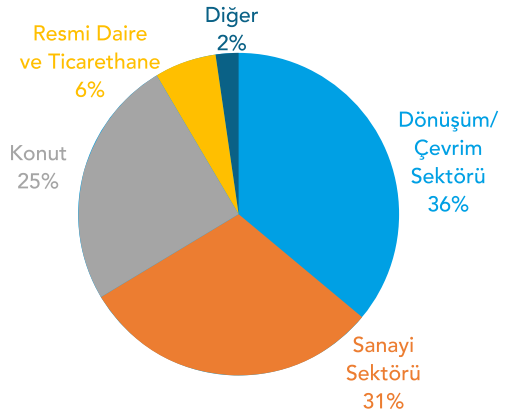
DOĞALGAZ ÇEVRİM SANTRALLERİ

Türkiye'de
DOĞALGAZ KULLANIMI VE ENERJİ

Bir petrol türevi olan doğal gaz: yanıcı, havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Başta metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşur. Yer altında, genellikle petrol ile birlikte veya gaz rezervuarlarında bulunur. Kaynağından çıkarıldığı haliyle herhangi bir işlemden geçirilmeksizin kullanılabilen doğal gaz, boru hatları ile veya sıvılaştırılarak tankerlerle taşınır [1].
Ülkemiz 2016 yılında 367,28 milyon Sm^3 doğalgaz üretimi gerçekleştirirken, 46.352,17 milyon Sm^3 doğalgaz ithalatında bulunmuştur. 2015 yılına göre doğalgaz üretiminde %3,69'luk bir azalma gerçekleşirken, doğalgaz ithalatında ise %4,28 azalma gerçekleşmiştir. 2016 yılı doğal gaz tüketiminin sektörel dağılımları Tablo 1'de verilmektedir [2]. Doğalgazın sektörel kullanımı Şekil 1'de verilmektedir.

Tablo 1. *2016 yılı doğalgaz kullanım miktarlarının sektörel dağılımı*

Sektör	2016	2016 Pay (%)
Dönüşüm/Çevrim Sektörü	16.730,31	36,06
Enerji Sektörü	346,30	0,75
Ulaşım Sektörü	397,37	0,86
Sanayi Sektörü	14.094,99	30,38
Hizmet Sektörü	3.098,73	6,68
Diğer Sektörler	11.723,26	25,27
Kayıplar	4,10	0,01



Şekil 1. *2016 yılı doğal gaz sektörel tüketim dağılımı*

Şekil 1'de ülkemizde doğalgazın en çok dönüşüm/çevrim sektörü (elektrik enerjisi üretimi)'nde kullanıldığı, ardından sanayi ve konut tüketiminin geldiği görülmektedir. Ülkemizin yakaladığı yüksek büyüme oranları, enerji talebinin de hızla artmasını beraberinde getirmiştir. Önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam edeceği ön görülmektedir [2].

2015 yılında 129,22 milyon ton petrol eşdeğerine (milyon tep) ulaşan yıllık enerji arzı bir önceki yıla nazaran yaklaşık %7,0'lik bir artış göstermiştir. 2015 yılı verilerine göre enerji arzında %30,7 ile doğalgaz önceki iki yılda olduğu gibi ilk sıradaki yerini alırken, onu %29,0 ile kömür, %28,1 ile yine ham petrol ve petrol ürünleri izlemiştir. Geri kalan %12,2'lik kısım ise başta hidrolik olmak üzere yenilenebilir kaynaklar ile elektrikten karşılanmıştır. 2013-2015 dönemi kıyaslandığında, jeotermal ve rüzgârın birincil enerji arzındaki payının sürekli arttığı, biyoenerji ve atıklar, güneş ve elektriğin payının ise sürekli azaldığı rapor edilmiştir [3].

Son 10 yılda Türkiye elektrik, kömür ve doğal gaz talep artış oranları bakımından Avrupa'da ilk sırayı almaktadır.

2015 itibariyle yaklaşık 78,7 milyon nüfusa sahip olan Türkiye'de kişi başına enerji tüketiminin %5,60 artışla 1.641 kep, elektrik tüketiminin ise %3,41 artışla 2.760 kWh olduğu hesaplanmıştır [3].

Tablo 2'de Ülkemizin birincil enerji arzı verilirken, Tablo 3'te ise yıllara göre kişi başına tüketilen enerji ve elektrik miktarları verilmiştir.[3]

Tablo 2. *Türkiye, birincil enerji arzı*

	2014 (bin tep)	2014 (%)	2014-2015 (değişim)	2015 (%)
Doğalgaz	40.201	33,3	39.651	30,7
Kömür	36.682	30,4	37.514	29,0
Petrol ve Petrol Ürünleri	31.625	26,2	36.367	28,1
Hidrolik	3.495	2,9	5.775	4,5
Jeotermal-Diğer Isı	3.524	2,9	4.805	3,7
Biyoenerji ve Atıklar	3.246	2,7	2.937	2,3
Rüzgâr	733	0,6	1.002	0,8
Güneş	803	0,7	828	0,6
Elektrik	439	0,4	339	0,3
Toplam	120.747		129.217	

Tablo 3. *Türkiye, yıllara göre kişi başına enerji ve elektrik tüketimi*

	2014	2015	2014-2015 (değişim)
Nüfus	77.695.904	78.741.053	+ % 1,35
Enerji Tüketimi	1.554 kep	1.641 kep	+ % 5,60
Enerji Tüketimi (net)	2.669 kWh	2.760 kWh	+ % 3,41
Enerji Tüketimi (brüt)	3.243 kWh	3.325 kWh	+ % 2,53

Fosil enerji kaynakları bakımından net ithalatçı ülke konumunda olan Türkiye'de 2015 yılında enerji arzının petrolde %97, doğalgazda %99,5, taş kömüründe %97 olmak üzere toplamda %77,5'lik (2014'te %76,3) bölümü ithalat (net) ile karşılanmıştır.

2016 yılı sonu itibarı ile kalan üretilebilir doğal gaz rezervimiz 18,7 milyar m³'tür. Elektrik enerjisi üretiminde doğal gaza dayalı kurulu gücümüz 2016 yılı sonu itibarıyla toplam kurulu gücümüzün %32,2'sini karşılamaktadır [3].

Şekil 2'de ülkemizde lisansı üretim yapan doğalgaz çevrim santrallerinin bölgelere göre dağılımı verilmektedir.

Şekil 2. *Doğalgaz çevrim santrallerinin bölgelere göre dağılımı*

Şekil 2'de görüldüğü üzere ülkemizde doğalgaz çevrim santrallerinin en çok bulunduğu bölge 123 santralle Marmara bölgesidir. Marmara bölgesinde ise en çok doğalgaz santrali 31 adet santralle Tekirdağ ilinde bulunmaktadır.

DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİ

Kombine Çevrim terimi, esas itibariyle gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade etmekte olup, genel prensibi gaz türbin çevriminden çıkan egzost gazlarının yüksek dereceli ısısının su/buhar çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimlerde birincil olarak elektrik üretimi sağlanmakla birlikte, istenirse çevrimden ara buhar alınarak santral, birleşik ısı-güç (Kojenerasyon) sistemi olarak da çalıştırılabilir. Bu özelliği ile kombine çevrimler, ısı-güç üretiminde günümüzde var olan en verimli yöntem olarak öne çıkmaktadır [4].

Kombine çevrim fikri basit Brayton çevriminin verimini, yüksek sıcaklıklarda çalışmanın sağladığı kazançlardan yararlanmak ve egzoz gazlarıyla atılan ısı enerjisini geri kazanarak bu enerjiyi buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek fikrinden hareketle ortaya çıkmıştır. Kombine güç çevrimleri geçen yüzyılın başından beri tasarlanan sistemler olmasına rağmen ilk kombine çevrim santrali 1950'de kurulmuş olup, daha sonra ise hızla artan uygulamaları ile günden güne gelişim göstermektedir [4].

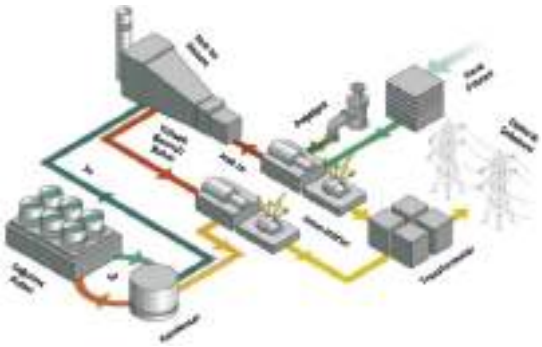
Genel olarak kombine çevrimin çalışma prensibi; atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbinin kompesör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasında püskürtülerek verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile karışır ve yanma gerçekleşir. Yanma sonucu oluşan 1375 - 1400 °C sıcaklığındaki atık gazlar bir egzost (çıkış) kanalıyla atık ısı kazanına iletilir. Burada bir miktar buhar üretilir ve soğuyan gaz daha sonra kazan bacasından atmosfere atılır.

Atık ısı kazanlarında, genel olarak üç ayrı ısı eşanjör bölümü bulunur. Su/buhar çevriminde, su/kondensat ilk önce kazanın ekonomize bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra evaporatör bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar kızdırıcı bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak türbinine verilir.

Kazan/buhar türbini gruplarının tekrar kızdırmalı veya tekrar kızdırmasız, iki ya da üç basınç kademeli olmaları durumunda; ekonomizör, evaporatör ve kızdırıcı bölümleri de her bir basınç kademesi için kazan içinde ayrı ayrı yer alırlar ve bu basınç kademelerine bağlı olarak su/buhar çevrimi de kendi içinde ayrı çevrimler oluşturur. Atık ısı kazanında üretilerek türbine verilen buhar, türbin kademelerinde genleşir ve böylece termik enerji mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve

sıcaklıktaki buhar kondensere gelir ve burada soğutma sistemi vasıtasıyla yoğuşturularak su haline dönüşür. Daha sonra kondensat pompaları ile içlerindeki yoğuşmamış gazların alınması için degazör/besleme suyu tankına gönderilir. Su, besleme suyu tankından besleme suyu pompalan ile tekrar atık ısı kazanına basılır. Bu şekilde su/buhar kapalı çevrimi; kazan, buhar türbini ve kondenser arasında sirküle eder [5].

Şekil 3'te doğalgaz kombine çevrim santrali üretim süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 3. *Doğalgaz kombine çevrim santralleri üretim süreçleri*

Doğalgaz kombine çevrim santralleri genellikle şu ünitelerden oluşmaktadır;

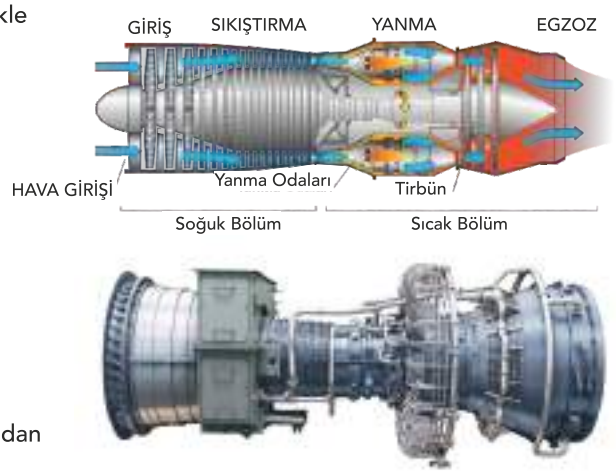
- Gaz Türbini
- Atık Isı Kazanı
- Buhar Türbini
- Jenaratör
- Kondenser
- Soğutma Kulesi

Gaz Türbini

Gaz Türbini aynı şaft üzerinde dört ana kısımdan oluşmaktadır:

- Hava Kompresörü;
- Yanma Odaları;
- Türbin;
- Jeneratör

Filtrelerden geçirilen hava kompresörde sıkıştırılarak basıncı yükseltilir ve bu sıkıştırma sonucu sıcaklığı artar. Sıcak ve basınçlandırılmış hava yanma odalarında, dışarıdan beslenen doğal gazı yakmakta kullanılır. Yanma sonucu oluşan sıcak gaz karışımı (1.375-1.400 °C) bir türbin içinden geçerek türbin rotorunu döndürür. Bu dönme hareketini sağlayan mekanik enerjinin, kompresörde tüketilen kısmı hariç olmak üzere, geri kalan kısmı, kompresör ve türbin ile aynı şaft üzerinde bulunan jeneratörde elektrik enerjisine çevrilir. Gaz türbini kısmına bağlı diğer donanım ve sistemler ise; hava alış sistemi (filtrasyon ve ayrıştırma istasyonu, basınç kontrol bloğu, kontrol sistemi, vb.) ile egzoz sistemi (egzoz bacası ve kompansatörler)'dir. Gaz Türbini, dönme enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bir jeneratörün şaftına bağlıdır. İşlemin bu kısmı (basit çevrim) yaklaşık %40 oranında verimliliğe sahiptir. Yanma sürecinde açığa çıkan sıcak gazlar, gaz türbininden çıkmakta ve difüzör kanalı vasıtasıyla atık ısı kazanına yönlendirilmektedir. Kombine çevrimin tamamlanması ile verim değeri yaklaşık %60'a çıkarılır. Şekil 4'te gaz türbini verilmiştir [6].

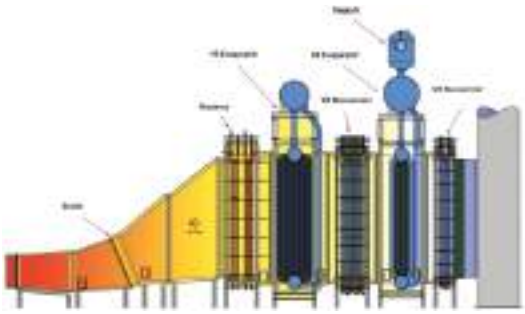


Şekil 4. *Gaz türbini*

Atık Isı Kazanı

Gaz türbini egzoz çıkışında bir difüzör vasıtası ile atık ısı kazanına bağlanır. Gaz türbini çıkışında oluşan egzoz gazı ısısının kazan içerisinde konumlandırılan ve demineralize su ile dolu olan serpantinli borularda ısı emiliminin sağlanması ile atık ısı kazanı içerisinde 3 kademe; yüksek, orta ve düşük basınçta buhar elde edilir. Atık ısı kazanı ilave yakma olmayan, üç basınç kademeli, tekrar ısıtma ünitelerine sahip olup, buhar türbini için buhar üretmek amacıyla, gaz türbininde açığa çıkan yanma gazlarında bulunan atık enerjiden yararlanmaktadır. Atık ısı kazanı, yüksek basınç (YB), orta basınç (OB), düşük basınç (DB) ve tekrar kızdırıcı (TI) bölmelerine sahiptir. Besi suyu, atık ısı kazanının YB, OB ve DB bölümlerindeki boru demetlerinden pompalanmaktadır. Besi suyu borular içerisinden geçerken gaz türbinindeki egzoz gazlarından ısı enerjisini emmekte ve buhara dönüştürmektedir. Ayrıca, YB buhar türbini egzozundan gelen soğuk buhar da, OB kademesine gönderilmeden önce, atık ısı kazanının tekrar kızdırıcı bölmesinde yeniden ısıtılmaktadır. Gaz türbininde açığa çıkan egzoz gazları, atık ısı geri kazanımlı buhar kazanından geçtikten sonra, atık ısı kazan bacası vasıtasıyla atmosfere salınmaktadır [6]. Atık ısı kazanı şematik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 6'da ise proje ekibi tarafından ziyaret edilen doğalgaz çevrim santrallerindeki atık ısı kazanı görüntüleri verilmektedir.

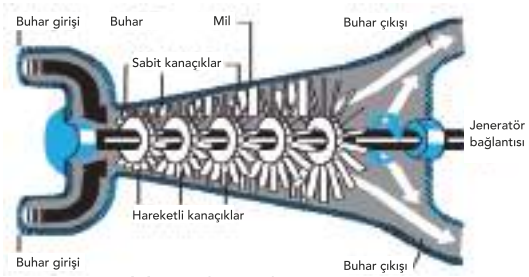


Şekil 5. *Atık ısı kazanı*

Şekil 6. *Ülkemizdeki doğal gaz çevrim santrallerindeki atık ısı kazanları*

Buhar Türbini

Buhar prosesinde, atık ısı kazanından (HRSG) gelen yüksek basınçlı buhar, yüksek basınç türbinine girer ve burada genleşerek ısısı düşer. Yüksek basınç türbininin egzoz tarafından gelen yüksek basınç çıkış buharı orta basınç buharıyla karışır, atık ısı kazanında yeniden ısıtılır ve orta basınç türbinine gider. Buradan çıkan düşük basınçlı buhar ise düşük basınç türbinine gider. Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki çürük buhar kondensere gelir ve burada soğutma sistemi vasıtasıyla yoğuşturularak su haline dönüşür. Daha sonra kondensat pompaları ile içlerindeki yoğuşmamış gazların alınması için degazör/besleme suyu tankına gönderilir. Su, besleme suyu tankından besleme suyu pompaları ile tekrar atık ısı kazanına basılır. Bu şekilde su/buhar kapalı çevrimi; atık ısı kazanı, buhar türbini ve kondenser arasında çevrilir [6]. Şekil 7'de buhar türbini şeması verilmektedir. Şekil 8'de ise buhar türbini jeneratör bağlantısı verilmektedir.



Şekil 7. *Buhar Türbini*

Kondenser ve Soğutma Kulesi

Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar kondensere gönderilerek burada soğutma sistemi vasıtasıyla yoğuşturularak su haline dönüşür. Daha sonra bu yoğuşturulan su tekrar atık ısı kazanına gönderilir. Bu şekilde su/buhar kapalı çevrimi; kazan, buhar türbini ve kondenser arasında sirküle edilir [6].

Şekil 9'da proje ekibi tarafından ziyaret edilen doğalgaz çevrim santrallerinde kullanılan farklı tipte soğutma kulesi görüntüleri verilmektedir.

Jeneratörler

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde gaz ve buhar türbinlerinde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren jeneratörler, yüksek devirlerde tahrik edildiklerinden dolayı yapıları itibariyle yuvarlak kutuplu senkron jeneratörlerdir.

Günümüzde genellikle hava soğutmalı tip jeneratörler kullanılmasına karşın, hidrojen soğutmalı jeneratörlerde kullanılmaktadır. Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde senkron jeneratörler genellikle şebeke ile paralel çalışır [6].

Şekil 8. *Buhar türbini jeneratör bağlantısı*

Şekil 9. *Doğalgaz çevrim santrallerinde kullanılan soğutma kuleleri*

Transformatörler

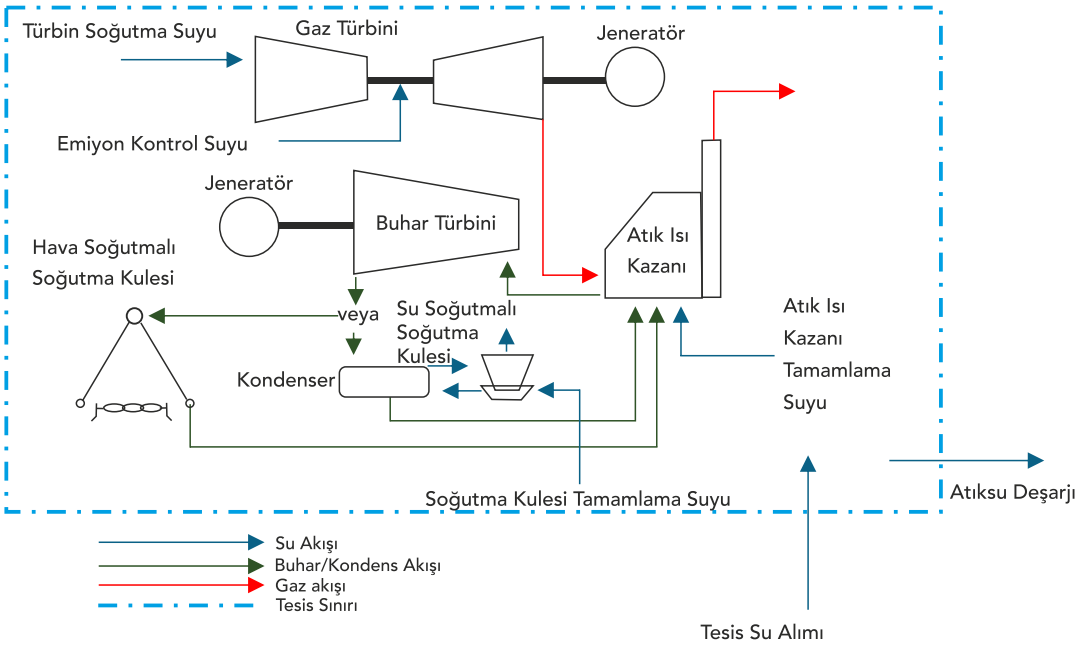
Jeneratörlerin çıkışına bağlanan yükseltici transformatörler, jeneratör tarafından üretilen elektrik enerjisinin gelirim sınıfını değiştirerek şebekeye aktarılması için kullanılır [6].

Şalt Tesisi

Trafoların çıkışından sonra üretilen elektriğin şebekeye ait iletim hatlarına uygun koşullar altında bağlanabilmesi için doğalgaz kombine çevrim santrallerinde bir şalt sahası inşa edilmektedir [6].

DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİNDE SU KULLANIMI VE ATIKSU OLUŞUMU

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde su kullanımı ve atıksu oluşumu, proses dışı su kullanımı ve atıksu oluşumu ve proseste su kullanımı ve atıksu oluşumu olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir. Şekil 10'da doğalgaz çevrim santrallerinde proses akım şeması üzerinde su kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 10. *Doğalgaz çevrim santrallerinde su kullanımı*

Proses Dışı Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu

Proses dışı su kullanımı, doğalgaz kombine çevrim santrallerinde çalışan personelin sosyal (duş, lavabo ve tuvalet vb.) ihtiyaçları, mutfak için su kullanımı ve tesis içi yeşil alan sulanması olarak gerçekleşmektedir. Santrallerde çalışan personelin içme suyu ihtiyacı genellikle şebekeden veya ambalajlı su ile temin edilmektedir. Tablo 4'te proses dışı su kullanımı özetlenmektedir.

Tablo 4. *Proses dışı su kullanımı*

Personel İhtiyacı	Sosyal kullanım (içmesuyu, duş, lavabo, tuvalet vb.)
Mutfak İhtiyacı	Yemek hazırlama için kullanım ve/veya bulaşık için kullanım
Sulama İhtiyacı	Tesis içi yeşil alan sulanması için kullanım
Temizlik İhtiyacı	İdari binanın temizliği için kullanım

Proses dışı atıksu oluşumu, doğalgaz kombine çevrim santrallerinde çalışan personelin sosyal ihtiyaçlarından, mutfaktan ve temizlik işlerinden kaynaklanmaktadır. Tablo 5'te proses dışı atıksu kaynakları verilmektedir.

Tablo 5. *Proses dışı atıksu oluşumu*

Kaynak	Açıklama
Personel İhtiyacı	Sosyal kullanım (içmesuyu, duş, lavabo, tuvalet vb.) kaynaklanan atıksu
Mutfak	Bulaşıkların yıkanmasından kaynaklanan atıksu
Temizlik İhtiyacı	İdari binanın temizliği sonucu oluşan atıksu

Proseste Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde; buhar üretimi, soğutma işlemi, multimedya malzemeli filtrelerde geri yıkama işlemi ve membran proseslerin yıkanmasında su kullanılmaktadır.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde gaz türbini çıkışında oluşan egzoz gazı ısısından faydalanılarak atık ısı kazanında buhar üretilmektedir. Üretilen buhar ile birlikte elektrik enerjisi üretilir. Bu proseste su, buhar üretmek için ve atık ısı kazanında blöf ile kaybolan suyu tamamlamak (make-up) için kullanılmaktadır.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde soğutma işlemi soğutma kuleleri vasıtası ile gerçekleşmektedir. Genellikle su soğutmalı soğutma kulelerinin kullanıldığı doğalgaz kombine çevrim santrallerinde hava soğutmalı soğutma kuleleri de kullanılmaktadır. Doğalgaz çevrim santrallerinde elektrik üreten buharın soğutularak kondense dönüştürülmesinde, türbinlerde ve transformatörlerde bazı ekipmanların soğutulmasında soğutma kulelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hava soğutmalı soğutma kulesi kullanılan tesislerde bazı ekipmanların soğutulması için kapalı devre (chiller) sistemi bulunmaktadır.

Hava soğutmalı soğutma kulelerinde su ihtiyacı bulunmamaktadır. Su soğutmalı kulelerde hem soğutma kulesinin doldurulması hem de buharlaşma ve blöf ile deşarj edilen suyu tamamlamak için su kullanılmaktadır. Kapalı devre sistemlerde ise hatların doldurulmasında ve hatlarda meydana gelecek kayıplarda su ihtiyacı bulunmaktadır.

Su hazırlama ünitelerinde bulunan kum filtreleri suda bulunan askıda katı maddeleri tutarken zamanla medya malzemesinde tıkanıklar meydan gelir bu tıkanıklıkları engellemek için kum filtrelerinde zaman zaman geri yıkama yapılması gerekmektedir. Geri yıkama işlemi için su ihtiyacı bulunmaktadır. Geri yıkama işlemi demineralizasyon ünitesinde de yapıldığından demineralizasyon ünitesi için de su ihtiyacı bulunmaktadır.

Su hazırlama ünitesinde bulunan membran prosesler (ultrafiltrasyon (UF), ters ozmos (RO)) zamanla tıkanarak verimini kaybederler. Bu durumlarda membranların kimyasal olarak yıkanması gerekmektedir. Membran proseslerde kimyasal yıkama işlemi için su ihtiyacı bulunmaktadır. Tablo 6'da doğalgaz çevrim santrallerinde proseste su kullanımı özetlenmektedir.

Tablo 6. *Proseste su kullanımı*

Proses ve su kullanım amacı	
Buhar üretimi	Atık ısı kazanında buhar üretiminde
Soğutma işlemi	Tesiste çeşitli faaliyetler için ihtiyaç duyulan soğutma işleminde
Su hazırlama ünitesi	Kum filtresi, demineralizasyon üniteleri geri yıkamalarında, membran proseslerde yıkama işleminde
Make-up	Atık ısı kazanı, soğutma kuleleri ve kapalı devre sistemlerinde eksilen suyun tamamlanmasında

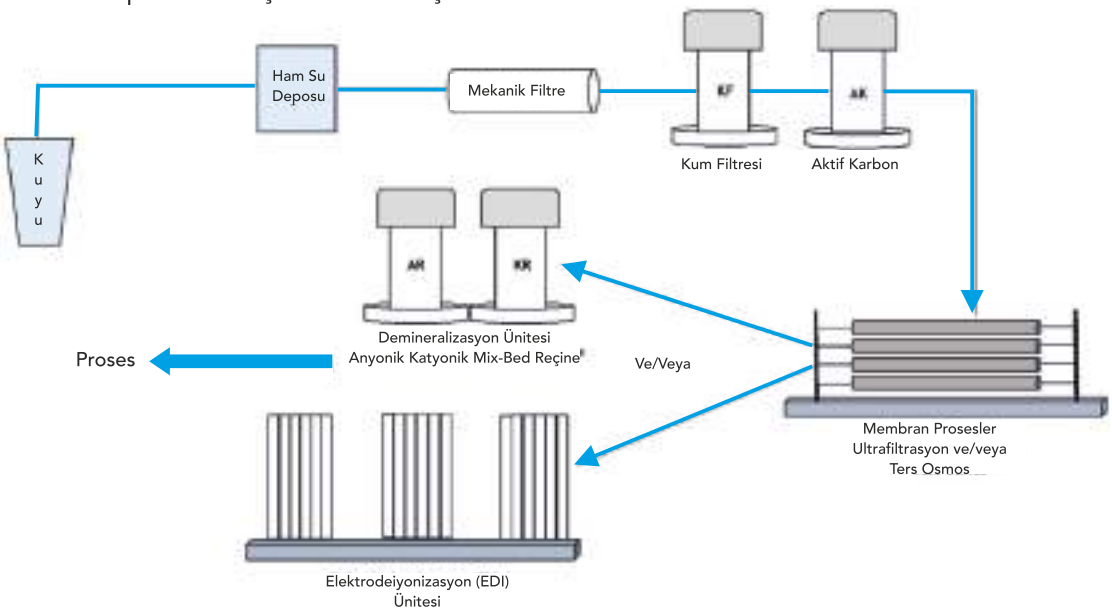
Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde proseslerde kullanılan suyun saf suya yakın özelliklerde olması istenmektedir.

Proje kapsamında ülkemizde faaliyet gösteren 3 farklı doğal gaz çevrim santralinde incelemeler yapılmış ve üretim prosesleri, su kaynakları, proses suyu hazırlama üniteleri ile atıksu geri kazanım uygulamaları değerlendirilmiştir.

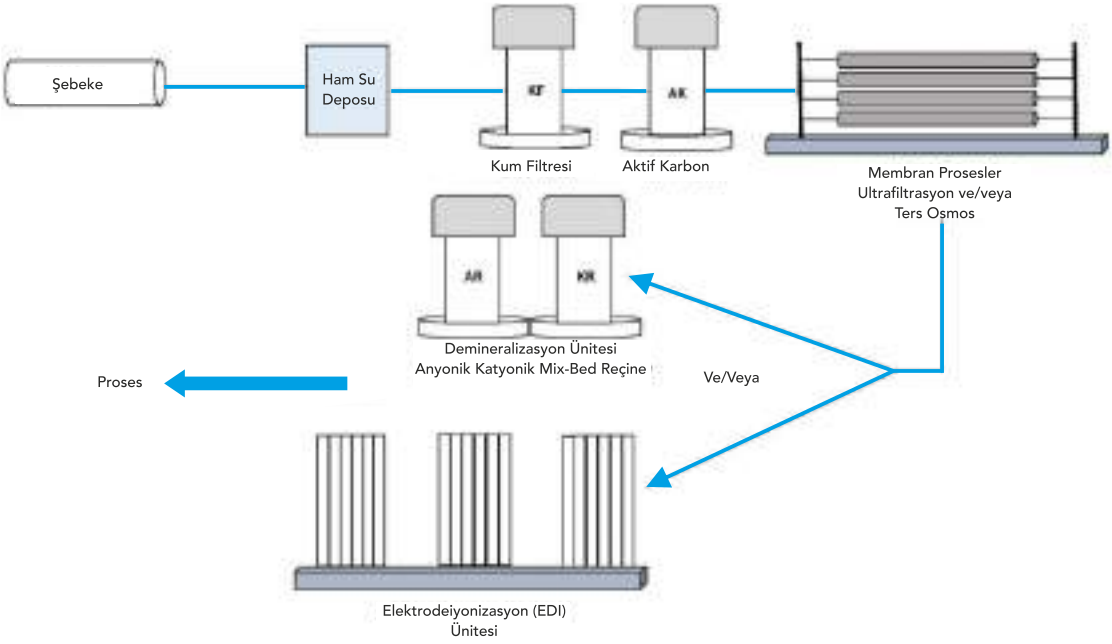
İncelenen 3 tesisin su kaynakları; kuyu suyu, şebeke suyu ve bir evsel atıksu arıtma tesisinde ileri arıtma sonrası geri kazanılarak doğal gaz çevrim santraline satılan arıtılmış atıksudur. Şekil 11,12 ve 13'te farklı su kaynaklarından su temin eden santraller için uygulanan su hazırlama tesislerinin proses akım şemaları verilmiştir.

Şekil 14'te proje ekibi tarafından ziyaret edilen doğalgaz çevrim santrallerinin su hazırlama ünitelerindeki mevcut arıtma proseslerinden görüntüler verilmektedir.

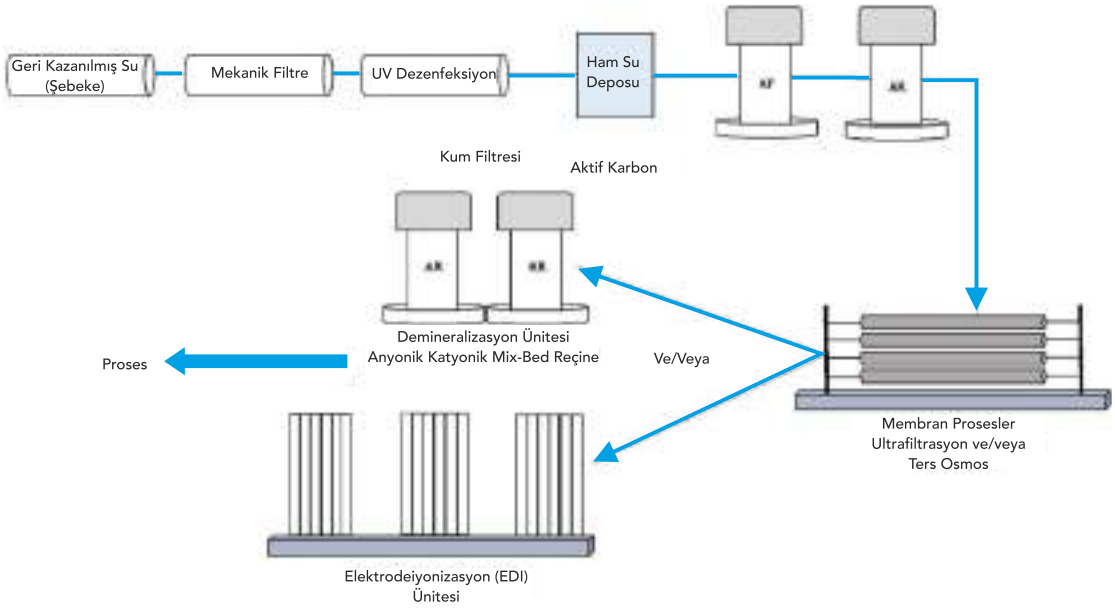
Bununla birlikte, su hazırlama ünitesinde yer alacak arıtma prosesleri su kaynağından temin edilen suyun karakterizasyonuna göre ve proseste istenilen su kalitesine göre belirlenmelidir. Bu rehber dokümanda hazırlanan arıtma prosesi akım şemaları literatür çalışmaları ve saha ziyaretleri sırasında elde edilen verilere göre oluşturulmuştur.



Şekil 11. *Ham su kaynağı olarak kuyu suyu kullanan tesisler*



Şekil 12. *Ham su kaynağı olarak şebeke suyu kullanan tesisler*



Şekil 13. *Ham su kaynağı olarak arıtılmış atıksu kullanan tesisler*

Şekil 14. *Doğal gaz çevrim santrallerinde su hazırlama ünitelerinde arıtma prosesleri*

Doğal gaz çevrim santrallerinde proses atıksuları;

- buhar üretimi prosesinde atık ısı kazanlarında gerçekleşen blöf suları,
- soğutma işlemi sonucunda soğutma kulelerinde gerçekleşen blöf suları,
- proses suyu hazırlama ünitesinde yer alan filtrelerde (kum filtresi, aktif karbon filtreleri, deminerilizasyon ünitesi) geri yıkama işlemi sırasında oluşan atıksular,
- membran proseslerde (UF, RO) membran yıkanması sonucu oluşan atıksular ve membran konsantreleri,
- kapalı devre sistemlerin arıza ve/veya hatlarda meydana gelen kaçaklarda oluşan atıksulardan oluşmaktadır.

Atık ısı kazanları kazan içerisindeki suyu buhar haline getirmektedir. Üretilen buhar saftır ve dolayısı ile kazan içerisinde bulunan su içerisindeki iyonlar zamanla kazan içerisinde yoğunlaşır. Kazan işletmeciliğinde kazan içerisinde bulunan sudaki iyonların belirli limit değerlerde tutulması gerekmektedir. Bu limit değerlerin sağlanması için belirli aralıklarla kazan içerisindeki yüksek yoğunluktaki su blöf ile kazan dışına atılırken sisteme taze su vererek sistem işletilmektedir.

Soğutma kulelerinde ise soğutma işlemi sırasında meydana gelen buharlaşma ile sistemden saf su kaybedilir ve su içerisinde bulunan iyonlar kule içerisinde yoğunlaşır. Kule işletmeciliğinde kule içerisinde bulunan sudaki iyonların belirli limit değerlerde tutulması gerekmektedir. Bu limit değerlerin sağlanması için belirli aralıklarla kule içerisindeki yüksek yoğunluktaki su blöf ile kule dışına atılırken sisteme taze su vererek sistem işletilmektedir.

Kapalı devre sistemlerde ise hatların temizlenmesi ve bakım onarımı sırasında kapalı devre sistem içerisinde bulunan suyun boşaltılması gerekebilir. Bu durumlarda kapalı devre sistemlerden kaynaklanan bir atıksu oluşumu söz konusudur.

Proses suyu hazırlama ünitesinde yer alan filtreler (kum filtresi, aktif karbon filtreleri, deminerilizasyon ünitesi) su içinde bulunan askıda katı maddeler ve diğer kirleticilerden dolayı zamanla tıkanırlar ve geri yıkamaya tabi tutulurlar. Geri yıkama suları da proses suyu hazırlama ünitelerinden kaynaklanan atıksulardır.

Su hazırlama ünitesinde bulunan UF, RO membranların kimyasal yıkama atıksuları ve membran konsantreleri de önemli atıksu kaynakları arasındadır.

Tablo 7'de doğal gaz çevrim santrallerindeki önemli atıksu kaynakları verilmiştir.

Tablo 7. *Proses atıksularının kaynakları*

Proses	Açıklama
Buhar üretimi ve soğutma işlemi	Blöf sularının oluşturduğu atıksular
Su hazırlama ünitesi	Kum filtresi, aktif karbon, demineralizasyon üniteleri geri yıkama atıksuları Membran proseslerin yıkama atıksuları Membran proseslerin konsantreleri
Kapalı devre sistemler	Bakım onarım çalışmalarında oluşan atıksular Hatlardaki kaçaklar ile oluşabilecek atıksular

DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVRİM SANTRALLERİNDE ATIKSU GERİ KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMI

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde atıksu yönetimi proses dışı atıksular ve proses atıksuyu iki alt başlıkta incelenmiştir.

Evsel Atıksuların Yönetimi

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde çalışan personelin sosyal (duş, lavabo ve tuvalet vb.) ihtiyaçlarından, mutfaktan ve temizlik işlerinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksular aşağıdaki yöntemler kullanılarak bertaraf edilmektedir.

- Organize Sanayi Bölgeleri içerisinde bulunan doğalgaz kombine çevrim santrallerinde oluşan evsel nitelikli atıksular tesis içerisinde bulunan paket biyolojik arıtma tesisinde arıtılarak ve/veya Organize Sanayi Bölgesi altyapı sistemlerine deşarj edilerek Organize Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır.
- Alıcı ortama yakın konumda kurulan doğalgaz kombine çevrim santrallerinde oluşan evsel nitelikli atıksular tesis içerisinde bulunan paket biyolojik arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra alıcı ortama deşarj edilmektedir.
- Organize Sanayi Bölgesi içerisinde bulunmayan veya alıcı ortama yakın bir konumda kurulmamış olan doğalgaz kombine çevrim santrallerinde oluşan evsel nitelikli atıksular ise tesisin bağlı olduğu su ve kanalizasyon idaresinin altyapı tesislerine deşarj edilerek arıtılmaktadır.

Proses Atıksularının Yönetimi

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde buhar üretimi prosesinde atık ısı kazanlarında gerçekleşen blöf suları, soğutma işlemi sonucunda soğutma kulelerinde gerçekleşen blöf suları, multimedya malzemeli filtrelerde geri yıkama işlemi sırasında oluşan atıksular, membran proseslerde membran yıkanması sonucu oluşan atıksular ve kapalı devre sistemlerin arıza ve/veya hatlarda meydana gelen kaçaklarda oluşan endüstriyel nitelikli atıksular aşağıdaki yöntemler kullanılarak yönetilmektedir.

- Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde blöf suları ve ters ozmos (RO) konsantre sularının oluşturduğu proses atıksuları çeşitli proseslerden geçirilerek geri kazanılmaktadır. Geri kazanılmış proses atıksuları ise make-up suyu, geri yıkama suyu ve yangın suyu olarak yeniden kullanılmaktadır.
- Geri kazanım yapılmayan doğalgaz kombine çevrim santrallerinde ise proses atıksuları nötralizasyon (pH dengelemesi) işleminin ardından altyapı sistemlerine deşarj edilmektedir.

Doğalgaz çevrim santrallerinde proses atıksularının geri kazanımı mevcut su hazırlama ünitesine çeşitli proses ilaveleri yapılarak gerçekleştirilmektedir. Geri kazanılmış proses atıksuları tekrar proses içerisinde farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

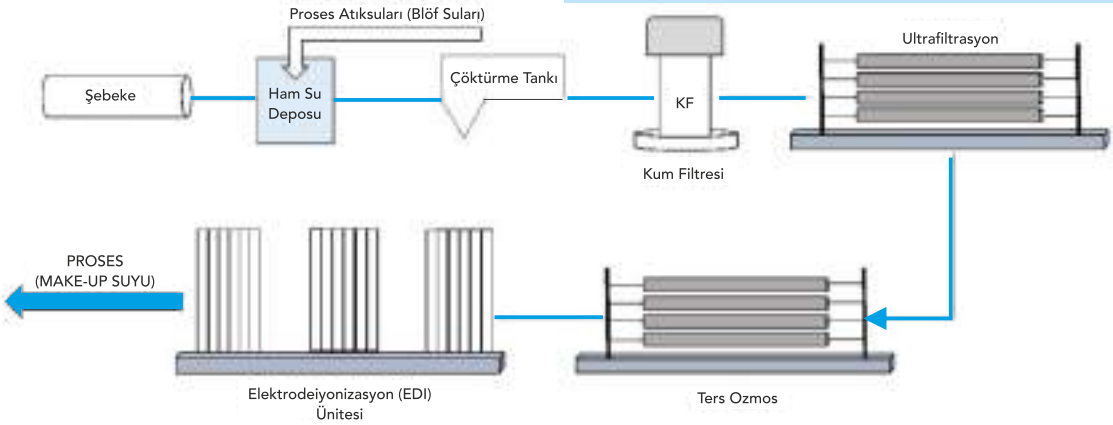
Şekil 15'te geri kazanılmış proses atıksuyunu tamamlama (make-up) suyu olarak kullanan bir doğalgaz kombine çevrim santralin geri kazanım tesisi akım şeması verilmektedir.

Şekil 16'da geri kazanılmış proses atıksuyunu yangın suyu, multimedya filtrelerin geri yıkama suyu ve Anyonik/Katyonik reçinelerin geri yıkama suyu olarak kullanan bir doğalgaz kombine çevrim santralin geri kazanım tesisi akım şeması verilmiştir.

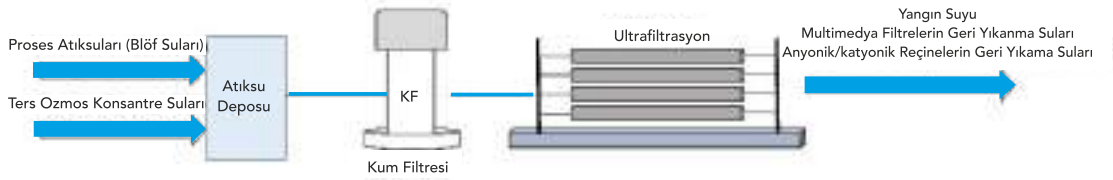
Tesiste kazan blöf suları ve şebekeden alınan su paçallanarak ham su deposuna alınmaktadır. Ham su deposuna dezenfeksiyon amacı ile belirli dozajda sodyum hipokolrit dozlanmaktadır. Ham su tankından çöktürme tankına alınan su burada kimyasal çöktürücüler (flokülant) yardımı ile içerisinde bulunan katı maddelerden arındırılmaktadır. Çöktürme tankından kum filtrelerine alınan suyun bulanıklığı giderilir ve su ihtiyaç olması halinde yangın suyu tankına alınarak yangın suyu ve servis suyu olarak kullanılır. Kum filtresinden alınan su ise sırası ile Ultrafiltrasyon, ters ozmos ve Elektrodeiyonizasyon ünitelerinden geçerek saf suya yakın kalitede bir su elde edilerek atık ısı kazanları beslenmektedir.

Tesiste soğutma kulesi blöf suları ve 1. kademe ters ozmos konsantre suları atıksu deposunda toplanmaktadır. Atıksu deposundan alınan su ise kum filtresi ve Ultrafiltrasyon ünitesinden geçirilerek yangın suyu depolama tankında toplanmaktadır. Bu tanktan ihtiyaç olması halinde yangın suyu olarak ve multimedya filtreler ile Anyonik/Katyonik reçinelerin geri yıkama suyu olarak kullanılmaktadır.

"Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi" kapsamında, ülkemizde faaliyet gösteren doğalgaz çevrim santralleri sektöründen belirlenen 3 farklı firmada Haziran 2017-Ekim 2017 tarihleri arasında proje ekibinin incelemeleri doğrultusunda akredite bir laboratuvar tarafından atıksu analizleri yapılmıştır.



Şekil 15. *Geri kazanılmış proses atıkuyu make-up suyu olarak kullanılan geri kazanım tesisi akım şeması*



Şekil 16. *Geri kazanılmış proses atıkuyu yangın suyu ve geri yıkama suyu olarak kullanılan geri kazanım tesisi akım şeması*

Doğalgaz çevrim santralleri sektörü için; geri kazanım tesisi giriş ve çıkışından SKKY'da tanımlı sektör tablosu Tablo 9.6 (Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri Soğutma Suyu ve Benzerleri), Tablo 9.7 (Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri Kapalı Devre Çalışan Endüstriyel Soğutma Suları) ve Tablo 20.7'ye (Su Yumuşatma, Demineralizasyon ve Rejenerasyon, Aktif Karbon Yıkama ve Rejenerasyon Tesisleri) ilave olarak proje ekibinin tesis incelemelerinde ve tesis yetkilileri ile gerçekleştirdikleri toplantılarda tesis özelinde geri kazanım prosesi için önemli olan parametrelerde analiz edilmiştir.

İncelenen tesislerden; alınan bilgilere göre tesisler 2016 yılında 100 bin ile 800 bin m^3/yıl aralığında proses için su kullanımı gerçekleşmiştir. Tesislerin su ihtiyaçları aralığının bu kadar geniş olmasının en büyük nedeni tesislerin soğutma işlemlerini hava veya su ile yapmasından kaynaklanmaktadır. Tesislerde oluşan atıksular 1 tesis hariç geri kazanımı yapılarak farklı amaçlar için yeniden kullanılmaktadır. Tesislerin su ihtiyacına göre yapılan hesaplamalarda geri kazanım oranları %6 ve %38 aralığında değişmektedir. Geri kazanım yapan tesislerden biri geri kazanılmış proses atıksularını ham su kaynağı ile belirli oranda paçal yaparak tekrar proseste yeniden kullanırken diğer tesis ise geri kazanılmış atıksularını yangın söndürme amaçlı depolama ve su hazırlama ünitelerinde bulunan multimedya filtrelerin geri yıkanmasında kullanmaktadır.

Proseste oluşan atıksuyun özellikleri ve geri kazanılan suyun özellikleri Tablo 8'de verilmektedir.

Doğalgaz çevrim santralleri atıksuları düşük organik içerikli, yüksek iletkenlik, yüksek Alkalinite ve yüksek sertlik değerlerine sahip atıksular olarak karakterize edilebilmektedir. Proje ekibinin tesis yetkilileri ile yaptıkları toplantılarda geri kazanım suyunun proseste yeniden kullanımında silika, iletkenlik, Alkalinite, sertlik, Bulanıklık ve Askıda katı madde (AKM) gibi parametrelerin kısıtlayıcı parametreler oldukları belirtilmiştir.

İncelenen tesislerden alınan numunelerden geri kazanım tesislerinin kirletici parametreleri giderme ve SKKY ilgili tablolarını karşılama seviyeleri değerlendirildiğinde; her üç tesisinde bağlı oldukları SKKY tablosu deşarj kriterlerini sağladıkları tespit edilmiştir.

Tablo 8'de verilen analiz sonuçlarına göre incelenen tesislerde geri kazanım tesislerinin iletkenlik giderme verimleri %65 ile %99,9 aralığında, sertlik giderme verimi %90, Alkalinite giderme verimi %78 ve AKM giderme verimi ise %72 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. *Doğalgaz çevrim santralleri sektörü geri kazanım tesisi giriş ve çıkış değerleri**

		1.TESİS			2.TESİS		3.TESİS
Parametre	Birim	Proses Havuzu	RO Atık	EDI Ürün	UF Girişi	UF Çıkışı	Nötralizasyon Havuzu
pH	-	8,17	7,41	7,64	7,65	6,96	7,85
Klorür	mg/L	67	300	<2	95	60	123
Sülfat	mg/L	<2	29	<2	102	4,38	28,27
Demir	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
İletkenlik	µs/cm	437	2003	0,21	905	321	653
Bulanıklık	NTU	<1,175	<1,175	<1,175	1,125	0,88	
Sertlik	mg/L	221	814	21			
Alkalinite	mg/L	90	312	<20			
Silika	mg/L	22	20	0,5			
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L				17	<5	<5
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L						30
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L				23	4,55	
Yağ-Gress	mg/L						<10
Alüminyum	mg/L						0,23

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

DEĞERLENDİRME

Doğalgaz çevrim santralleri sektöründe oluşan atıksuların karakterizasyonu soğutma işleminin yapılma türüne göre, tesis içerisinde kullanılan su şartlandırma programının çeşidine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Doğalgaz çevrim santralleri sektöründe oluşan atıksuların ortak özellikleri ise iletkenlik, Alkalinite, sertlik ve AKM değerlerinin yüksek olmasıdır.

Doğalgaz çevrim santralleri sektöründe oluşan atıksular genellikle saf su hazırlama ünitelerine ilave edilen çeşitli prosesler (filtrasyon, iyon değiştirme, membran prosesler ve dezenfeksiyon) ile geri kazanılarak farklı amaçlar için yeniden kullanılmaktadır. Geri kazanım faaliyetlerinin yapılmadığı santrallerde oluşan atıksular ise kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılmak üzere bağlı bulunulan idarenin kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir.

Doğalgaz çevrim santralleri sektörünün kullandığı su miktarı ve oluşturduğu atıksu miktarları düşünüldüğünde doğalgaz çevrim santralleri atıksularının geri kazanılarak proseste tekrar kullanılmasının hem ekonomik açıdan hem de doğal çevrenin korunması açısından önemi büyüktür.

Günümüzde doğalgaz çevrim santralleri atıksularının geri kazanımı santrallerde yapılmakta olup bu alanda kazanılan tecrübeler ve her ne kadar da ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da işletme maliyetinde ki avantajı (incelenen tesisler için bu maliyet 1,6 TL/m^3 ile 2,25 TL/m^3 aralığında değişmektedir) doğalgaz çevrim santrali sektöründe geri kazanımın güçlü yanlarını oluşturmaktadır.

Ülkemizde işletilmekte olan doğalgaz çevrim santrallerinin % 47'si Marmara bölgesinde yer almaktadır. Marmara bölgesinde yaşanan su temininde dönem dönem yaşanan sıkıntılar ve su temin ücretlerinin çok yüksek olması bu bölgede işletilen doğalgaz çevrim santrallerinde geri kazanım faaliyetlerini bir zorunluluk haline getirmektedir. Marmara bölgesinde su temin maliyetleri ve geri kazanılmış atıksu maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda; incelenen tesisler için su temin maliyetleri 3,80 TL/m^3 – 10,52 TL/m^3 aralığında değişirken geri kazanılmış atıksu maliyetleri 1,6 TL/m^3 – 2,25 TL/m^3 aralığında değişmektedir. Bu santrallerde atıksu geri kazanım maliyetleri su temin maliyetlerinden daha ucuz olduğundan santrallerde maliyet açısından avantajlı olmakla birlikte atıksu deşarjını minimize ettiğinden dolayı da çevresel bazda da avantaj sağlamaktadır.

Yerüstü su kaynakları yakınlarında kurulan doğalgaz çevrim santrallerinde ise durum daha farklıdır. Su teminin ucuza mal edilmesinden dolayı su kaynakları yakınlarında kurulan doğalgaz çevrim santralleri geri kazanımı düşünmemektedir. Bu santrallerin de geri kazanım faaliyetlerinde bulunması için geri kazanımı teşvik edici düzenlemeler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] http://www.enerji.gov.tr

[2] Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK), 2016 "Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu"

[3] Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), 2016 "Sektör Raporu"

[4] TÜBİTAK TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışmaları Platformu,1998"Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu"

[5] Özgürel B., Egeli S., 1995, Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri, TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Uluslararası Doğal Gaz Konferansı Bildiriler Kitabı, Yayın no:179,

[6] Çınar Mühendislik Müşavirlik A.Ş. 2013, Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası

[7] https://www.gepower.com