

be node research



Yoğun Su Tüketen Sanayiler için

Su Verimliliği Yaklaşımları ve Sürdürülebilir Finansman

İÇİNDEKİLER

1. Giriş	5
2. Çalışmanın Kapsamı	5
3. Yönetici Özeti	7
4. Ülkemizdeki Havzaların Su Kıtlığı Açısından Değerlendirilmesi	8
5. Seçilen Sektörlerin Ülkemizdeki Durumu ve Tanıtımı	9
5.1. Gıda Üretim Endüstrisi	13
5.2. Tekstil Üretim Endüstrisi	14
5.3. Kağıt ve Kağıt Ürünleri Endüstrisi	15
6. Mevzuat ve Bağlayıcılıklar	16
7. Endüstriyel Su Verimliliğinde Su Geri Kazanım Teknolojileri ve Proses İçi Yenilikçi Çözümler	20
7.1. Su Geri Kazanımı Sağlayan Teknolojiler ve Prosesler	20
7.2. Proses İçi Su Verimliliğini Arttıran Yaklaşımlar	23
8. Su Verimliliğinde İle İlgili İyi Durum Örnekleri	26
9. Su Verimliliğinde ve Finansman	31
10. Genel Değerlendirme ve Çözüm Önerileri	37
11. Kaynaklar	38

Yoğun Su Tüketen Sanayiler için **Su Verimliliği** **Yaklaşımları ve** **Sürdürülebilir** **Finansman**

► **Hazırlayanlar:**

Doç. Dr. Zeynep Çetecioğlu Gürol (KTH)
Doç. Dr. Derya Yüksel İmer (İTÜ)

1. GİRİŞ

Su kaynaklarımızın sürdürülebilir ve verimli bir şekilde yönetilmesi, sadece ekonomik kalkınma açısından değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal dengelerin korunması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, **su verimliliği, suyun en az miktarda ve en etkili şekilde kullanılması gerektiğini** ifade eden bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Su verimliliği anlayışı, yalnızca insanların değil, tüm ekosistemin suya olan ihtiyaçlarını da dikkate alarak, içme suyu, tarım, sanayi ve diğer kullanım alanlarında suyun korunması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının daha verimli kullanılması için yerel ve küresel düzeyde bir dizi strateji ve eylem planı geliştirilmiştir.

Dünyada, suyun verimli ve adil kullanımı, Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin temel unsurlarından biri haline gelmiştir. İklim değişikliği, hızla artan nüfus ve su kaynaklarındaki azalma gibi küresel tehditler, suyun yönetimini daha kritik bir hale getirmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde, Avrupa ülkeleri de dahil olmak üzere birçok ülke ve ülkemizde sanayi sektörlerinde su ve diğer doğal kaynakların verimli kullanımı için yeni düzenlemeler ve teşvikler getirilmiştir. Küresel ölçekte bu çabalar, sürdürülebilir üretim ve tüketim anlayışını benimseyerek çevresel etkileri azaltmayı hedeflemektedir. Türkiye'de bu

küresel hareketle uyumlu bir şekilde, sanayide su verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmiştir. Birçok kurum tarafından yürütülen projeler ve oluşturulan su verimliliği eylem planları ve su verimliliği yönetmeliği ile ülkemizdeki endüstriyel su kullanımının **hem değer hem de tedarik zincirinde** optimize edilmesi ve kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır. Küresel ve bölgesel ölçekte, suyun doğru kullanımı ve verimliliği artırmaya yönelik atılan adımlar, sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da büyük bir önem taşımaktadır.

Bu rapor, Türkiye'nin mevcut su kaynaklarının yönetimine odaklanarak, özellikle **yoğun su tüketen sanayi kollarında su verimliliğini artırmaya** yönelik stratejiler ve eylem planları çerçevesinde, suyun daha etkin kullanımını sağlayacak yatırım önerileri sunmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede rapor kapsamında, ön kriterler ile seçilen sanayilerde **(tekstil, gıda ve kağıt)** proses suyu tüketiminin azaltılması, yenilikçi yaklaşımlarla su tasarrufu sağlanması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi amacıyla uygulamaya konulabilir çözümler, su geri kazanımı için uygulanabilir en iyi teknolojiler, mevzuat ve bağlayıcılıklar ve su verimliliği finansmanı detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Rapor kapsamında endüstriyel proses suyu kullanımının azaltılması, geri kazanımının artırılması ve proseslerde suyun daha verimli kullanılmasına yönelik yaklaşımları sunmak amacıyla özellikle üç sektöre odaklanılmıştır. Bu endüstriler NACE kodu bazında **C.10 - Gıda Ürünleri Üretimi, C.13 - Tekstil Üretimi ve C.17 - Kağıt ve Kağıt Ürünleri Üretimi** olarak seçilmiştir. Bu sektörler, Türkiye ve küresel düzeyde yüksek proses suyu tüketimi ile tanınmakta olup, su kaynakları üzerinde temiz su kaynağının kullanım hacmiyle ve oluşan atıksuların deşarjı ile önemli etkiler yaratmaktadır. Ayrıca, bu sektörlerin her biri, su kullanımını daha verimli hale getirmek ve sürdürülebilir üretim süreçleri geliştirmek için pazara ve yeni iş kollarına önemli fırsatlar sunmaktadır.

Gıda ürünleri üretimi, tekstil sanayi ve kağıt üretimi, endüstriyel su kullanımının yüksek olduğu ve çevresel etkilerinin belirgin bir şekilde görüldüğü faaliyet alanlarıdır. Bu sektörlerdeki su tüketimi, yalnızca üretim süreçlerinin doğrudan su kullanımıyla sınırlı olmayıp, aynı zamanda bu süreçlerin **atık su yönetimi, su geri kazanım teknikleri ve çevresel sürdürülebilirlik**

hedefleri ile de doğrudan ilişkilidir. Son yıllarda, endüstriyel su verimliliği alanında yapılan çalışmalar, bu sektörlerdeki su kaynaklarının daha verimli kullanılması, atık suyun geri kazanılması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi için çeşitli stratejiler geliştirilmesine öncülük etmiştir.

Özellikle Avrupa Birliği'nin su verimliliği ve temiz üretim konularındaki düzenlemeleri ve Türkiye'nin bu hedeflere uyum sağlamak için attığı adımlar, suyun endüstriyel üretimde etkin kullanımını için belirli bir yol haritası sunmaktadır. Bu rapor, bu üç sektörde yapılan mevcut çalışmaların yanı sıra, su verimliliği konusundaki potansiyel gelişmeleri ve sektörel bazda su kullanımının optimize edilmesine yönelik planlanan stratejileri derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede, suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, yalnızca çevresel etkilerin azaltılması için değil, aynı zamanda endüstriyel üretimde maliyetlerin düşürülmesi, finansal avantajların elde edilmesi ve rekabet gücünün artırılması adına da kritik öneme sahiptir.



3. YÖNETİCİ ÖZETİ

Garanti BBVA sponsorluğunda hazırlanan bu rapor, yoğun su tüketen işletmelerde su verimliliğini artırmak için kullanılabilecek teknoloji ve metotlar ile birlikte, bunlara kaynak sağlayabilecek sürdürülebilir finansman modellerini derlemeyi amaçlamaktadır. Rapor kapsamında üç endüstriye odaklanılmıştır: bu endüstriler NACE kodu bazında **C.10 - Gıda Ürünleri Üretimi**, **C.13 - Tekstil Üretimi** ve **C.17 - Kağıt ve Kağıt Ürünleri Üretimi** olarak seçilmiştir. Bu kapsamda öncelikle bu endüstrilerin Türkiye havzalarındaki dağılımı ve bu havzaların su kapasitelerine göre inceleme yapılmıştır. Sonuçlar Gıda, Tekstil ve Kağıt Endüstrileri için sırasıyla işletmelerini sadece %44, %39 ve %22'sinin su sıkıntısı olmayan havzalarda konumlandığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlara göre bu sektörlerin hepsi, su kullanımını daha verimli hale getirmek ve sürdürülebilir üretim süreçleri geliştirmek için aksiyon almak zorundadır.

Mevzuatlar çerçevesinde inceleme yapıldığında, özellikle ithalat yapan işletmeler uluslararası sözleşmelere tabi tutulmaktadır ve bu sözleşmeler kapsamında su verimliliği, su kaynaklarının korunması, kurumsal sürdürülebilirlik ve eko tasarım gibi konularda alınacak aksiyonlar raporda sunulmuştur. Yine aynı kapsamda ulusal mevzuatlar Avrupa Birliği'ne paralel hazırlandığı için yerel pazara üretim yapan işletmelerin de aynı kapsamda mevzuatlara bağlı olacağı belirtilmiştir.

Rapor kapsamında incelenen endüstrilerde su verimliliğini artırmak için kullanılabilecek yaklaşımlar, su geri kazanım teknolojileri ve proses içi çözümler olarak

ikiye ayrılmıştır. **Su geri kazanımında** özellikle üretim sırasında ortaya çıkan atıksuların geri kazanılması için kullanılabilecek teknolojilere odaklanılmıştır. Bu kapsamda membran filtrasyon teknolojileri, membran biyoreaktörler çözümleri, kimyasal ve elektrokimyasal teknolojiler açıklanmıştır. Proses içi çözüm önerilerinde ise su kullanımının haritalandırılması, proses iyileştirme, ekipman modernizasyonu, dijital ikiz ile izleme, çalışan farkındalığı ve eğitimleri, performans takibi ve sürekli iyileştirme metotları açıklanmıştır. Bu bahsedilen yaklaşımlarla ilgili her üç endüstri kolu için ülkemizden ve dünyadan iyi durum örnekleri de rapor içerisinde verilmiştir.

Bahsi geçen çözüm önerilerinin uygulanabilmesi için sürdürülebilir finansman modelleri de raporun içerisinde yer almıştır. Türkiye'de ve Dünya'da sürdürülebilir finansmana temel oluşturan altı çevresel hedef ve sürdürülebilir finansmanın aktarılmasında yararlanılan çerçeveler açıklanmıştır. Yenilikçi sürdürülebilir finans yapı ve araçları için aranan uygunluk kriterlerinden bahsedilmiştir. Sonuç olarak, C.10 - Gıda Ürünleri Üretimi, C.13 - Tekstil Üretimi ve C.17 - Kağıt ve Kağıt Ürünleri Üretimi sektörlerinde faaliyet gösteren şirketler için hem uygulanabilirlik hem de finansman yönetimi açısından ön plana çıkan metotlar şu şekilde özetlenebilir;

- Gri su geri kazanımı
- Bazı proses sularının geri kazanımı
- Akıllı vana sistemleri ve haftalık takip
- Dijital ikiz ile izleme
- Yağmur suyu hasadı

Ana Bulgular



Su Riski: Gıda, tekstil ve kâğıt sektörleri su stresi yüksek bölgelerde yoğunlaşmış durumda. Kullanımın %88'i üretimde, deşarj oranı %93.

Mevzuat: AB ve Türkiye'de su verimliliği standartları hızla zorunlu hale geliyor (WFD, Taksonomi, ISO 46001).

Teknolojiler: Membran, MBR, kimyasal arıtım, kapalı devre sistem, dijital ikiz, yağmur/gri su, sıfır deşarj.

İş Etkisi: Su maliyetleri düşer, risk azalır, kalite ve süreklilik artar.

Finansman: Yeşil krediler, tahviller, sürdürülebilirlik bağlantılı krediler ve KGF/KOSGEB destekleri.

Kamu Yararı Çıktılarına Giden Yol



1. Teknik Temeller

- Ölçüm ve izleme (akıllı sayaçlar, su dengesi çıkarma)
- Geri kazanım teknolojileri (UF/RO, MBR, kapalı devre)
- Dijitalleşme (dijital ikiz, otomasyon, bakım sistemleri)

2. Uygulama Alanları

- Gıda: Temizlik ve soğutma sularının yeniden kullanımı
- Tekstil: Boyama ve terbiyede atıksu geri kazanımı
- Kâğıt: Kapalı devre su kullanımı, leri arıtım, enerji geri kazanımı

3. Yönetişim Etkileri

- Mevzuata uyum ve şeffaflık artar
- Risk ve maliyetler daha görünür olur
- Kirlilik ve deşarj azalır

4. Kamu Yararı Çıktıları

- Su tasarrufu ve havza direncinin artması
- Temiz üretim ve halk sağlığının korunması
- Rekabetçilik ve istihdamın güçlenmesi

Stratejik Varsayım



2028'e kadar gıda, tekstil ve kâğıt işletmelerinin %40'ı su verimliliği sistemi kuracak; tesislerin üçte biri suyunun %20'sini geri kazanacak; yatırımların %30'u yeşil finansmanla yapılacaktır.

Öneriler



Kısa Vade: Su haritası, kaçak takibi, basit iyileştirmeler, yağmur/gri su pilotları, fizibilite, KGF/KOSGEB desteği.

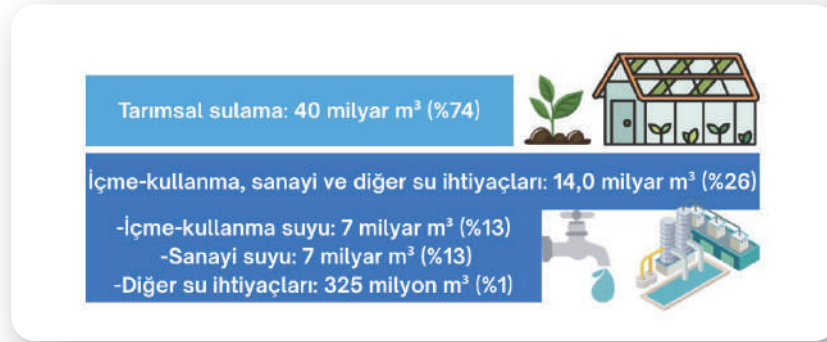
Orta Vade: ISO 46001, ortak geri kazanım tesisleri, dijital ikiz, tedarikçi denetimi, yeşil finansman.

Uzun Vade: Sıfır deşarj sistemleri, sektörler arası su paylaşımı, performans sözleşmeleri, AB Taksonomisi uyumlu raporlama.

4. ÜLKEMİZDEKİ HAVZALARIN SU KİTLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye’de, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından tamamlanan havza master planları ile Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yürütülen kuraklık yönetim planları ve sektörel su tahsis planları doğrultusunda, 25 havzanın su bütçesi çalışmaları alt havza bazında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında, mevcut ve gelecekteki

yerüstü suyu (YÜS) ve yeraltı suyu (YAS) potansiyelleri belirlenmiş, ayrıca sektörel bazda su ihtiyaçları analiz edilmiştir. Mart 2023 itibarıyla tamamlanan havzaların su potansiyeli belirleme çalışmaları sonucunda, su kullanımının sektörel dağılımı şu şekilde tespit edilmiştir¹:



Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre², 31 Aralık 2022 itibarıyla Türkiye’nin nüfusu **85.279.553** kişidir. Bir ülkenin su zengini sayılabilmesi için kişi başına düşen yıllık su potansiyelinin **1.700 m³**’ten fazla olması gerekmektedir. Türkiye’nin teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir su potansiyeli dikkate alındığında, kişi başına düşen yıllık su miktarı **1.297 m³** olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında, Türkiye su potansiyeli açısından zengin bir ülke değildir. Nüfus artışı ve iklim

değişikliğinin etkileri göz önünde bulundurulduğunda, gelecekte **su kısıtı bulunan ülkeler** arasında yer alma ihtimali oldukça yüksektir.

Bu nedenle, suyun tasarruflu ve verimli kullanımı büyük önem taşımaktadır³. Havzalar, kişi başına düşen su miktarı ve su kullanım oranlarına göre “mutlak su kıtlığı çeken”, “su kıtlığı çeken”, “su sıkıntısı altında” ve “su sorunu olmayan” olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1).



Mutlak Su Kıtlığı Çeken Havzalar (Kişi başına su miktarı < 500 m³/yıl)	Su Sorunu Olmayan Havzalar (>1.700 m³/yıl)
Küçük Menderes Havzası	Susurluk Havzası
Su Kıtlığı Çeken Havzalar (500 - 1.000 m³/yıl)	Kuzey Ege Havzası
Marmara Havzası	Batı Karadeniz Havzası
Asi Havzası	Burdur Havzası
Akarçay	Batı Akdeniz Havzası
Su Sıkıntısı Altındaki Havzalar (1.000 - 1.700 m³/yıl)	Antalya Havzası
Meriç-Ergene Havzası	Doğu Akdeniz Havzası
Sakarya Havzası	Seyhan Havzası
Büyük Menderes Havzası	Ceyhan Havzası
Gediz Havzası	Fırat-Dicle Havzası
Konya Kapalı Havzası	Yeşilirmak Havzası
Kızılırmak Havzası	Aras Havzası
	Doğu Karadeniz Havzası
	Doğu Anadolu Havzaları
	Çoruh, Van Gölü, Aras vb.)

Şekil 1. Falkenmerk su stres indeksine göre havzalarda kişi başına düşen su potansiyeli⁴

¹ Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2018), Su Kaynakları Yönetimi Ve Güvenliği, Ankara

² <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> (06 Şubat 2023)

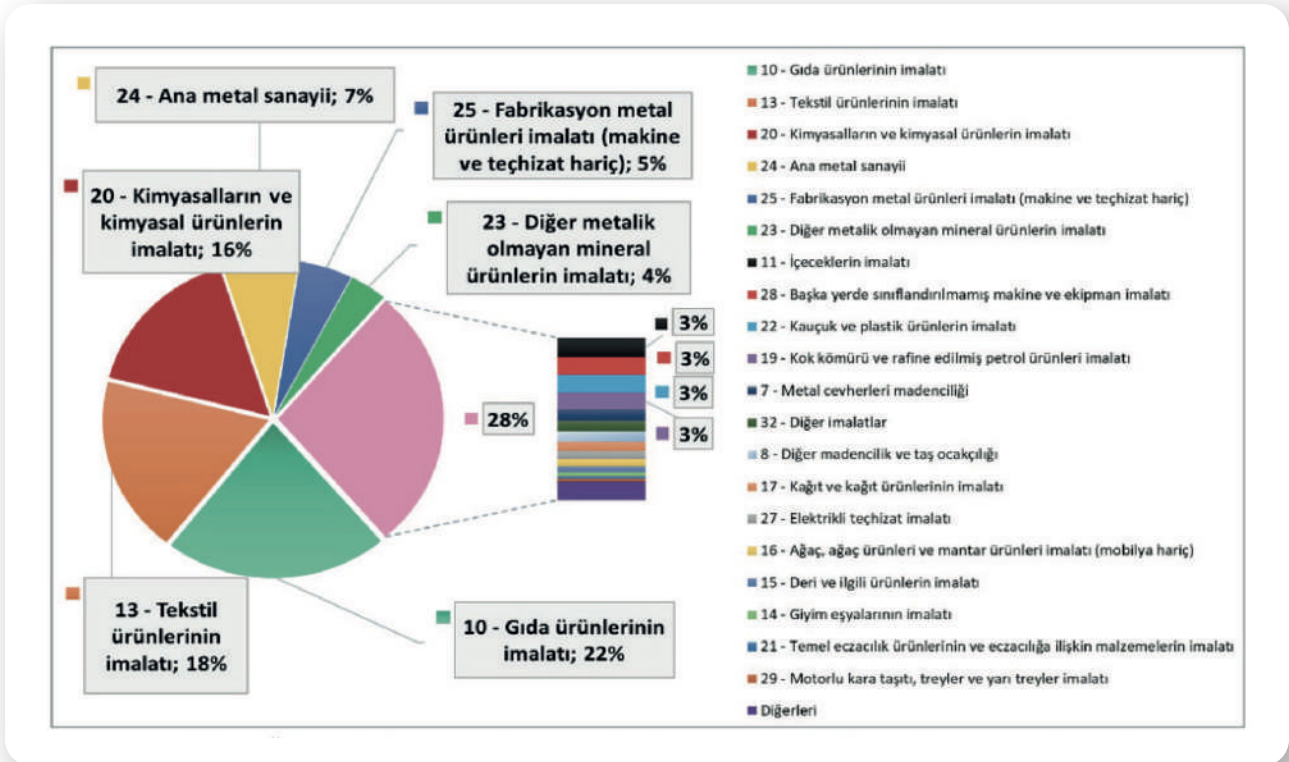
³ <https://susurasi.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/1430>

⁴ Üç Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planları Kapsamında Ekonomik Analizler ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Yardım Projesi (TR2013/0327.07.01-01/001), Su Verimliliğine İlişkin Metodolojik Rehber (<https://www.suverimiligi.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/Tarim-Sektoru-Su-Verimliliği-Rehber-Dokumanı.pdf>)

5. SEÇİLEN SEKTÖRLERİN ÜLKEMİZDEKİ DURUMU ve TANITIMI

Rapor kapsamında, Tarım Orman Bakanlığı'nın Su Verimliliği Rehber Dokümanları (2023)'te sunulan verilere göre (Şekil 2), ülkemizde su tüketiminde en üst sıralarda yer alan **gıda, tekstil ve kağıt endüstrileri** öncelikli olarak seçilmiştir. Aynı rehber dokümana göre gıda endüstrisi toplam endüstriyel su tüketiminin **%22'sini** kullanarak ülkemizde en çok su tüketen endüstrilerin başında gelmektedir. Tekstil endüstrisi ise gıda endüstrisini %18'lik su tüketimi ile takip etmektedir. Bir diğer seçim kriterinde ise Garanti

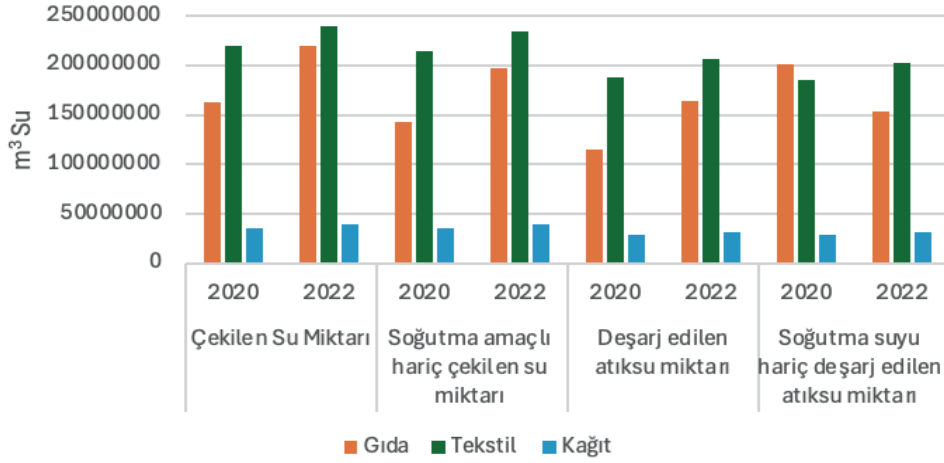
BBVA Bankası'nın "Finansal Sistemin Yeşillendirilmesi Ağı (NGFS) iklim senaryolarını kullanan fiziksel risk analizi çıktıları" rol oynamıştır. TÜİK'in Su ve Atıksu İstatistik verisi (2022) kullanılarak bu rapor kapsamında hedeflenen endüstrilerin su bütçeleri grafiksel olarak Şekil 3'te sunulmuştur. Seçilen üç endüstride de kullanılan **suyun çok büyük bir bölümü (>%88) proses suyu olarak** kullanılmaktadır ve soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı %93'ten fazladır. Kağıt endüstrisi su ihtiyacı gıda ve tekstil endüstrilerine göre daha az olmaktadır.



Şekil 2. Ülkemizde sanayide sektörel bazda su kullanımlarının dağılımı⁵

⁵ Değişen İklimle Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023 - 2033), T.C.Tarım Ve Orman Bakanlığı-Su Yönetimi Genel Müdürlüğü

Seçilen Endüstrilerin Su Tüketimi ve Atıksu Üretimi

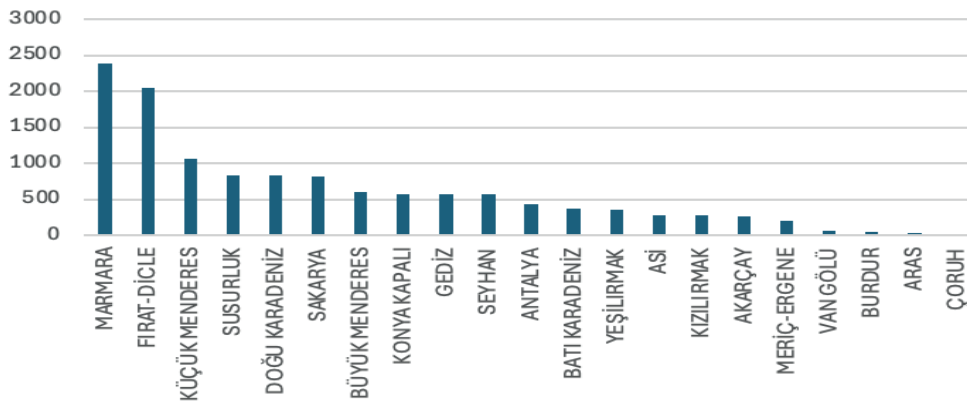


Şekil 3. Seçilen endüstrilerin yıllık su tüketimi ve atıksu üretimi miktarı⁶

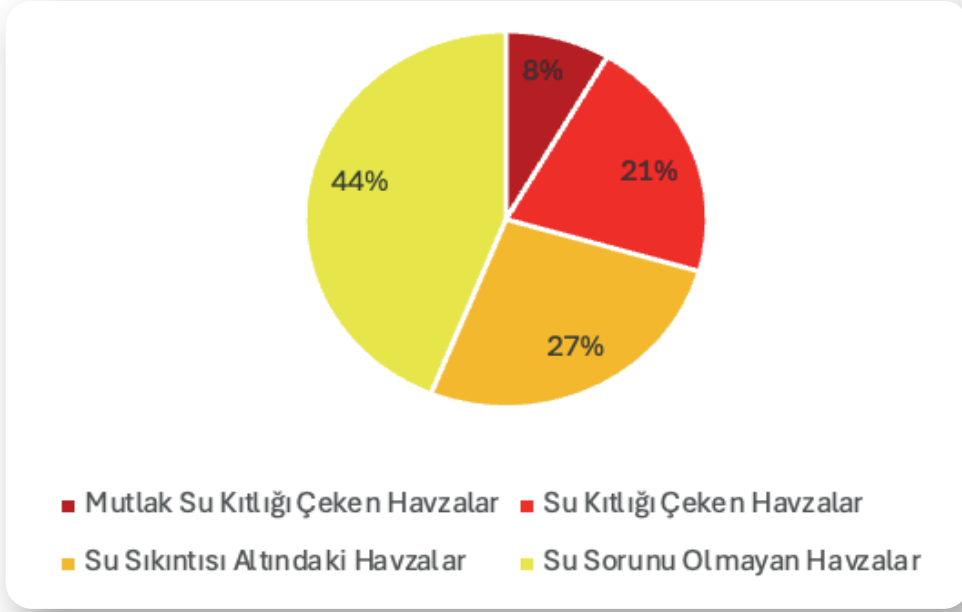
Rapor kapsamında seçilen endüstrilerin ülkemizde bulunan mevcut işletmelerinin TOBB Sanayi Veri Tabanına göre sayıları ve bulundukları havzalar ve havzaların Bölüm 4'te tanımlanan Falkenmerk su stres indeksine göre dağılımı hesaplanmış ve Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da grafiksel olarak verilmiştir. Bu yaklaşıma göre gıda endüstrisinin dağılımı havza nüfusu ile orantılı

olarak en çok Marmara havzasında görülmektedir (Şekil 4). Su tüketimi açısından sektörler arasında ilk sıraya yerleşmiş olan Gıda endüstrisinin havzalardaki dağılımına bakıldığında bu işletmelerin yalnızca %29'unun mutlak su kıtlığı çeken ve su kıtlığı çeken havzalarda yer aldığı tespit edilmiştir.

GIDA ENDÜSTRİSİ İŞLETME SAYISI/HAVZA



⁶ TÜRK (2023), İmalat sanayi alt sektörler su ve atıksu istatistikleri, (2020-2022), 13 Aralık 2023, Sayı: 49607

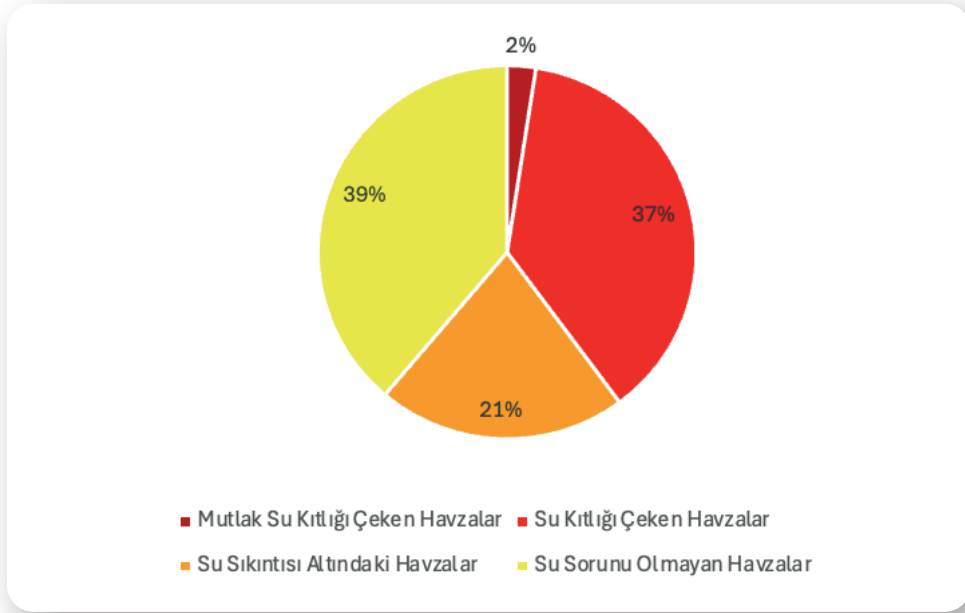


Şekil 4. Gıda endüstrilerinin havzalara göre sayıları

Su tüketiminde ikinci sırada yer alan tekstil endüstrisinde ise yine işletmelerin en çok yer aldığı havza Marmara havzasıdır ve tekstil alanındaki tüm işletmelerin %30'u

mutlak su kıtlığı çeken ve su kıtlığı çeken havzalarda yer almaktadır.

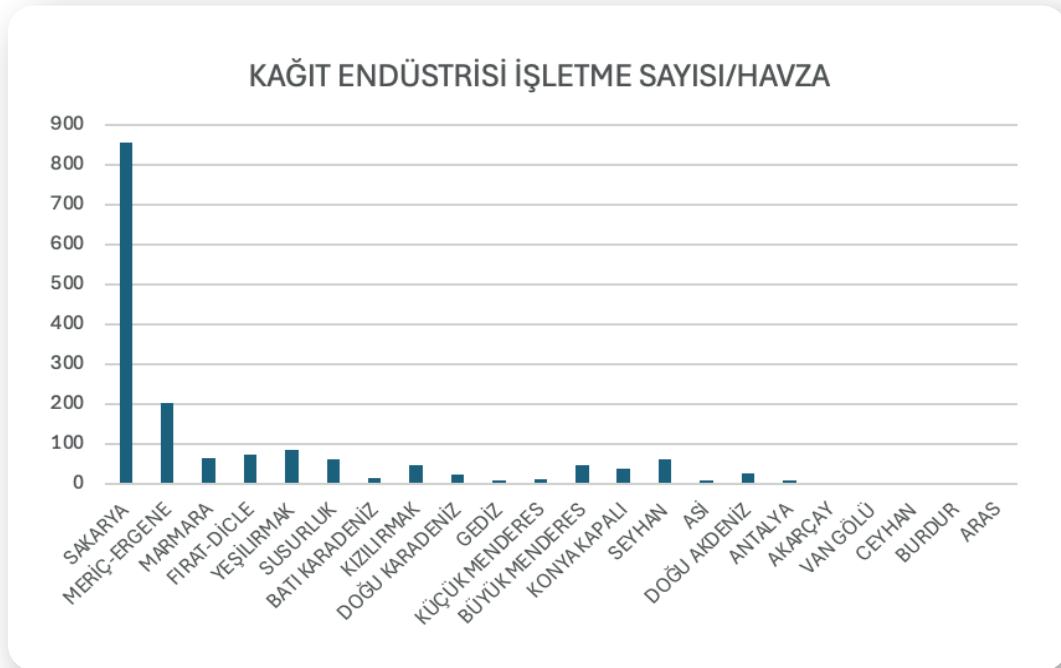


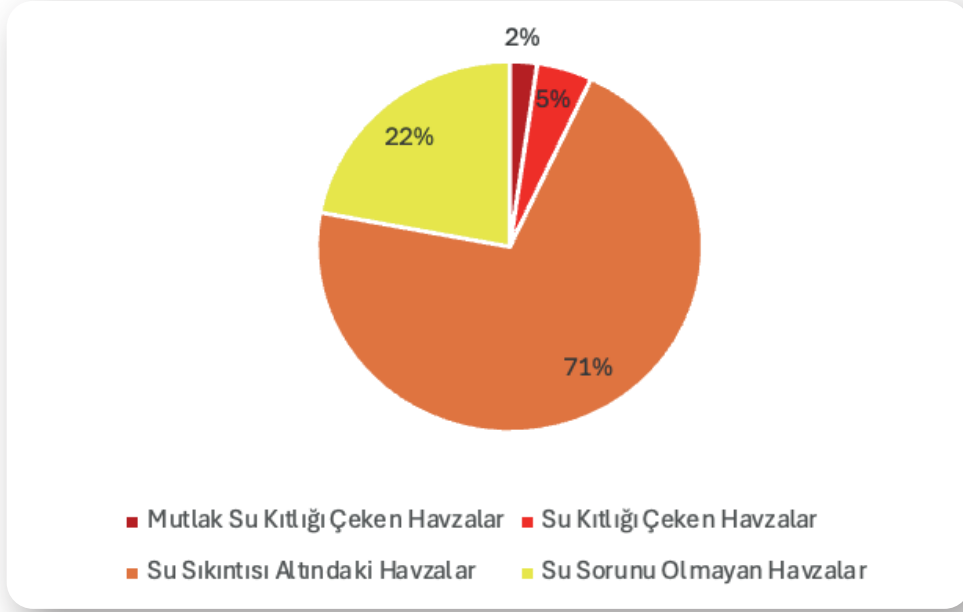


Şekil 5. Tekstil endüstrilerinin havzalara göre sayıları

Kağıt endüstrisinde ise işletmelerin en çok yer aldığı havza Sakarya havzasıdır ve kağıt endüstrisindeki

işletmelerin %7'si mutlak su kıtlığı çeken ve su kıtlığı çeken havzalarda yer almaktadır.





Şekil 6. Kağıt endüstrilerinin havzalara göre sayıları

5.1. Gıda Üretim Endüstrisi

Gıda ürünleri üretimi, tüm endüstriyel üretim sektörleri arasında önemli bir yere sahip olup, dünya genelinde hem ekonomik büyüme hem de nüfusun gıda güvenliğini sağlamak adına kritik bir rol oynamaktadır. Bu sektör, tarım ürünlerinin işlenmesi, paketlenmesi ve tüketicilere sunulmak üzere hazır hale getirilmesi süreçlerini kapsar. Gıda endüstrisi, zengin çeşitliliği ile hem yerel pazarda hem de küresel ticarete önemli bir paya sahiptir. Geniş bir yelpazeye yayılan gıda endüstrisi; un ve unlu mamuller, et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri, meyve ve sebze işleme, şeker ve şekerli ürünler, içecek üretimi ve deniz ürünleri işleme gibi birçok alt sektörü içermektedir. Her bir alt sektör, hammaddeyi nihai ürüne kadar farklı üretim süreçlerini içerirken, aynı zamanda değişen su tüketim seviyeleriyle öne çıkmaktadır. Su, hem doğrudan ürün bileşeni olarak hem de dolaylı olarak temizlik, soğutma, ısıtma ve taşıma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Türkiye gibi tarımsal üretime dayalı gıda sektörüne sahip ülkelerde, suyun etkin ve sürdürülebilir kullanımı hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır. Gıda sektöründe su verimliliği uygulamalarının artırılması, su kaynaklarının korunmasının yanı sıra maliyetlerin azaltılması açısından da önemlidir. Yenilikçi teknolojilerin

benimsenmesi, suyun geri kazanımı, eğitim ve sertifikasyon gibi stratejiler bu alandaki dönüşümü hızlandırabilir⁷⁻¹⁰.

Gıda sanayi, ülkemizde ihracatta büyük bir paya sahip iken, aynı zamanda iç pazarda da önemli bir istihdam kaynağı sunmaktadır. Türkiye’de en çok su tüketimi olan endüstri koludur bu sebeple sektör su kullanımı açısından önemli çevresel baskılarla karşı karşıyadır. Özellikle et ve süt ürünleri işleme, unlu mamuller üretimi ve içecek sanayi gibi alanlarda su tüketimi oldukça yüksektir. Gıda endüstrisinde suyun verimli kullanımı, tarımsal sulama tekniklerinin iyileştirilmesi, üretim süreçlerinde su tasarrufu sağlayan teknolojilerin kullanılması ve atık suyun geri dönüştürülmesi gibi yöntemlerle optimize edilmelidir. Su kaynaklarının verimli kullanımı, hem sürdürülebilir üretim hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Su verimliliği uygulamalarındaki temel sorunlar ise genel olarak yetersiz altyapı ve su arıtma sistemleri, farkındalık eksikliği ve teknik bilgi yetersizliği, su verimliliği teknolojilerinin (örneğin geri kazanım sistemleri, temiz üretim teknikleri) sınırlı düzeyde yaygınlaşmış olmasıdır. Ülkemizde gıda sektörünün su verimliliğinin SWOT analizi Tablo 1’de sunulmuştur.

⁷ TÜİK (2022), Su ve Atıksu İstatistikleri.

⁸ Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2021), Sanayide Su Kullanımı Raporu.

⁹ FAO (2019), Water Use in Food Processing.

¹⁰ UNEP (2020), Water Efficiency Guidelines for the Food Sector.

Tablo 1. Gıda sektöründeki su verimliliği yaklaşımlarının SWOT analizi

GÜÇLÜ YÖNLER • Zengin tarımsal üretim potansiyeli • Yüksek kaliteli hammadde temini • Üretim çeşitliliği ve büyük iç pazar • İhracat potansiyeli ve küresel tedarik zincirlerine entegrasyon • Su kaynaklarının etkin kullanımı konusunda artan farkındalık	ZAYIF YÖNLER • Su verimliliği konusunda geleneksel yöntemlerin hâkim olması • Çevresel etkilerin (su kirliliği, atık su) yeterince yönetilememesi • Hammadde temininde iklim değişikliği kaynaklı belirsizlikler
FIRSATLAR • Sürdürülebilir üretim yöntemlerine geçiş, su verimliliği teknolojileri • Organik ve sağlıklı gıda talebinin artması • Yüksek katma değerli ürünlerin ihracatıyla ekonomik büyüme	TEHDİTLER • Su kaynaklarındaki azalma ve kuraklık riski • Uluslararası çevresel düzenlemelere uyum sağlama zorlukları • Rekabetin arttığı global pazarlarda fiyat baskıları

5.2. Tekstil Üretim Endüstrisi

Tekstil üretimi, elyafın işlenmesi, kumaş üretimi ve nihai ürünlerin tasarımı, üretimi ve satışı süreçlerini içeren geniş bir endüstriyel alandır. Dünya çapında önemli bir istihdam kaynağı olan tekstil sektörü, aynı zamanda giyim, ev tekstili ve sanayi tekstilleri gibi birçok alt sektörü de kapsamaktadır. Tekstil üretimi, su kullanımının en yoğun olduğu endüstrilerden biridir, çünkü bu süreçler hem hammadde üretimi (pamuk, yün, vb.) hem de üretim aşamaları (boyama, yıkama, vb.) açısından büyük miktarda su tüketir. Türkiye, tekstil üretimi açısından dünya çapında büyük bir üretici ve ihracatçısıdır. Türk tekstil sektörü, kaliteli üretim kapasitesi ve geleneksel tekstil ürünleriyle uluslararası pazarda güçlü bir konumda yer almaktadır. Ancak, sektörün su kullanımındaki yoğunluk, çevresel sürdürülebilirlik konusunda ciddi zorluklar yaratmaktadır. Özellikle boyama ve terbiye işlemlerinde büyük miktarda su tüketimi ve kimyasal atıkların çevreye deşarjı,

sektördeki temel çevresel sorunlar arasında yer almaktadır. Tekstil üretiminde su, lifin hazırlanmasından boyama ve terbiye işlemlerine kadar birçok aşamada kullanılmaktadır. Tekstil sektörünün su kullanım profiline bakıldığında; 1 kg tekstil ürünü için ortalama 100–150 litre su tüketilmektedir. Türkiye genelinde tekstil sektörünün yıllık su tüketimi 400–500 milyon m³ civarındadır. En yüksek su kullanımı boyahane ve apre (terbiye) işlemlerinde gerçekleşmektedir. Tekstil proseslerinden kaynaklanan atıksular; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), boyar madde kalıntıları, ağır metaller ve toksik bileşenler içermektedir. Tekstil sektöründe suyun verimli kullanımı çevresel ve ekonomik açıdan kritik öneme sahiptir. Sektörde hem ileri teknolojiye geçiş hem de sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarının teşvik edilmesi gereklidir. Mevzuatın uygulanabilirliği artırılmalı, kamu-özel sektör işbirliği ile su verimliliği stratejileri geliştirilmelidir. Ülkemizde tekstil sektörünün SWOT analizi Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Tekstil sektörünün SWOT analizi

GÜÇLÜ YÖNLER • Köklü sanayi geçmişi ve üretim kültürü • Genç ve dinamik iş gücü • Avrupa’ya yakınlık – lojistik avantaj • Geniş ürün yelpazesi ve üretim kapasitesi • Teknik tekstil ve ev tekstilinde güçlü altyapı • Esnek üretim kabiliyeti	ZAYIF YÖNLER • Enerji ve hammadde maliyetlerinin yüksekliği • Katma değeri düşük ürün ihracatı (ham madde ağırlıklı) • Ar-Ge, inovasyon ve tasarım eksiklikleri • Marka değeri ve global pazarlarda bilinirlik azlığı • Kalifiye iş gücünde zaman zaman yetersizlik • Küresel rekabete karşı fiyat odaklı baskı
FIRSATLAR • Sürdürülebilir ve çevreci üretim talebinin artması • E-ticaret ve dijitalleşme ile ihracat potansiyelinin artması • AB ile mevcut gümrük birliği ve ihracat potansiyeli • Yüksek kaliteli üretim sayesinde “Made in Türkiye” imajının güçlenmesi • Ar-Ge, inovasyon ve tasarıma yapılacak yatırımlar	TEHDİTLER • Asya(özellikle Çin, Bangladeş, Vietnam) ile fiyat rekabeti • Döviz kurlarındaki dalgalanma ve ekonomik belirsizlikler • Tedarik zinciri sorunları ve hammaddeye erişim sıkıntıları • AB Yeşil Mutabakatı gibi çevresel regülasyonlara uyum zorluğu • Kalitesiz üretim yapan firmalarla sektörün itibar kaybı riski

5.3. Kağıt ve Kağıt Ürünleri Endüstrisi

Kağıt ve kağıt ürünleri üretimi, sanayi sektörleri içinde geniş bir kullanım alanına sahip olup, birincil üretimde ambalaj sanayisinden basım-yayına, temel hijyen ürünlerinden (tuvalet kağıdı, kağıt havlu vs.) ofis malzemelerine kadar birçok farklı endüstri için kritik bir hammadde kaynağı sağlamaktadır. Kağıt hamuru üretimi, kağıt üretimi ve kağıt bazlı ürünlerin işlenmesi gibi temel süreçleri içeren bu sektör, yüksek su tüketimi ve atık su oluşumu ile dikkat çekmektedir. Özellikle selüloz liflerinin işlenmesi, yıkanması ve ağartılması aşamalarında büyük miktarda su kullanılmaktadır. Türkiye, gelişen kağıt sanayisi ile iç talebi karşılamanın yanı sıra, özellikle ambalaj ve hijyenik kağıt ürünleri gibi alanlarda ihracatta da önemli bir konuma sahiptir. Kağıt ve kağıt ürünleri sanayisi, su kullanım yoğunluğu açısından en hassas sektörlerden biri olup, üretim süreçlerinde büyük miktarda suya ihtiyaç duymaktadır. Kağıt hamuru üretimi, geri dönüştürülmüş kağıt kullanımı ve bitmiş ürün imalatı gibi alt süreçlerin her biri su tüketimi ve atık su yönetimi açısından farklı dinamiklere sahiptir. Bu nedenle sektörde su verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Modern üretim tesislerinde kapalı devre su sistemleri, suyun geri kazanımı, atık su arıtma tesisleri ve suyun yeniden kullanımını sağlayan teknolojiler

giderek daha fazla uygulanmaktadır. Özellikle geri dönüştürülmüş kağıt kullanımı, su tüketimini önemli ölçüde azaltan bir faktör olup, sektörün çevresel sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, enerji ve kimyasal tüketiminin de optimize edilmesi, hem maliyetlerin düşürülmesi hem de su kaynaklarının korunması açısından kritik bir adımdır.

Dünya’da kağıt ve kağıt ürünleri sektörü, sanayide en fazla su tüketen ilk 5 sektör arasında yer almaktadır. Kağıt hamuru üretimi, en fazla su tüketen alt süreçtir. Kimyasal hamur üretiminde 1 ton kağıt için 50–100 m³ su tüketildiği bilinmektedir. Fakat mekanik veya geri dönüştürülmüş kağıttan üretimde bu oran daha düşüktür (10–25 m³/ton). Türkiye’deki çoğu tesis, geri dönüşümlü kağıt kullanarak üretim yapmaktadır; bu da su tüketimini azaltmaktadır, ancak atık suyun arıtımı yine de büyük önem taşımaktadır. Kağıt sanayisinde su yönetimi, su tasarrufu sağlayan üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması, suyun daha az kirletilerek tekrar kullanılmasını sağlayan sistemlerin geliştirilmesi ve yenilikçi atık su arıtma çözümlerinin uygulanması gibi stratejilerle sürdürülebilir hale getirilebilir. Bu yaklaşımlar, sektörün çevresel etkilerini azaltırken, uzun vadede su kaynaklarının korunmasına da katkı sağlamaktadır¹¹.

Tablo 3. Kağıt sektörünün su verimliliği yaklaşımlarının SWOT analizi

GÜÇLÜ YÖNLER - Sektörel deneyim ve yerleşik üretim altyapısı - Yüksek su tüketimi farkındalığı - Geri dönüşüm ve yeniden kullanım altyapılarının gelişmeye açık olması - İhracat odaklılık ve uluslararası standartlara uyum baskısı	ZAYIF YÖNLER - Verimsiz su kullanımı ve eski teknoloji - Yatırım kaynaklarına erişim zorlukları - Teknik bilgi eksikliği - Veri izleme eksikliği
FIRSATLAR - Finans kuruluşlarının yeşil dönüşüme artan desteği - Yeni teknolojilere erişim ve dijitalleşme - Eğitim, farkındalık ve danışmanlık programları - Uluslararası pazar erişimi için sürdürülebilirlik talebi	TEHDİTLER - Artan su stresi ve iklim değişikliği - Yasal yükümlülüklerin artması - Enerji ve su arasındaki bağımlılık - Pazar kaybı riski

¹¹ <https://www.stendustri.com.tr/kaagit-uretiminde-hedef-enerji-ve-su-verimliliği>

6. MEVZUAT VE BAĞLAYICILIKLAR

1. Avrupa Birliği'ndeki Düzenlemeler

I Su Çerçeve Yönetmeliği (WFD) (2000/60/EC):
Bu yönetmelik, endüstriler tarafından kullanılanlar da dahil olmak üzere tüm su kaynaklarını korumak ve yönetmek için bir çerçeve oluşturan AB su politikasının temel taşıdır. Kapsamlı çevresel hedefler belirleyerek endüstriyel su kullanımını dolaylı olarak etkiler. Bu mevzuat kapsamında endüstrilere, su kaynaklarını bozabilecek kirliliğin önlenmesi ve aşırı temiz su kaynaklarından su kullanımlarına yönelik standartlar oluşturulmuştur.

II Endüstriyel Emisyonlar Yönetmeliği (IED) (2010/75/EU):
Bu yönetmelik, suyla ilgili emisyonlar dahil olmak üzere endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirliliği azaltmayı hedefleyen kritik bir mevzuattır. Temel hedef ve kapsamı:
1) En İyi Mevcut Teknikleri (BAT) teşvik ederek endüstriyel tesislerden kaynaklanan kirliliği önlemek ve kontrol etmek.
2) Su kalitesi de dahil olmak üzere ileri düzeyde çevre koruması sağlamak.
3) Su verimliliğini artırmak ve su kirliliğini azaltmak. Bu mevzuat, AB genelinde yaklaşık 50.000 endüstriyel tesis için geçerlidir. Mevzuat, endüstrilerin su kullanımı ve atık su deşarjı için koşulları içeren izinleri almalarını gerektirir.

III Yeraltı Suyu Yönetmeliği (2006/118/EC):
Bu yönetmeliğin amaç ve kapsamı yeraltı su kaynaklarını kirlenmeye ve bozulmaya karşı korumaktır ve üretim proseslerinde yeraltı suyu kullanan endüstriler için önemlidir. Yönetmelik, endüstrilerin yeraltı suyu kirliliğini sınırlamakta ve sürdürülebilir su kullanımı uygulamalarını kapsayarak, yeraltı suyu kaynaklarına bağımlılığı azaltmak için suyun yeniden kullanımını teşvik etmektedir.

Bu yönetmeliklerin yanı sıra özellikle endüstrilerin AB mevzuatında değer ve tedarik zincirini etkileyen, çevresel konuların dikkate alınması gerektiği ve su kaynaklarının korunmasına yönelik konuların da içinde bulunduğu direktifler ve düzenlemeler de vardır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

IV Kurumsal Sürdürülebilirlik Durum Tespiti (DIRECTIVE (EU) 2024/1760)¹²:

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 13 Haziran 2024 tarihli 2024/1760 sayılı yönetmelik, şirketlerin insan hakları, çevresel sorumluluklar ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda faaliyet göstermesini sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Şirketlerin kendi operasyonlarında, iştiraklerinde ve değer zincirlerinde insan haklarına ve **çevreye zarar veren etkileri tespit etmesini, önlemesini, sona erdirilmesini veya hafifletilmesini sağlamak ve sürdürülebilir ve sorumlu kurumsal davranışı teşvik etmek amacıyla** oluşturulmuştur. Bu doküman, şirketleri yalnızca kendi doğrudan faaliyetlerinden değil, aynı zamanda dolaylı etkilerden de sorumlu tutarak kurumsal sürdürülebilirliği yasal bir yükümlülük haline getirmektedir. Bu sayede, AB içinde ve dışında daha etik, insan haklarına saygılı ve çevreyle uyumlu bir iş ortamı hedeflenmektedir. Yönetmeliğin kapsamı hem AB içindeki büyük şirketler (1000+ çalışanı ve 450+ milyon EUR cirosu olan şirketler) hem de AB dışındaki büyük şirketler (AB'de 450+ milyon EUR cirosu olan yabancı şirketler)dir. Bazı durumlarda yüksek riskli sektörlerde faaliyet gösteren daha küçük şirketler de kapsama alınabilmektedir. Yönetmelik kapsamındaki temel yükümlülükler; **Durum Tespiti (Due Diligence):** Tedarik zinciri dahil olmak üzere insan hakları ihlalleri ve çevresel zararların belirlenmesi. Önleme, sona erdirmeye ve azaltma planlarının oluşturulması.

İklim Planı: 1.5°C hedefiyle uyumlu bir geçiş planı hazırlanması

Şeffaflık ve Raporlama: Alınan önlemler ve etkileri hakkında düzenli kamuya açık raporlar sunulması. Bu direktif kapsamında doğrudan su kaynakları yönetimi ile ilgili maddeler bulunmasada şirketlerin faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkiler, özellikle su kirliliğini ve aşırı su kullanımı azaltma ve su kaynaklarını koruma önlemleri ile ilgili sunulmaktadır. **Şirketler sadece kendi faaliyetlerinde değil, aynı zamanda tedarik zincirlerinde de çevresel zararı tespit etmek, önlemek ve düzenlemek zorundadır.** Bu, özellikle su yoğun sektörlerde önemli bir yükümlülük oluşturur.

¹² Directive (EU) 2024/1760 of the European Parliament and of The Council of 13 June 2024 on corporate sustainability due diligence and amending Directive (EU) 2019/1937 and Regulation (EU) 2023/2859 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ.L_202401760)

V AB Taksonomisi (DIRECTIVE (EU) 2020/852)¹³:

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 18 Haziran 2020 tarihli ve 2024/1760 sayılı yönetmeliği, sürdürülebilir yatırımları kolaylaştırmak amacıyla bir çerçeve oluşturan düzenlemesidir. Bu düzenleme, finansal piyasa katılımcılarının ve büyük şirketlerin ekonomik faaliyetlerinin çevresel sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi için ortak bir sınıflandırma sistemi (AB Taksonomisi) oluşturmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda AB'nin Avrupa Yeşil Mutabakatı hedeflerini desteklemekte ve finansal yatırımlarda sürdürülebilirliğin nesnel ölçütlerle değerlendirilmesini sağlayarak şeffaflık, karşılaştırılabilirlik ve etki odaklı yatırım kararları alınmasına katkı sunmaktadır. Bu düzenlemede, bir ekonomik faaliyetin çevresel sürdürülebilirliğini belirlemek amacıyla kullanılan altı çevresel hedeften bir tanesi "Su ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunması"dır. Bu hedef tüzüğün 12. maddesinde ayrıntılı olarak incelenmiş ve bir ekonomik faaliyetin, su ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunmasına aşağıdaki yollarla önemli katkı sağlıyorsa çevresel olarak uygun kabul edilebileceği belirtilmiştir;

- 1. Su kalitesini koruma ve iyileştirme:** Yüzey ve yeraltı sularının iyi durumunu sağlamak veya bu durumu korumak.
- 2. Atık su yönetimi:** Kentsel ve endüstriyel atık suların uygun şekilde toplanması, arıtılması ve deşarj edilmesi.
- 3. İçme suyu güvenliği:** İnsan sağlığına zararlı mikroorganizmalar ve kirlenmelerden arındırılmış, temiz içme suyuna erişimin artırılması.
- 4. Sürdürülebilir su yönetimi:** Su kaynaklarının verimli kullanımı, kirliliğin azaltılması, taşkın ve kuraklık risklerinin yönetilmesi.
- 5. Deniz çevresinin korunması:** Deniz ekosistemlerinin korunması, restore edilmesi ve kirlenmenin önlenmesi.
- 6. Destekleyici faaliyetler:** Yukarıdaki maddelere katkı sağlayan diğer faaliyetlerin yürütülmesi.

VI Sürdürülebilir Ürünler için Eko-tasarım (ecodesign) Gerekliklerinin Belirlenmesine Yönelik Çerçeve Direktifi (DIRECTIVE (EU) 2024/1781)¹⁴:

Bu doküman, AB'nin iklim, çevre, enerji, kaynak kullanımı ve biyoçeşitlilik hedefleri de dahil olmak üzere genel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu üretim ve tüketim yollarını desteklemektedir. Dijital ürün pasaportu ve imha yasağı gibi yeni araçlar ile tüketici bilincini ve sürdürülebilir piyasaların desteklenmesi hedeflenmektedir. Su ile ilgili kısımlarına bakıldığında, yönetmelik kapsamında yer alan ürün grupları için belirlenen yetkilendirilmiş düzenlemelerde, suyla ilgili parametrelere odaklanarak su kullanımı ve su verimliliği açısından

ürün eldesinin iyileştirilmesi öngörülmektedir. Bu çerçevede;

- Ürünlerin yaşam döngüsü boyunca su tüketimini azaltan tasarım kriterleri,
- Daha verimli su kullanımını destekleyen teknolojiler ve özellikler,
- Ürünlerin su kullanım bilgilerinin şeffaf şekilde sunulması için Dijital Ürün Pasaportu ve etiket bilgilerinde (label) su verimliliği hakkında bilgilendirme sunulmalı ve kullanıcıların, düzenleyici kurumların ve tedarik zincirindekilerin bu bilgilere erişebilmesini sağlayacak altyapı kurulmalıdır¹⁵.

Direktifin öncelikli uygulama alanlarından biri olan ve ülkemizde eko-tasarımın başarıyla uygulandığı tekstil endüstrisinde "sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi"ni görmekteyiz. Hammadde temininden üretim süreçlerine, dağıtımdan son kullanıcıya ve hatta ürünün yaşam döngüsünün sonuna kadar tüm aksiyonlar tedarik ağı faaliyetlerine dahildir. Kurumsal Özen Yükümlülüğü, firmaların kendi faaliyetlerinin çevresel ve sosyal etkilerini azaltma amacıyla işleyişlerini anlamalarını ve yönetmelerini gerektiren bir sorumluluktur. Bu sorumluluk, iş süreçleri ve tedarik zincirleri boyunca uzanır ve potansiyel zararlı etkilerin önlenmesini ve azaltılmasını içerir. Firmalar, tüm operasyonları boyunca sürdürülebilirlik ilke ve yönergelerini entegre etmelidir. Tekstilde çevresel ayak izi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir gösterge olarak kabul edilir ve tekstil ürününün çevresel performansını değerlendirmek için kullanılır. Bu ayak izi, üretimde kullanılan kaynaklar, enerji tüketimi, su kullanımı, atık oluşumu, kimyasal kullanımı gibi çeşitli faktörlerin göz önüne alınarak hesaplanır¹⁶.

Yeşil Mutabakatın hedef endüstrilerde uygulamaları:

1. Gıda Endüstrisi: Tarladan Çatala Stratejisi ile verimli su kullanımı da dahil olmak üzere sürdürülebilir gıda üretimini teşvik eder. Gıda işleme (örneğin süt ürünleri, içecek üretimi) önemli miktarda atık su üretir ve bu atık su arıtılarak temizlik veya sulama gibi içilebilir olmayan amaçlar için yeniden kullanılabilir.

2) Tekstil Endüstrisi: Tekstil üretimi, özellikle boyama ve terbiye, su yoğun bir işlemdir ve kirlı atık su üretir. Yeşil Mutabakat'ın Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstil Stratejisi (2022), endüstrinin çevresel ayak izini azaltmak için su tasarruflu prosesleri ve atık su geri dönüşümünü teşvik eder. Kapalı devre su sistemleri gibi teknolojileri teşvik eder ve su kirliliğini düzenleyen Endüstriyel Emisyonlar mevzuatı ile uyumu destekler. AB ayrıca tekstil değer zinciri boyunca su kullanımını azaltmak için eko-tasarım ve izlenebilirliği teşvik eder.

¹³ Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of The Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>

¹⁴ Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024, establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC

¹⁵ <https://ticaret.gov.tr/dis-ilisikiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/surdurulebilir-urunler-icin-eko-tasarim-tuzugu-espr>

¹⁶ <https://www.inhikib.org.tr/surdurulebilirlik/hazir-giyim-ve-konfeksiyon-sektoru-icin-surdurulebilirlik/surdurulebilir-tedarik-zinciri>

3) Kağıt Endüstrisi: Bu sektör, özellikle hamurlaştırma ve ağartmada yoğun miktarda su tüketir. Yeşil Mutabakat'ın kaynak verimliliğine odaklanması ve Biyoekonomi Stratejisi, gelişmiş arıtma sistemleri (örneğin, membran filtrasyonu) ve proses optimizasyonu yoluyla suyun yeniden kullanımını teşvik eder. Endüstriyel Emisyonlar Mevzuatı kapsamındaki 'En İyi Mevcut Teknikler (BAT)' ile su verimliliği için kıstaslar belirleyerek fabrikaları işlem suyunu geri dönüştürmeye yönlendirir ve temiz ve tatlı su kullanımını azaltmayı sağlar. AB ayrıca kağıt hamuru üretiminde düşük su teknolojileri için Ar-Ge'yi finanse eder.

2. Türkiye'deki Düzenlemeler

Ülkemizde 27 Aralık 2024'de Resmi Gazete'de yayınlanmış Su Verimliliği Yönetmeliği ile su verimliliği sistemlerinin kurulması, su verimliliği il planlarının hazırlanması, uygulanması ve izlenmesi ile su verimliliği belgelendirme sisteminin oluşturulmasına yönelik usul ve esaslar belirtilmiştir. Yönetmelik, Tarım ve Orman Bakanlığı yetkisinde olup, tüm illeri kapsayan su verimliliği planlarının hazırlanmasını ve uygulanmasını esas alır. Yönetmelik kapsamında, suyu verimli kullanan faaliyetlere Mavi, Yeşil ve Turkuaz olmak üzere üç seviyede "Su Verimliliği Belgesi" verilecektir. Yönetmelik, suyun korunması ve verimli kullanımı için stratejik bir yol haritası çizerek su yönetiminde uzun vadeli ve etkili adımlar atılmasını hedeflemektedir.

Yönetmeliğin amacı;

- Türkiye'de kentsel, endüstriyel ve tarımsal su kullanımlarında verimliliği sağlamak,
- Su verimliliği sistemlerinin kurulması, izlenmesi ve belgelendirilmesi,
- Su verimliliği il planlarının hazırlanmasına yönelik usul ve esasları düzenlemektir.

Endüstriyel sektörler için yönetmelik değerlendirildiğinde;

- NACE kodu kapsamında faaliyet gösteren ve 50'den fazla çalışanı olan tüm sanayi işletmeleri, Organize Sanayi Bölgeleri (OSB), serbest ve endüstri bölgeleri bu yönetmelik kapsamında 18 ay içinde su verimliliği sistemi kurmakla yükümlüdür.
- Su verimliliği sistemi;
 - Su kullanım durumunun belirlenmesini,
 - Hedeflerin tanımlanmasını,
 - Uygulama ve izleme planlarının oluşturulmasını kapsar.
- Sistem kuran işletmeler, kriterleri karşılamaları halinde mavi, yeşil veya turkuaz su verimliliği belgesi alabilirler.
 - Yeşil belge için 5 yıl içinde başvuru zorunludur.
 - Turkuaz belge gönüllülük esaslıdır.
- TS ISO 46001 gibi su yönetimi sistem belgelerine sahip olunması, ulusal ve uluslararası alanda rekabet avantajı sağlar.

Yönetmelikte endüstriyel su verimliliği kapsamında NACE kodu bazında faaliyetler için Yeşil Su Verimliliği belgelendirme için gerekli kriterler şu şekilde tanımlanmıştır;

1-Toplam su kullanımının %10'unun geleneksel olmayan su kaynaklarından sağlanması

2-NACE Koduna uygun su verimliliği rehber dokümanlarında yer alan tekniklerin uygulanması

3-Türk Standardları Enstitüsü tarafından verilen TS ISO 46001 Su Verimliliği Yönetim Sistemi Belgesine sahip olması

¹² Directive (EU) 2024/1760 of the European Parliament and of The Council of 13 June 2024 on corporate sustainability due diligence and amending Directive (EU) 2019/1937 and Regulation (EU) 2023/2859 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ.L_202401760)



7. ENDÜSTRİYEL SU VERİMLİLİĞİNDE SU GERİ KAZANIM TEKNOLOJİLERİ VE PROSES İÇİ YENİLİKÇİ ÇÖZÜMLER

Sürdürülebilir kalkınma ve iklim dirençliliği, günümüzde hemen her sektörde öncelikli gündem maddeleri hâline gelmiştir. Bu durum, şirketleri su israfını önlemeye, kaynak kullanımını verimli hâle getirmeye ve tüketimi sınırlamaya yönelik maliyet etkin çözümler geliştirmeye ve uygulamaya zorlamaktadır. Enerji verimliliği yüksek teknolojilere ve kaynak tasarrufu sağlayan çözümlere yönelik talep, konut, ticari, HoReCa (otel, restoran, kafe) ve kurumsal su çözümleri pazarlarında büyümeyi teşvik etmektedir. Sektörde su teknolojileri üzerine çözümler üreten öncü firmalar yeni dijital ve otomasyon ürünlerini tamamlayıcı hizmetlerle birlikte sunmaya başlamıştır. Firmalar, kamuoyunun kirlilik ve su kıtlığı konusundaki farkındalığını göz önünde bulundurarak, müşterilerinin çevresel etkilerini azaltmalarına ve su verimliliği sağlamalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir. Raporun bu bölümünde alt başlıklar halinde genel olarak endüstriyel su verimliliğinde ve bu rapor özelinde seçilmiş sektörlerde son yıllarda geniş uygulama alanı bulmuş olan,

- I Su geri kazanımı sağlayan teknolojiler ve prosesler ve
- II Proses içi su verimliliğini sağlayan yenilikçi çözümler sunulmuştur.

7.1. Su Geri Kazanımı Sağlayan Teknolojiler ve Prosesler

Endüstriyel su verimliliğini artırmak için su geri kazanımı sağlayan teknolojiler ve prosesler kullanarak suyun yeniden kullanımını sağlamak doğal kaynaklara olan bağımlılığı azaltmakta ve atık su yükünü minimize

etmektedir. Bu bölümde, endüstrilerde su verimliliği için kullanılan ileri arıtma teknikleri, membran sistemleri, hibrit arıtma yöntemleri gibi çeşitli su geri kazanım teknolojileri, soğutma sistemlerinin optimize edilerek kayıp kaçakların önlenmesi ile ilgili çözümler, su yönetimini arttıracak şekilde uygulanan gri su teknolojileri ve yağmur suyu hasadı gibi sürdürülebilir çözümler sunulmaktadır. Sanayide su kaynaklarının verimliliğini artırmak için su tasarrufu sağlayan teknolojilerin kullanımı, yeşil düşük karbonlu atıksu arıtma teknolojileri ve atıksu geri kullanım sistemlerinin yaygınlaştırılmasıyla sağlanmaktadır.

Atık suyun proses içinde tekrar kullanılması, su verimliliğini artırmanın en etkili yollarından biridir. Özellikle durulama suyu, soğutma suyu veya temizlik sularının uygun arıtmalardan sonra yeniden değerlendirilmesi mümkündür. Bu uygulamalar hem su tüketimini azaltır hem de atık su deşarj maliyetlerini düşürür. Endüstriyel su verimliliğinde en çok kullanılan teknolojiler aşağıda listelenmiştir.

Membran filtrasyon teknolojileri, yarı geçirgen membranlar kullanarak kontaminantları boyutlarına göre ayırır. Ters osmoz (TO) ve nanofiltrasyon (NF), çözünmüş katı maddeleri hedef alırken, mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) daha büyük askıda katı maddeleri uzaklaştırmada etkilidir. Bu teknolojiler, tuzdan arındırma (desalinasyon), suyun yeniden kullanımı, meyve suyu ve süt ürünleri gibi gıdaların yoğunlaştırılması,

¹² Directive (EU) 2024/1760 of the European Parliament and of The Council of 13 June 2024 on corporate sustainability due diligence and amending Directive (EU) 2019/1937 and Regulation (EU) 2023/2859 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ.L_202401760)

bakteri, virüs ve askıda katı maddelerin uzaklaştırılması gibi uygulamalarda kullanılır. TO ayrıca yüksek saflıkta su üretimi ve ürün kalitesi ile proses tutarlılığının sağlanmasında kritik rol oynar.

Membran Biyoreaktör (MBR) uygulamaları¹⁷: MBR sistemleri, atık su arıtımında biyolojik prosesler ile membran filtrasyon teknolojisinin entegre edildiği ileri arıtma sistemleridir. Bu sistemler, geleneksel aktif çamur sistemlerine kıyasla daha yüksek arıtma verimliliği, kompakt tasarım ve gelişmiş çıkış suyu kalitesi gibi önemli avantajlar sunar. MBR sistemlerinde, biyolojik arıtım sonucu oluşan karışım, mikrofiltrasyon (MF) veya ultrafiltrasyon (UF) membranlarından geçirilerek katı-sıvı ayrımı sağlanır; bu sayede çökeltme tankına ihtiyaç duyulmaz. MBR teknolojisi, özellikle azot ve fosfor giderimi, patojen giderimi ve suyun yeniden kullanım senaryolarında tercih edilmekte olup, kentsel, endüstriyel ve hassas alıcı ortamlara deşarj gerektiren uygulamalarda etkin çözümler sunmaktadır. Ayrıca, sıfır sıvı deşarj (ZLD) hedeflerine ulaşmak isteyen endüstriyel tesislerde de önemli bir rol oynamaktadır. Gelişen membran malzemeleri ve enerji verimliliği odaklı tasarımlar sayesinde, MBR sistemleri sürdürülebilir su yönetimi yaklaşımlarında giderek daha fazla yer bulmaktadır. Membran Biyoreaktör (MBR) teknolojisi, karışık atık suların etkin bir şekilde arıtılmasını sağlaması nedeniyle çeşitli endüstrilerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Endüstriyel işletmelerin su geri kazanımı ve tasarrufu odaklı stratejileri, MBR sistemlerinin sunduğu ileri arıtma ve yeniden kullanım olanaklarıyla örtüşmektedir. Uzun vadede sağladığı ekonomik avantajlar ve yüksek verimlilik nedeniyle, pek çok sanayi kuruluşu MBR teknolojisini öncelikli arıtma yöntemi olarak tercih etmektedir. MBR sistemleri, endüstriyel tesislerin sıfır sıvı deşarj (ZLD) hedeflerine ulaşmalarında önemli bir tamamlayıcı arıtma bileşeni olarak rol oynamaktadır. Su verimliliği için öncü teknolojiler market raporları incelendiğinde son yıllarda teknolojiyle entegre edilmiş akıllı MBR sistemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerdeki inovasyonlar aşağıda özetlenmiştir;

- **İleri Düzey Otomasyon:** MBR sistemlerinin işletimini otomatikleştirmek ve optimize etmek amacıyla gelişmiş kontrol sistemlerinin entegrasyonu yaygınlaşmaktadır. Bu sayede proses daha verimli ve hatasız bir şekilde yönetilmektedir.
- **Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Gerçek Zamanlı İzleme:** IoT tabanlı teknolojiler kullanılarak sistemden anlık veri toplanması, izleme ve yönetim işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu, proses kontrolünü daha hassas ve etkin hâle getirmektedir.
- **Öngörücü Bakım:** Büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler kullanılarak ekipman arızalarının önceden tespiti mümkün olmaktadır;

bu da membran işletim sürelerini azaltmakta ve işletme maliyetlerini düşürmektedir.

- **Akıllı İşletim Modelleri:** Geliştirilen kullanıcı dostu arayüzler ve uzaktan erişim kabiliyeti sayesinde MBR sistemleri daha akıllı ve esnek işletme olanakları sunmakta, tesis yönetiminde dijital dönüşümü desteklemektedir.
- **Düşük Karbonlu Teknolojiler:** Atıksu arıtma proseslerinin karbon ayak izini azaltmaya yönelik olarak MBR teknolojilerinde yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu teknolojiler, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.
- **Çamur Üretiminin Azaltılması:** MBR sistemleri, arıtma sonunda oluşan biyolojik çamur miktarını en aza indirecek şekilde tasarlanmakta olup, bu özellikleri ile çevresel sürdürülebilirlik hedefleri ile uyum göstermektedir.
- **Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu:** MBR sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilmesi yönünde araştırmalar ve uygulamalar artmakta; bu sayede enerji verimliliği artırılarak çevresel etki azaltılmaktadır.

Kimyasal arıtım teknolojileri, askıda katı maddeleri, patojenleri ve diğer kirleticileri uzaklaştırmak amacıyla kimyasal maddelerin eklenmesini içerir. Dezenfeksiyon işlemleri mikrobiyal güvenliği sağlarken, koagülasyon ve flokülasyon, ince partiküllerin giderilmesine yardımcı olur. Bu işlemler, biyolojik proseslerden önce ön arıtım ve son dezenfeksiyon aşamaları için büyük önem taşır. Bira üretim tesisleri, gazlı içecek üreticileri ve işlenmiş gıda tesisleri genellikle bu teknolojileri deşarj standartlarını karşılamak için kullanmaktadır.

Elektrokimyasal teknolojiler, yağlar, ağır metaller ve organik maddeler gibi kirleticileri uzaklaştırmak için elektrik akımı kullanır. Elektrokimyasal reaksiyonlarla parçalayarak bertaraf eder. Bu teknolojiler, özellikle süt ve et işleme tesislerinde bulunan yağ, gres ve benzeri maddelerle karmaşık atıksu akımlarının arıtımında etkilidir. Ayrıca kimyasal kullanımını ve çamur üretimini azaltma potansiyeli sayesinde giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Seçilen endüstrilerde uygulanan su arıtımı ve geri kazanımı prosesleri aşağıda özetlenmiştir;

¹⁷ Global Membrane Bioreactor Market (2024) Trends & Drivers, smart research insights

GIDA ENDÜSTRİSİ¹⁸

Atıksu arıtımı ve suyun yeniden kullanımı proseslerinde membran filtrasyonu, biyolojik arıtma, kimyasal arıtma, çamur arıtımı ve susuzlaştırma ile ileri oksidasyon prosesleri (İOP'ler) gibi temel teknolojilerden faydalanmaktadır. Bu sektördeki arıtma teknolojilerinin pazarı %7.8 büyüme oranına sahiptir. 2029 yılında market değerinin yaklaşık 7 milyar ABD doları olması beklenmektedir.

Suyun Yeniden Kullanımı ve Geri Kazanımı: Su kıtlığının artmasıyla birlikte MBR, RO ve İOP gibi teknolojiler üretim proseslerinde suyun yeniden kullanımı için daha sık uygulanmaktadır. Arıtılmış su, temizlik, soğutma ve ürün hazırlama dışında başka amaçlar için tekrar kullanılabilir hale getirilerek, sektörün toplam su tüketimi azaltılmaktadır.

Deşarj Mevzuatına Uyum: Gıda ve içecek endüstrisi, atıksu deşarjı konusunda katı yasal düzenlemelere tabidir. Biyolojik arıtma ve kimyasal dezenfeksiyon yöntemleri, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD), kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve patojen düzeyleri gibi standartları karşılamada kilit öneme sahiptir.

Ürün Kalitesi ve Tutarlılığının Sağlanması: Özellikle bira üretimi ve süt işleme gibi alanlarda, su kalitesi ürünün tadını ve tutarlılığını doğrudan etkiler. Membran filtrasyon ve UV dezenfeksiyon gibi teknolojiler istenmeyen kontaminantları ortadan kaldırarak ürün kalitesini güvence altına alır.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ¹⁹

Tekstil endüstrisi atıksu arıtma sistemleri Pazarı, 2024 yılında 1,45 milyar ABD doları olarak değerlendirilmiş olup, 2033 yılına kadar 2,87 milyar ABD doları seviyesine ulaşması öngörülmektedir. 2026–2033 yılları arasında pazarın %8,3'lük bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile büyümesi beklenmektedir. Bu Pazar, artan yasal düzenlemeler ve sürdürülebilirlik bilincinin güçlenmesi ile birlikte çevresel hizmetler endüstrisinin kritik bir alt bileşeni olarak ortaya çıkmıştır.

ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) yayımladığı bir rapora göre, tekstil endüstrisi küresel su kirliliğinin yaklaşık %20'sinden sorumludur; bu durum, etkin arıtma çözümlerine duyulan acil ihtiyacı gözler önüne sermektedir. Küresel tekstil endüstrisinin 2025 yılı itibarıyla 1 trilyon ABD doları büyüklüğe ulaşacağı öngörüldükçe, atıksu arıtma sistemlerine olan talebin, teknolojik gelişmelerin yanı sıra çevreye duyarlı tüketici tercihlerinden güç alarak önemli ölçüde artması beklenmektedir.

Suyun Yeniden Kullanımı ve Geri Kazanımı: Biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemleri gibi çok çeşitli teknolojilerle şekillenmektedir. Her bir yöntem, tekstil atık sularında yaygın olarak bulunan boyar maddeler, ağır metaller ve organik bileşikler gibi kirleticilere özgü çözümler sunmaktadır ve kendine has avantajlara sahiptir. Ayrıca, dünya genelindeki hükümetler, atık su deşarjını azaltmaya yönelik katı düzenlemeler uygulamaya koymakta; bu da pazardaki büyümeyi desteklemekte ve sürdürülebilir tekstil üretimine geçişi hızlandırmaktadır. Atıksu arıtma süreci çeşitli aşamaları içermektedir: ön arıtma, birincil arıtma, ikincil arıtma ve ileri arıtma. Her bir aşama, kirleticilerin azaltılmasında hayati bir rol oynamakta ve arıtılan suyun yeniden kullanımı ya da çevreye deşarj edilmeden önce yasal standartlara uygun hale gelmesini sağlamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, çevresel etkilerin en aza indirilmesine katkı sunarken, aynı zamanda tekstil üreticilerinin suyu geri kazanmasına ve toplam su tüketimini azaltmasına da olanak tanımaktadır. Bu tür sistemler, özellikle şiddetli su kıtlığı yaşanan bölgelerde artan bir şekilde benimsenmekte olup, sürdürülebilirlik ve kârlılığın kesiştiği noktada önemli bir rol oynamaktadır.

Her bir tekstil alt sektörünün, atık su özellikleri ve arıtma ihtiyaçları bakımından kendine özgü gereksinimleri bulunmaktadır; bu da özelleştirilmiş çözümler gerektirmektedir.

KAĞIT ENDÜSTRİSİ¹⁸

Kâğıt ve selüloz endüstrisi, yüksek miktarda su kullanımı nedeniyle önemli düzeyde atıksu üretmektedir. Küresel çevre düzenlemelerinin giderek sıkılaşması, bu endüstrinin gelişmiş su ve atıksu arıtma teknolojilerini benimsemesini zorunlu kılmıştır. Bu teknolojilerin temel amacı; su kullanımının azaltılması, atıksuların etkin şekilde arıtılması ve üretim süreçlerinde suyun geri kazanımıdır. Kağıt endüstrisindeki arıtma teknolojilerinin Pazar büyümesi %6.7 olarak hesaplanmış ve 2029 için market değerinin yaklaşık 5 milyar ABD dolarına çıkması öngörülmüştür.

Kağıt endüstrisi atıksu arıtımında kademeli arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Su geri kazanımı arıtma tesisi çıkış sularına ileri arıtma uygulayarak sağlanmaktadır.

Ön arıtma adımında fiziksel prosesler kullanılarak atıksudaki büyük boyutlu askıda katı maddeler ve organik bileşikler uzaklaştırılır. Bu prosesler arasında eleklerden geçirme (screening), çöktürme (sedimentation) ve flotasyon yer alır. Kağıt endüstrisi atıksuyunda bulunan elyaf, odun parçaları ve partikül madde gibi bileşenler bu aşamada giderilir. Fabrikalarda kullanılan çökeltim tankları (clarifiers), büyük katı maddelerin çökmesini sağlayarak katı atık yükünü azaltır ve sonraki kimyasal arıtma süreçlerinin etkinliğini artırır.

¹⁸ Global Water and Wastewater Treatment Technologies Market (Study Period: 2019–2029) Morder Intelligence Market Report

¹⁹ Verified Market Reports (2025), Textile Wastewater Treatment System Market.

İkincil arıtma adımında, mikroorganizmaların kullanıldığı biyolojik proseslerle, organik kirleticilerin ve kimyasal yan ürünlerin parçalanması gerçekleştirilir. Bu yöntem, lignin ve organik asitler gibi atık akımlarındaki biyolojik olarak parçalanabilir organik içeriklerin giderilmesinde etkilidir. Kâğıt fabrikalarında anaerobik arıtım prosesleri yaygın olarak kullanılmaktadır; bu yöntemle Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) düşürülürken aynı zamanda biyogaz (metan) üretimi sağlanmakta, bu gaz enerji kaynağı olarak geri kazanılmaktadır.

İleri arıtım adımında, atıksudaki kalıntı kirleticileri, ağır metalleri, renk vericileri ve organik maddeleri uzaklaştırarak, sıkı çevresel deşarj standartlarını karşılamayı ve fabrikalar içerisinde suyun yeniden kullanımını mümkün kılmayı amaçlar. Son yıllarda sektör, özellikle MBR gibi sistemleri artan oranda tercih etmektedir. Bu sistemler, biyolojik arıtım ile membran filtrasyonu birleştirilerek yeniden kullanım için yüksek kaliteli su elde edilmesini sağlar.

Teknolojik Gelişmeler: Su arıtma sektöründe, özellikle ultrafiltrasyon ve ters osmoz gibi membran teknolojilerinde kaydedilen yenilikler ile anaerobik arıtma gibi biyolojik arıtma yöntemleri dikkat çekmektedir. Bu teknolojik ilerlemeler, yalnızca işletme maliyetlerini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda su geri kazanım oranlarını da artırmaktadır.

Şirketler, su ayak izlerini azaltma ve proses verimliliğini artırma yönünde artan bir motivasyona sahiptir. Bu hedeflere ulaşmada, kapalı devre su sistemleri gibi suyun yeniden kullanımını mümkün kılan teknolojiler kritik bir rol oynamaktadır.

Membran Filtrasyon Teknolojileri, özellikle UF (Ultrafiltrasyon) ve TO sistemleri, su geri kazanımındaki verimlilikleri ve yeniden kullanım uygulamalarına uygulanabilirlikleri nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Enerji üretimi için anaerobik arıtma; Atıktan enerji üretimi teknolojilerine yönelik artan ilgi, anaerobik sindirim sistemlerinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Bu sistemler biyogaz üretmekte ve tesislerin enerji maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olmaktadır.

Sıfır sıvı deşarj (ZLD) Sistemleri, özellikle su deşarjına ilişkin katı düzenlemelerin uygulandığı veya su kıtlığının yaşandığı bölgelerde, popülerliğini hızla artırmaktadır. ZLD süreçlerinin uygulanması sayesinde tesisler, suyun tamamını yeniden kullanabilirken çevresel etkilerini de en aza indirebilmektedir.

7.2. Proses İçi Su Verimliliğini Artıran Yaklaşımlar

Su kaynaklarının giderek kısıtlandığı günümüzde, proses içi su verimliliğini artırmak hem sürdürülebilirlik hem de rekabet gücü açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde, işletmelerin mevcut üretim proseslerinde su kullanımını azaltmaya yönelik pratik, uygulanabilir ve maliyet-etkin yaklaşımlar ele alınacaktır²⁰.

Yaklaşım 1: Su Kullanımının Haritalandırılması

Su kullanımının haritalandırılması, bir işletmenin üretim süreçlerinde suyun nerede, ne miktarda ve nasıl kullanıldığını sistematik şekilde analiz edip görselleştirmesi anlamına gelir. Bu yaklaşım, su verimliliğini artırmak için ilk ve kritik adımdır.

Bunun için işletme içerisindeki su tüketim noktalarının detaylı bir şekilde belirlenmesi ve analiz edilmesidir. Bu süreç, “su ayak izi” veya “su dengesi analizi” olarak da adlandırılır. Her proses adımı için giriş-çıkış su miktarları ölçülmeli, kayıplar ve geri kazanım potansiyelleri değerlendirilmelidir. Bu analiz sayesinde, işletmede en fazla suyun kullanıldığı veya kaybedildiği noktalar net şekilde ortaya konur. Uygulamada izlenecek adımlar:

- 1) Sayaçların her birim veya proses başına takılması.
- 2) Haftalık veya aylık su tüketim raporlarının oluşturulması.
- 3) Soğutma sistemleri, yıkama işlemleri ve CIP (Clean-in-Place) sistemlerinin ayrı ayrı izlenmesi.

Yaklaşım 2: Proses İyileştirme, Ekipman Modernizasyonu ve Dijital İkiz ile İzleme

Bazı durumlarda su verimliliğini artırmak, üretim süreçlerinde kullanılan suyun gereksiz veya verimsiz tüketildiği noktaları tanımlayıp bu süreçleri yeniden düzenlemesi ve proses parametrelerinin optimize edilmesiyle mümkündür. Örneğin, yıkama sürelerinin veya debilerinin optimize edilmesi, tankların daha az su ile aynı temizlik seviyesine ulaşmasını sağlayabilir. Ayrıca eski, verimsiz ve yüksek su tüketen makinelerin daha az su ile çalışan yeni nesil ekipmanlarla değiştirilmesi gibi küçük değişiklikler büyük tasarruflara yol açabilir.

Örnek Yaklaşımlar:

- **Düşük debili sprej nozullarının kullanımı** (Geleneksel nozullara göre %30-50 su tasarrufu sağlar)
- **Basınç kontrollü vana sistemlerinin kullanılması**
- **Islak yerine kuru temizlik uygulamalarına geçilmesi**
- Konvansiyonel yıkama makinelerinden düşük debili, vakumlu sistemlere geçiş sağlanması

²⁰ <https://nuwater.com/optimizing-water-efficiency-in-industrial-operations/>

- Geleneksel su sayaçlarının akıllı ölçüm cihazları ile değiştirilmesi
- Buhar sistemlerine yoğunlaşma geri kazanım sistemleri eklenmesi
- Proses hattı boyunca farklı sensör uygulamaları
Akış sensörleri: Proses hatlarına yerleştirilerek **anlık su tüketimi** izlenebilir. Kaçak, aşırı tüketim ve anomali tespiti sağlanır. Ayrıca akıllı sistemlerle entegre edilirse **alarm sistemi** kurulabilir. Örneğin, durulama hattına monte edilen debimetre sayesinde gereğinden fazla çalışan musluklar tespit edilip otomatik kapatma sağlanır.
Seviye Sensörleri: Tanklarda, kazanlarda, soğutma kulelerinde su seviyesini izlemek için kullanılır ve gereksiz dolup veya taşmaların önüne geçer. CIP sistemlerinde geri kazanım tanklarının doluluk seviyesi izlenerek sistemin verimliliği artırılır.
Basınç Sensörleri: Borularda kaçak veya tıkanıklık olup olmadığını gösterir. Ayrıca, pompa ve hat sağlığının izlenmesine katkı sağlar.
Sıcaklık Sensörleri: Buhar sistemlerinde kondens geri kazanımını optimize eder ve geri kazanılan sıcak suyun yeniden kullanımı sağlanır.
IoT Tabanlı Akıllı Su İzleme Sistemleri: Bu proses kontrol sistemi ile tüm sensörler bir dijital platforma bağlanarak gerçek zamanlı izleme, grafiklerle analiz, otomatik raporlama yapılır. Bu yaklaşımda, kullanıcı dostu bir web arayüzü veya mobil uygulama ile izleme ve uygulama kolaylığı büyük bir avantajdır.

Gelişen dijital teknolojiler sayesinde, işletmeler artık su kullanım süreçlerini sadece izlemekle kalmayıp, gerçek zamanlı olarak modelleyip optimize edebilmektedir. Bu kapsamda dijital ikiz (digital twin) teknolojisi öne çıkmaktadır. Dijital ikiz, işletmedeki su tüketimi, akış yönü, sıcaklık, basınç gibi parametrelerin anlık olarak takip edildiği ve simülasyonlarla farklı senaryoların test edilebildiği sanal bir modeldir.

Su verimliliği açısından dijital ikizler; arızaların erken tespiti, bakım ihtiyacının öngörülmesi, suyun yeniden kullanım potansiyelinin belirlenmesi ve olası iyileştirmelerin maliyet-etki analizinin yapılması gibi önemli avantajlar sunar. Özellikle çok sayıda su tüketim noktası olan işletmelerde, bu teknoloji sayesinde manuel analizlerle gözden kaçabilecek kayıplar tespit edilebilir ve sürekli iyileştirme döngüsü dijital olarak yönetilebilir hale gelir.

Yukarıda bahsedilen yaklaşımlardan proses iyileştirme ile %10-25, ekipmanların modernizasyonu %15-30, sensör sistemleri ile %5-15 ve toplanan verilerin dijital ikiz ile entegre edilmesi ve izlenmesi ile %5-20 arası su tasarrufu sağlanabilmektedir.

Yaklaşım 3: Çalışan Farkındalığı ve Eğitim

Su verimliliği sadece teknik değil aynı zamanda kültürel bir dönüşüm gerektirir. Çalışanların suyun işletme maliyetlerine etkisi konusunda bilinçlenmesi, su tasarrufu sağlayan davranışların kalıcı olmasını sağlar. Bu yaklaşım için yapılabilecekler:

- 1) Su kullanımına yönelik eğitim programları düzenlenmesi,
- 2) Tasarruf sağlayan önerilere ödül verilmesi
- 3) **Tedarik zincirinde bulunan küçük ve orta ölçekli firmalarda su verimliliği ile ilgili farkındalık eğitimlerinin düzenlenmesi**
- 4) Görsel uyarılar ve bilgilendirme panoları ile farkındalık artırılması.

Yaklaşım 4: Performans Takibi ve Sürekli İyileştirme

Su verimliliği sağlandıktan sonra bu kazanımların korunması ve daha ileriye taşınması gerekir. Belirli performans göstergeleri (örneğin: ürün başına tüketilen su miktarı) tanımlanmalı ve düzenli olarak izlenmelidir. Bu veriler sayesinde iyileştirme alanları proaktif şekilde belirlenebilir. İzlenebilecek en önemli göstergeler m³ su / ton ürün, atık su geri kazanım oranı ve su başına enerji tüketimidir.

Sonuç olarak, proses içi su verimliliğini artırmak, karmaşık ve maliyetli bir yatırım gerektirmek zorunda değildir. Su haritalandırması, proses optimizasyonu, geri kazanım uygulamaları ve çalışan farkındalığı gibi düşük maliyetli adımlarla bile ciddi kazanımlar elde edilebilir. İşletmelerin bu yaklaşımları benimsemesi, hem çevresel yükümlülüklerini yerine getirmeleri hem de uzun vadede maliyet avantajı sağlamaları açısından kritik önem taşır.



8. SU VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ İYİ DURUM ÖRNEKLERİ

GIDA ENDÜSTRİSİ

AK GIDA - İÇİM SÜT (İSTANBUL MERKEZ-TÜRKİYE)

1996 yılında kurulan ve Türkiye'nin süt ve süt ürünleri sektöründeki en büyük işletmesi konumunda bulunan şirket, altı üretim tesisi ve günlük 5.000 ton süt işleme kapasitesiyle faaliyet göstermektedir. 300'ü aşkın ürün çeşidi sunan şirketin Pamukova, Karaman, Lüleburgaz, Kahramanmaraş ve Tire'deki tesisleri ile bölge ofisleri ve İstanbul'daki genel merkezi rapor kapsamına alınmıştır. Suyun verimli kullanımı amacıyla ileri düzeyde su geri kazanım sistemleri ve atık su arıtma yatırımları yapılmış, üretim süreçlerinde yağmur suyu hasadı ve soğutma sularının geri kazanımı gibi uygulamalarla önemli miktarda su tasarrufu sağlanmıştır. Özellikle Tire Üretim Tesisinde kurulan Su Geri Kazanım Sistemi sayesinde yağmur suyu ve ters yıkama suları geri dönüştürülerek 2022 yılında 116.843 m³ su tasarrufu elde edilmiştir. Lüleburgaz ve Karaman tesislerinde ön soğutma sularının geri kazanımı ile toplamda 10.000 m³ su tasarrufu sağlanırken, Kahramanmaraş'taki benzer proje ise devam etmektedir. Ayrıca CIP sistemlerinin optimizasyonu ve kum filtrelerinin verimli sistemlerle değiştirilmesiyle ek su tasarrufu hedeflenmektedir. ISO 14046 'Su Ayak İzi Yönetimi' standardı doğrultusunda tüm tesislerde su ayak izi hesaplamaları yapılmakta, geri kazanılmış sular alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Geliştirilen sistemlerle bir ton çiğ süt işlemek için gereken su miktarı %15 oranında azaltılarak 3,3 tona düşürülmüş, 2025 yılına kadar bu değerin 2,5 tona indirilmesi hedeflenmektedir²¹.

PINAR SÜT (İZMİR-TÜRKİYE)

Yaşar Topluluğu, sorumlu su yönetimi kapsamında ulusal ve uluslararası standartları takip ederek TSE EN ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Standartları ile uyumlu uygulamalar benimsemektedir. Üretim süreçlerini planlarken, su miktarına ilişkin verileri analiz ettikleri ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini korumaya yönelik çalışmalar yaptıklarını 2023 Sürdürülebilirlik Raporunda sunmuşlardır. Su tüketimini izlemek ve azaltmak amacıyla pilot şirket ve lokasyonlarda su ayak izi hesaplamaları ve raporlamaları yaptıklarını belirtmişlerdir. Bu kapsamda Pinar Süt İzmir Fabrikasında su tüketimi ölçülerek, arıtma prosesinde kullanılan kimyasalların optimizasyonu yoluyla kostik (NaOH) tüketimini %30 oranında azaltmışlardır. Şanlıurfa Fabrikasında kurulan ve yenilenen su sayaçlarıyla kullanılan suyun %96'sını izlemişlerdir. Su geri kazanım çalışmalarıyla yıllık 29.200 m³ su tasarrufu hedeflemiştir. İzmir fabrikasında kostik

azaltımı, su sayacı değişimleri, yağmur suyu toplama ve kondens (yoğuşma) suyu toplama sistemlerine yönelik uygulamaları hayata geçirmişlerdir²².

ARLA (DANİMARKA)

Arla Foods, İsveç ve Danimarka merkezli uluslararası bir süt ürünleri kooperatifidir. Dünyanın en büyük süt ürünleri üreticilerinden biridir ve birçok tanınmış markanın sahibidir. Arla, İskandinav'da en büyük süt üreticisi olup, İsveç, Danimarka, İngiltere, Almanya, Belçika, Lüksemburg ve Hollanda'dan gelen 7.600'den fazla süt üreticisi tarafından ortaklaşa sahiplenilmektedir. Arla, sürdürülebilirlik konusunda da önemli çalışmalar yapmaktadır.

- **Atık Su Geri Kazanımı:** Arla, Danimarka'nın Rødskær bro kentindeki mozzarella üretim tesisinde, Grundfos ile iş birliği yaparak BioBooster adlı bir atık su arıtma sistemi kurmuştur. Bu sistem sayesinde hem günlük 1.000 m³ atık su arıtılarak yeniden kullanılmakta veya çevreye güvenli bir şekilde deşarj edilmektedir hem de yeraltı suyu kullanımı günlük 750 m³ azaltılmıştır. Arıtılan atık su ise temizlik ve soğutma gibi gıda dışı uygulamalarda kullanılmaktadır²³.
- **Teknik Su Tesis ve Membran Temizliği:** Arla Foods Ingredients, Danimarka'daki en büyük iki tesisinde teknik su tesisleri kurarak kuyu suyu kullanımını azaltmayı hedeflemiştir. Bu tesislerde günlük 1.000 m³ su geri kazanımı sağlanmıştır. kapasite 2.000 m³/gün'e çıkarılarak, kuyu suyu kullanımının %50'si karşılanması hedeflenmiştir. Ayrıca membran temizleme süreçlerinin optimizasyonu ile yıllık 20.000 m³ su tasarrufu öngörülmektedir^{23,24}.
- **Membran Teknolojisi ile Atık Su Arıtımı:** Arla, DuPont ve Tetra Pak iş birliğiyle, peynir üretiminden kaynaklanan atık suyu arıtmak için ters ozmoz ve nanofiltrasyon teknolojilerini kullanmıştır. Bu uygulama ile haftalık 1.000 m³ atık su, temizlik suyu olarak yeniden kullanılmak üzere arıtılmıştır ve atık suyun Kimyasal Oksijen İhtiyacı (COD) değeri 25 mg/L'nin altına düşürülmüştür²⁵.
- **Su Arıtma Optimizasyonu:** Arla, Danimarka'nın Hobro kentindeki tesisinde Alumichem ile işbirliği yaparak, proses suyunun arıtılmasında kullanılan bant filtre sistemini optimize etmiştir. Bu sayede su arıtma verimliliği artırılmış ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu sayede 1 000 000 DKK (approx 100 000 Euro) yıllık tasarruf sağlanmıştır²⁶.

²¹ Ak Gıda - İçim Süt (2022), Sürdürülebilirlik Raporu.

²² Yaşar Holding (2023), Sürdürülebilirlik Raporu.

²³ <https://www.arlafoodsingredients.com/sustainability/stronger-planet/water/advanced-filtration-upgrades-wastewater-for-reuse/>

²⁴ Arla food, Annual Financial and Sustainability Report (2024)

²⁵ <https://www.dupont.com/content/dam/water/amer/us/en/water/public/documents/en/RO-FilmTec-Hypershell-Dairy-WW-Management-Arla-Denmark-CS-45-D04567-en.pdf>

²⁶ <https://alumichem.com/arla-foods-optimizes-water-treatment-achieving-major-savings/>

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

SUN TEKSTİL ve EKOTEN (İZMİR-TORBALI-TÜRKİYE)

Sun Tekstil ve Ekoten, büyük ölçekli bir tekstil endüstrisi kuruluşudur. Sun Tekstil ve Ekoten, su verimliliğine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmalar kapsamında, 2022 yılında su kaynaklarını koruma sorumluluğu doğrultusunda yenilikçi artırma teknolojilerine sahip atık su geri kazanım tesisini devreye almışlardır. 2023 yılında gerçekleştirilen fizibilite çalışmaları ve saha uygulamaları sonucunda, sistem belirli kapasitelerde 45 gün süreyle çalıştırılmış ve bu süreçte toplam 48.366 m³ su geri kazanılarak kumaş boyama operasyonlarında kullanılmıştır. Bu uygulama ile boyahanenin günlük su ihtiyacının %65'i geri kazanılan su ile karşılanmıştır. Şirket, 2025 yılı sonuna kadar atık su geri kazanım oranını %90'ın üzerine çıkarmayı hedeflemekte olup, geri kazanılan suyun kalite standartlarına uygun şekilde üretim süreçlerine entegre edilmesi amacıyla sistem optimizasyon çalışmalarını sürdürmektedir. Projenin başarıyla tamamlanması ile birlikte sıfır atık su deşarjı hedefine ulaşılması ve çevreye zararlı kirleticilerin (alkalinite, KOI, BOI, askıda katı madde, azot ve yağ-gres) doğaya deşarjının önlenmesi amaçlanmaktadır. Şirket, 2024 yılı itibarıyla su yönetimi verilerini ISO 14046 standardı kapsamında belirlenen kategoriler çerçevesinde izlemeye ve raporlamaya başlamıştır. Şirket, su verimliliğini arttırmaya yönelik en son teknolojiye sahip ve inovatif çözümler sunan ekipmanlar ile ilgili çalışmaları kapsamında global bir makine üreticisi tarafından geliştirilen yeni nesil jet boya makinelerinin kurulumunu gerçekleştirmiştir. Söz konusu makineler sayesinde, geleneksel sistemlere kıyasla önemli ölçüde su tasarrufu sağlanmış; buna ek olarak, belirli oranlarda enerji tüketimi de azaltılmıştır. Bunun yanı sıra, ilgili birimlerin liderliğinde susuz boyama ve düşük su tüketimiyle yıkama gerçekleştiren teknolojilere yönelik araştırma çalışmaları devam etmektedir. Operasyonel Mükemmellik ekibinin öncülüğünde; büyük veri analitiğinden yararlanılarak ve yüksek otomasyon sistemine sahip ileri üretim altyapısı aracılığıyla, su kullanımının optimize edilmesi ve sürekli iyileştirilmesi hedeflenmektedir²⁷.

YÜNSA (ÇERKEZKÖY-TEKİRDAĞ-TÜRKİYE)

Yünsa, yüksek kaliteli yünlü kumaş üretiminde uzmanlaşmış, Türkiye'nin önde gelen entegre tekstil firmalarındandır. 2023 yılında sürdürülebilirlik çalışmalarını güçlendiren firma, polyester elyaf yerine geri dönüştürülmüş R-PET hammadde kullanımıyla 7.030 ton su tasarrufu sağlamıştır. Çerkezköy tesisinde yeniden kullanılan su miktarı 2023 yılı itibarıyla 217.738 tona ulaşmış; bu doğrultuda evsel ve endüstriyel atık su oluşumunun azaltılmasına yönelik proses iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen hedefin %8 üzerinde performans sergilenmiştir. Firma oluşan atık sularını OSB arıtma tesisine yönlendirilerek çevresel riskleri minimize etmektedir. Aynı yıl içerisinde ISO 14046:2014 standardı

kapsamında su ayak izi hesaplamaları tamamlanmış ve akredite bir kuruluş tarafından doğrulanarak mavi ve gri su ayak izlerini içeren "Su Ayak İzi Envanter Raporu" yayımlanmıştır. Su tüketimini sistematik olarak izlemek amacıyla, özellikle yoğun su kullanan apre bölümünde regresyon analizlerine dayalı bölüm bazlı su izleme çalışmaları yürütülmüştür. Bu analizler aracılığıyla teorik su tüketim değerleri belirlenmiş, üretim süreçlerinde su kullanımına etki eden parametreler analiz edilmiştir. Su yönetimi stratejisi kapsamında, üretimdeki su tüketimi azaltılmış; işletme genelinde farkındalık artırılmış ve sürdürülebilir tüketim hedefleri doğrultusunda ilerleme kaydedilmiştir. Tamamı yer altı suyundan karşılanan su ihtiyacının kalitesi ve sürekliliği, özellikle Ergene Havzası gibi su riski yüksek bölgelerde faaliyet gösteren tesis açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, hem üretim tesislerinde hem de ofis alanlarında suyun verimli kullanımı ve endüstriyel geri kazanımı için çalışmalarını sürdürmektedirler²⁸.

KORTEKS (BURSA-TÜRKİYE)

Korteks, Zorlu Tekstil Grubu bünyesinde faaliyet gösteren ve 1989 yılında Bursa'da kurulmuş olan bir polyester iplik üreticisidir. Türkiye tekstil sanayisinin polyester iplik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan firma, bugün 360.000 m² üretim alanında, yıllık 200.000 ton kapasiteyle 3 tesiste 7 farklı üretim operasyonunu yürütmektedir. Firmanın 2023 Sürdürülebilirlik Raporunda su verimliliği ile ilgili yaptığı çalışmalar incelendiğinde Zorlu Tekstil Grubu, Zorlu Holding Akıllı Hayat 2030 stratejileri kapsamında 2030'a kadar kullanılan suyun %50'sini, 2050'ye kadar da tamamını geri kazanmayı hedeflediği görülmektedir. Su verimliliği ile ilgili yaptıkları çalışmalardan bazıları şu şekilde sıralanmıştır;

- **Ters Osmoz Sistemi Debi Değişimi:** Osmoz sistemi 11.5 m³/h atık su debisi 6.5 m³/h'e kadar kısılmıştır. Debinin kısılması sebebiyle 2. kalite su kullanımının verimi artmış olup sistemden çıkan atık su miktarı azaltılmıştır. Debi değişimi ile yılda 28.000 m³ su tasarrufu ve 620.000 TL tasarruf sağlanmıştır.
- **Klima Eşanjör Projesi:** Poy klimaların eşanjör odasındaki boş alanlara ilave eşanjör montaj edilerek soğutmada kullanılan yumuşak su tüketimi azaltılmıştır. Proje sayesinde yılda 5.460 m³ yumuşak su tasarrufu sağlanmıştır.
- **Çorap Boya Su Tasarrufu Projesi:** Her çorap boyama işlemi sonrası durulama suyu boşaltılmayıp makine içerisinde bırakılarak bir sonraki boyamada kullanılmaktadır ve bu şekilde her boyamada ~100 lt su tasarrufu sağlanmıştır. Proje ile yılda 219 m³ su tasarrufu ve 7.000 TL tasarruf sağlanmıştır.

²⁷ Sun Tekstil Ekoten (2024), Sürdürülebilirlik Raporu

²⁸ Yünsa (2023), Sürdürülebilirlik Raporu

Zorluteks firması kapsamında ise yapılan uygulamalar şu şekilde sıralanmıştır;

- Perde Atık **Suyunun Arıtıldıktan Sonra Yeniden Kullanımı** (Perde Arıtma Tesisinden çıkan günlük yaklaşık 1.000 m³ atık su, ilave filtrelerden geçirilerek nevresim terbiye tesisinde işletme içerisinde uygun proseslerde kullanılmaktadır.)
- Rejenerasyon **Geri Yıkama Suyunun Azaltılması ve Tuzlu Su Kullanımı**
- Proses Optimizasyonu
- Reçete Optimizasyonu
- Zorluteks; su ayak izini azaltmaya yönelik yaptığı çalışmalarla birlikte Inditex Care for Water programı dahilinde, su tüketiminde en iyi seviye olan "excellent" skoru alarak Join Life üreticisi olmaya hak kazanmıştır. 1.000 m³/gün'lük suyun tekrar kullanılmasıyla birlikte kg başına su tüketimi 2022 yılında; 63 lt/kg'dan 52 lt/kg seviyelerine gerilemiş; kg başına su tüketiminde %17'lik bir iyileşme sağlanmıştır. 2023 yılında da aynı sistemin kullanılmaya devam edilmesiyle birlikte su ayak izi 52 lt/kg'dan 50 lt/kg seviyelerine gerilemiştir. Bu sayede 2023 yılında 848.000 m³ su tasarrufu sağlanmıştır²⁹.

MAVİ GİYİM (İSTANBUL-TÜRKİYE)

1991 yılında İstanbul'da kurulan Mavi, bugün 33 yıllık denim uzmanlığıyla global ölçekte faaliyet gösteren bir lifestyle markasıdır. 2017 yılında halka açılan şirket, 34 ülkede yaklaşık 4.000 satış noktasında faaliyet göstermektedir. Mavi'nin kendi operasyonlarında üretim bulunmadığı için su tüketimi sınırlı seviyededir. Ancak hazır giyim üretiminin su yoğun bir süreç olması nedeniyle, Mavi tedarik zincirindeki su kullanımını yönetmek amacıyla kurumsal su ayak izi hesaplaması gerçekleştirmiştir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) metoduna dayanan bu analizde, bölgesel su kıtlığı ve su kalitesi üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir. Envanter çalışması OpenLCA 2.2 yazılımı ve Ecoinvent 3.10 veri tabanı kullanılarak oluşturulmuştur. Tedarik zincirindeki çevresel etkilerin azaltılması hedefiyle, 2022 itibarıyla kritik tedarikçi tesislerde çevresel denetimlere başlanmıştır. Bu denetimlerde su ve atık su yönetimi, enerji kullanımı, kimyasal yönetimi gibi alanlarda performans ölçülmüştür. 2023 sonu itibarıyla tüm ana ve alt ıslak işlem tedarikçileri denetlenmiş, 2024 yılında ise 7 tesis daha denetim kapsamına alınmıştır. Mavi, sürdürülebilir üretim hedefleri doğrultusunda tedarikçileriyle birlikte enerji ve su verimliliğine odaklanan uygulamalar geliştirmektedir. Önde gelen üreticilerinden ERAK ve TAYEKS tesislerinde, sıcaklık geri kazanımı ve verimli arıtma sistemleri aracılığıyla su ve enerji tüketimi azaltılmıştır. Özellikle All Blue koleksiyonunda E-flow teknolojisi gibi düşük su tüketimli üretim yöntemlerine ağırlık verilmiştir. Ayrıca Green Ball yıkama gibi alternatif tekniklerle su, kimyasal ve atık miktarlarında önemli tasarruflar sağlanmış, üretim kalitesi artırılmıştır³⁰.

TAYPA TEKSTİL (İSTANBUL-TÜRKİYE)

Hazır giyim ve konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren TAYPA, su yoğun bir alanda çalışmanın bilinciyle su tüketimini azaltmaya yönelik uzun vadeli stratejiler ve teknolojik yatırımlar geliştirmektedir. 1993'ten bu yana sektörde aktif olan şirket, özellikle yıkama süreçlerinde su tasarrufuna odaklanmıştır.

- **Yıkama Süreçlerinde İyileştirme:** Şirket'in Lazer Teknolojisi, Damla Yıkama Teknolojisi, Ozon Teknolojisi, Yeni Nesil Yıkama Makineleri ve Parça Boyama Prosesi'ne yaptığı yatırımlar sonucunda raporlama döneminde (2023) ürün başına kullanılan toplam su miktarında baz yıl 2018'e göre %4'lük, yıkama prosesinde ürün başına kullanılan su miktarında ise %42'lik bir azalma sağlanmıştır.
- **Teknolojik Yatırımlar:**
 - Sürdürülebilir Denim Yıkama Prosesi (Ozon+Lazer Teknolojisi)
 - **Ozon Teknolojisi:** Yıkama sonrası efektlerin iyileştirilmesi için geliştirilen Ozon Teknolojisi, benzer efektlerin yıkamaya gerek kalmadan ozonla elde edilmesini sağlamaktadır. Taypa, Metosense teknolojisiyle üretilen ozon sayesinde su tüketimini önemli ölçüde azaltmış; kimyasal kullanımı, enerji, zaman ve kapasite alanlarında tasarruf etmiştir.
 - **Lazer Teknolojisi:** Lazer kullanım oranı artırılarak suyun verimli kullanılması sağlanmaktadır.
 - **Damla Yıkama Teknolojisi:** Yıkama fabrikasındaki Damla Yıkama Sistemi sayesinde 1 adet ürün 1 bardak su ile yıkanarak önemli ölçüde su tasarrufu elde edilmektedir.
 - **Yeni Nesil Yıkama Makineleri:** Yeni Nesil Yıkama Makinelerinin çeşitliliği artırılarak su tasarrufu sağlanmaktadır.
- **Atık Su Yönetimi ve Geri Kazanım:**
 - Taypa, arıtma uygulamalarına verdiği özel önem doğrultusunda, tüm tesislerinde oluşan atık sular için bağımsız denetim kuruluşlarında periyodik ZDHC analizi yaptırmaktadır. Test sonuçları ve ilgili raporlar, global platformlar üzerinden müşterilerle paylaşılmaktadır.
 - Su kayıplarını minimize ederek tasarrufu sağlamayı hedefleyen Şirket, yıkama fabrikasında kullanılan suların geri dönüşümüyle su tüketimini azaltmaktadır.
 - Taypa, 2021 yılında faaliyete geçen, %55'e kadar atık su geri dönüşümü kapasiteli Atık Su Geri Dönüşüm Tesis'i'nin kapasitesini artırmak üzere biyolojik arıtma tesisinde revizyona gitmiştir.
 - Tesiste yapılan yenileme ve iyileştirme çalışmalarının sonucunda, ultrafiltrasyondan çıkan suyun yıkama prosesine doğrudan gönderilmesi ve parça boya prosesinin ihtiyacı olan suyun ters ozmostan geçirilmesiyle Parça Boyama Prosesi'nin %100 geri kazanılmış su ile çalışması sağlanmıştır. Bu yöntemle toplam atık su geri dönüşüm kapasitesi %70'e çıkarılmıştır³¹.

²⁹ Korteks (2024) Sürdürülebilirlik Raporu

³⁰ Mavi (2024) Faaliyet Raporu

³¹ Taypa (2023), Sürdürülebilirlik Raporu

ROTEKS TEKSTİL (İZMİR-TÜRKİYE)

1986 yılında İzmir’de kurulan ve denim ile denim görünümlü dokuma dış giyim ürünleri üretiminde uzmanlaşan Roteks Tekstil, sürdürülebilir üretim anlayışıyla su tüketimini azaltmaya ve çevresel etkilerini en aza indirmeye yönelik önemli adımlar atmıştır.

• Susuz Enzim Teknolojisi:

- Geleneksel taş yıkamanın yerine susuz enzim içeren yıkama reçeteleri geliştirilmiştir.
- Bu yöntemle çamur atığında %90, taş atığında %100 azalma sağlanmış; reçete bazlı su tüketimi ürün başına %20 oranında düşürülmüştür.
- Askıda katı madde miktarı azaltılmış, arıtma ekipmanlarının yükü düşürülerek ekipman ömrü uzatılmıştır.
- 2021’de başlanan uygulama 2022’de tüm yıkama işletmelerine yaygınlaştırılmıştır.

• Su Geri Dönüşüm Sistemleri:

- 2020’de başlatılan su geri kazanım sistemlerinin kurulumu, Truva Tekstil ve Hedef Kot işletmelerinde tamamlanmış, Roteks tarafından finansal ve teknik destek sağlanmıştır.
- İki işletmede toplam 161.781 m³ su geri dönüştürülmüş, bu miktar yaklaşık 710.000 kişinin bir günlük su tüketimine eşdeğerdir.
- Geri dönüşüm sistemleri ile bir kilogram ürün başına su tüketiminde %70’e varan tasarruf sağlanmaktadır.

• Yeni Nesil Yıkama Teknolojileri:

- Düşük su tüketimli makinelerle çalışan işletmelerde 3.897.758 ürün yıkanmış, bu rakam toplam üretimin %36’sını oluşturmuştur³².

kullanımını azaltmaktadır. Tesisin konvansiyonel arıtım ve geri kazanım sistemleri sayesinde yılda yaklaşık 9,5 milyon ton su geri kazanılmakta ve ham su kullanımında önemli tasarruf sağlanmaktadır. 2023 yılı itibarıyla bu faaliyetler için yapılan harcamalar, toplam çevresel giderlerin yaklaşık %75’ini oluşturmuştur. Modern Ambalaj ise doğal kaynakların korunması amacıyla su tüketiminin azaltılmasına yönelik projeler yürütmekte ve çalışanlarına düzenli olarak arıtma süreci kontrol eğitimleri vermektedir³³.

SANIPAK-ECZACIBAŞI TÜKETİM ÜRÜNLERİ (YALOVA-MANİSA-TÜRKİYE)

Eczacıbaşı Tüketim Ürünleri operasyonel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, suyun verimli kullanımını en üst düzeye çıkarmak amacıyla üretim süreçlerinin optimizasyonuna yönelik çalışmalar sürdürmektedir. Bu kapsamda, ilgili ünite birimleri ve kâğıt makineleri özelinde çeşitli uygulamalar hayata geçirilmiştir. 2023 yılı Sürdürülebilirlik raporlarında belirttikleri gibi kayıp ve kaçakların erken tespiti ile tasarruf fırsatlarının belirlenmesi amacıyla su izlenebilirlik sistemleri kurulmuş, kâğıt makinelerinde su tüketiminin anlık olarak izlenmesine olanak tanıyan yazılım altyapıları geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen teknik iyileştirmeler neticesinde aşağıdaki miktarlarda su tasarrufu sağlanmıştır:

- Salmastra tipi değişikliği ile 6.000 m³,
- Redüktör bağlantı revizyonu ile 9.000 m³,
- Filtre tipi değişimi ile 9.750 m³ su tasarrufu elde edilmiştir.

Ayrıca, uygulanan projeler kapsamında;

- Salmastra suyu arıtma projesi ile kâğıt makinesinden **geri kazanılan salmastra suları** sayesinde 15.000 m³,
- Yıkama suları geri dönüşüm uygulaması ile 35.000 m³ su tasarrufu sağlanmıştır³⁴.

STORA ENSO (SKUTSKÄR- İSVEÇ)

Stora Enso’nun Skutskär kentinde bulunan tesisi yaklaşık olarak yıllık 545.000 ton kâğıt hamuru üretim kapasitesine sahiptir³⁵. Bu yüksek üretim kapasitesi, tesisin sürdürülebilir su yönetimi ve arıtma teknolojilerinde yaptığı yeniliklerin büyüklüğünü ve önemini de artırmaktadır. Tesiste su verimliliğini artırmak için yapılan teknolojik yenilikler şu şekildedir:

- Buharlaştırma tesislerindeki pompalar için kontrol pillü valfler kullanarak bariyer suyu tüketimini %90 azaltıldı³⁶.
- 2022 yılında 40 milyon Euro’luk bir yatırım ile hem proses suyu kullanımını hem de kimyasal kullanımını azaltıldı. Fakat proses içerisinde hangi teknolojileri kullandıklarını açıklamadılar³⁷.
- Stora Enso genelinde 2023 verilerine göre kullandıkları suyun %99’unu yüzey sularında çekiyorlar ve yalnızca %4’ünü proses sırasında tüketiyorlar. Geri kalan suyu arıtarak doğal ortama deşarj ediyorlar. Şirketin hedefi 2030 yılına kadar çekilen suyu %17 azaltmak. Ayrıca dijital çözümler ile arıtılmış atıksuyun kalitesini de arttırmayı hedefliyorlar³⁸.

KAĞIT ENDÜSTRİSİ

EREN HOLDİNG-MODERN KARTON (ÇORLU-TÜRKİYE)

Eren Topluluğu bünyesindeki şirketler, su tüketiminin azaltılması, atık suyun geri kazanımı ve ekosistem üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi amacıyla kapsamlı stratejiler geliştirmektedirler. ISO 14046 Su Ayak İzi Standardı doğrultusunda, Eren Enerji ve Medcem tarafından düzenli olarak su ayak izi raporları hazırlanmış; su yönetiminin sürdürülebilirliği yönünde sistematik çalışmalar yürütülmüştür. Modern Karton ile Eren Perakende ve Tekstil de 2023 yılı itibarıyla ilk su ayak izi çalışmalarını tamamlamış ve su yönetimi stratejilerini bu doğrultuda güçlendirmiştir. Ergene Havzası’ndaki su kirliliği dikkate alınarak, üretim süreçleri su verimliliğini artıracak şekilde yeniden tasarlanmış, su gerektirmeyen buharla yıkama sistemleri uygulanmıştır. Eren Perakende ve Tekstil’in Misinli tesisinde su tüketiminin izlenmesi amacıyla enerji ve su izleme sistemleri devreye alınmış, ayrıca yağmur suyu toplama altyapıları kurulmuştur. Atık su yönetimi kapsamında, Medcem Çorlu tesisinde oluşan atık sular Modern Karton’un proses tankına aktarılma ve burada geri kazanılarak, Modern Karton, Medcem ve Modern Ambalaj tarafından tekrar kullanılmaktadır. Modern Karton, kâğıt üretiminden kaynaklanan atık suları ileri arıtma teknolojileriyle temizleyerek üretim süreçlerine yeniden dahil etmekte ve böylece temiz su

³² Roteks (2021), Sürdürülebilirlik Raporu

³³ Eren Holding (2023), Sürdürülebilirlik Raporu

³⁴ Eczacıbaşı Tüketim Ürünleri (2023), Sürdürülebilirlik Raporu

³⁵ <https://www.storaenso.com/en/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2022/12/stora-ensos-invests-to-strengthen-focus-on-specialised-pulp-grades>

³⁶ <https://www.eagleburgmann.com.tr/media/admin-area/media-data-base-website/publications/reducing-water-consumption-by-90-at-stora-ensos-skutskar#:~:text=Page%201,90%25%20at%20Stora%20Enso%20Skutskar>

³⁷ https://www.storaenso.com/en/newsroom/news/2022/3/skutskar-mills-road-to-carbon-neutral-operations?utm_s

³⁸ <https://www.storaenso.com/en/sustainability/responsibility/water-stewardship#:~:text=engaging%20with%20stakeholders,-Sustainable%20water%20management,from%20municipal%20or%20groundwater%20sources>



9. SU VERİMLİLİĞİ VE FİNANSMAN

Su kaynaklarının yönetimi, doğal kaynakların ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında, yaşam kalitesinin artırılmasında ve 2030 Gündemi ile Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri-SKH 6 (Temiz Su ve Sanitasyon), SKH 14 ve SKH 15 gibi hedeflerin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu yönetim, **küresel elektrik tüketiminin %4'ünü** oluşturarak ciddi sera gazı emisyonlarına da neden olmaktadır. Bu nedenle su sektörü, **iklim değişikliğiyle mücadelede önemli sorumluluklar** üstlenmektedir. 2020 yılında yürürlüğe giren AB Taksonomisi, çevresel açıdan sürdürülebilir ekonomik faaliyetlerin sınıflandırılması için bilimsel temelli bir çerçeve sunar. Bir faaliyetin bu sınıflamaya uygun sayılabilmesi için teknik eşik değerleri karşılaması, diğer çevresel hedeflere zarar vermemesi ve sosyal güvenlik standartlarını sağlaması gerekir. **6 çevresel hedef** ile uyumlu faaliyetler sürdürülebilir kabul edilmektedir;

1. İklim değişikliğinin azaltılması
2. İklim değişikliğine uyum
3. **Su ve deniz kaynaklarının korunması**
4. Döngüsel ekonomiye geçiş
5. Kirliliğin önlenmesi
6. Biyoçeşitliliğin korunması ve yeniden kazanımı

Su temini ve atık su yönetimi, taksonomiye çok sayıda başlıkta dahil edilmiştir ve işletmeler için **hem stratejik bir rehber hem de teknolojik bir dönüşüm** anlamı taşımaktadır. Taksonomi sadece Avrupa için değil; Türkiye, Çin, Brezilya, Güney Kore gibi birçok ülkenin de kendi sınıflandırmalarını geliştirirken **uluslararası bir referans** olarak işlev görmektedir. Taksonomi, sürdürülebilir faaliyetlere ilişkin istenen nitelikleri belirler ve finansmanın bankalar, yatırımcılar, devlet kurumları gibi paydaşlar tarafından sürdürülebilir olarak tanımlanabilmesine olanak sağlar. Taksonomi, su sektöründe dönüşümü teşvik eden **bilim temelli teknik eşikler** ortaya koyar. Bunlar:

Doğrudan Karbonsuzlaştırma: Yenilenebilir enerji kullanımı, sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji geri kazanımı.

Dolaylı Karbonsuzlaştırma: Enerji verimliliği, su dağıtımında dijitalleşme.

Doğal su kaynaklarının korunması: Şebeke verimliliği ve sızıntı kontrolü.

Döngüsel ekonomi uygulamaları: Besin elementlerinin geri kazanımı, atık suyun yeniden kullanımı (desalinasyon, gri su), ekotasarım.

Taksonomi, yalnızca bir sınıflandırma değil, **yeni stratejilerin belirlenmesini zorunlu kılan yapısal bir değişim aracıdır**. Gelecekte bu düzenleme, yalnızca Avrupa için değil, küresel su sektöründeki sürdürülebilirlik yatırımları ve teknolojik yönelimler açısından da ölçüt belirleyici olacaktır. İlgili kurumlar için **teknolojik yatırım kararlarında, finansal kaynak erişiminde, iklim hedefleriyle uyumun sağlanmasında ve uluslararası rekabette konumlanmada** temel başvuru kaynağı niteliği taşır³⁹.

Ülkemiz bu çalışmalar ekseninde güncel durumu takip etmektedir ve T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı Ekim 2021 tarihli **Sürdürülebilir Finansman Çerçevesi** kapsamında yeşil, sosyal ve sürdürülebilir tahvil, kredi ve sukuk ihracı yapmaktadır. Bu finansman araçlarından elde edilecek gelirler, Türkiye'nin **Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı (INDC)** çerçevesinde sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlaması beklenen mevcut veya gelecekteki projelerin tamamen ya da kısmen finansmanında kullanılacaktır.

Çerçeve kapsamında belirlenen uygun proje kategorileri⁴⁰:

Yeşil Uygun Kategoriler

Yenilenebilir Enerji

Enerji Verimliliği

Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi

Kirlilik Önleme ve Kontrolü

Temiz Ulaşım

Yaşayan Doğal Kaynakların ve Arazi Kullanımının Sürdürülebilir Yönetimi ile Karasal ve Su Biyolojik Çeşitliliğinin Korunması

İklim Değişikliğine Uyum

Döngüsel Ekonomiye Uygun Ürünler, Üretim Teknolojileri ve Süreçleri

Yeşil Binalar

³⁹ <https://www.globalwaterintel.com/articles/navigating-the-impact-of-the-eu-taxonomy-on-water-infrastructure-acciona>
⁴⁰ Second-Party Opinion Republic of Turkey Sustainable Finance Framework, Sustainability 2021.

Türkiye, bu kategori kapsamında aşağıdaki türdeki projeleri finanse edebilir:

- **Atıksu arıtma ve taşıma altyapısı:** Atıksu arıtma tesisleri (AAT), pompa istasyonları ve kanalizasyon sistemlerinin yapımı, iyileştirilmesi veya modernizasyonu; arıtılmış suyun yeniden kullanımı.
- **Su verimliliği projeleri:** Elektriksiz veya elektrikli su geri dönüşüm sistemleri, su tasarruf teknolojileri ve sayaç sistemleri.
- **Su dayanıklılığı ve güvenliği:** Kritik altyapılarda (AAT'ler, sulama tesisleri, yağmur suyu şebekeleri) su yeniden kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi, su sızıntı tespiti, su kaynaklarının izlenmesi ve korunması.

Artan su kıtlığı ve **iklim değişikliği**, dünya genelinde su kaynaklarını tehdit ederken, **yeni nesil su teknolojilerine yatırım** giderek daha hayati hale gelmektedir. Su tasarrufu, arıtma ve yeniden kullanım alanlarında çalışan iklim teknolojisi (Climate Tech) girişimleri, **önemli finansman** arayışındadırlar. 2024 yılında su çözümleri, toplam iklim teknolojisi yatırımlarının sadece %1-2'sini oluşturmuştur. Oysa artan **tatlı su kıtlığı** ve **enerji tüketimi** nedeniyle, **tasarruf, arıtma, yeniden kullanım ve akıllı yönetim sistemlerine** acil yatırım gerekmektedir. İklim dostu su yönetimi projeleri, sadece çevreyi değil, aynı zamanda toplumların refahını da artıracak, çok yönlü kazanımlar sağlayabilecek stratejik yatırımlar olarak görülmektedir. Fakat su yatırımları için ihtiyaç duyulan finansmanın büyüklüğü karşısında, sadece kamu kaynaklarına dayalı sistemler yeterli değildir. Uluslararası finansman kuruluşlarının sürdürülebilirlik kriterlerini temel alarak destek verdiği **Karma Finans (Blended Finance)** yapıları ve stratejik sermaye kullanımı ile bu teknolojilerin ölçeklenmesi ve daha **dayanıklı su sistemlerinin kurulması** mümkün hale gelmektedir⁴¹. İklim değişikliği ile su sektörü arasındaki bağlantı artık daha iyi anlaşılıyor ve bu alan **iklim finansmanı açısından cazip bir yatırım alanına dönüşüyor**. Ancak bu projelerin etkili biçimde finansman alabilmesi için:

- Bilimsel ve stratejik temellere dayanması,
- Sosyal kapsayıcılık içermesi,
- Hem uyum hem de azaltım hedeflerini birleştirmesi,
- Uygun finansal yapılarla sunulması gerekmektedir.

Karma finansman ve sermaye piyasaları gibi yenilikçi yaklaşımlar, hem sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak hem de özel sektörün devreye girmesini sağlamak için kritik rol oynamaktadır⁴². Aşağıdaki programlar bunlara örnek gösterilebilir;

- **Su Finans Hizmeti (Water Finance Facility):**
 - Ülkelerin kendi öncelikleri doğrultusunda su ve sanitasyon projelerine kaynak sağlamak için yerel para cinsinden tahvil ihraç eder.
 - **Yerli kurumsal yatırımcıları** projelere çeker.

• **Su Finansmanı Programı (Water Financing Program) – Asya Kalkınma Bankası:**

- Asya-Pasifik bölgesindeki su yatırımlarını destekler.
- **Su finansmanı partnerlik hizmeti** aracılığıyla yatırım projelerine hem finansal hem teknik destek sağlar.

Avrupa Yatırım Fonu (EIF) tarafından başlatılan küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler), küçük ölçekli orta ölçekli işletmeler (Small Mid-Caps) ve gerçek kişilerin yeşil dönüşümünü desteklemek amacıyla **Sürdürülebilirlik Portföyü Garanti Ürünü Uygulama Esasları Belgesini** hazırlamıştır. Uygunluk kriterleri, Avrupa Birliği Sürdürülebilir Finans Taksonomisi esas alınarak belirlenmiştir. Belge içeriğinde eşik değerler, minimum emisyon azaltım oranları, gerekli sertifikalar, ön tanımlı işlem listeleri ve sektörel uygulamalar gibi çeşitli unsurlar yer almaktadır. Bu belgede su verimliliği ile ilgili yapılacak yatırımlar aşağıda sunulmuştur;

⁴¹ <https://netzeroinsights.com/resources/key-players-investing-in-scalable-solutions-to-protect-water/>

⁴² <https://www.greenfinanceplatform.org/sectors/water>

Uygunluk Kriteri 5.1 – Su Kaynakları Yönetimi ve Verimliliği ile İlgili Yatırımlar⁴³

(A) Altyapının modernizasyonu (su tasarrufu, verimlilik, yeniden kullanım, deşarj azaltımı amacıyla):

- En az **%10 su tasarrufu** sağlayacak sistemler ve teknolojiler
- Yeni, **su tasarruflu makineler, ekipmanlar, armatürler** (örn. sulama makineleri, pompalar, sensörler, su sayaçları)
- **Su arıtma teknolojileri** (su yeniden kullanımı için)
- **Sertifikalı uygulamalar** (örn. EWS Standardı, <http://www.ewp.eu/ews-standard>, Sürdürülebilirlik Sertifikasyon Programı, <https://www.wqa.org/Sustainability>)
- **Binalarda su verimliliği** iyileştirmeleri
- Akıllı su sayaçları, **basınç kontrol teknolojileri**
- **Su akışı, seviye ve kalite izleme** teknolojileri
- **Su izleme ağlarının dijitalleştirilmesi ve iyileştirilmesi**

(B) Yüzey akışının azaltılması, suyun yer altına süzülmesinin artırılması ve suyun tutulması:

- Yağmur suyu **toplama sistemleri**
- **İnfiltrasyonu artırıcı** çözümler
- **Drenaj ve su depolama sistemleri**
- **Havza yönetiminin** iyileştirilmesi
- **Rezervuarlar**, su yalıtımı, yağmur suyu depolama sistemleri
- **Kombine kanalizasyon sistemlerinden ayrık sistemlere** geçiş

(C) Daha hassas sulama yönetimi (en az %10 su tasarrufu sağlayan):

- **Hassas sulama teknolojileri** (ör. mikro sulama, değişken oranlı sulama)
- **Sulama altyapısının geliştirilmesi** (Yeni veya genişletilecek sulama sistemleri, ilgili **ulusal su kullanımı izin belgeleriyle** desteklenmelidir)

(D) Dijital uygulamalar (ICT) ve çözümler:

- **Hidrolojik modelleme ve tahmin**

Akıllı su yönetimi **sistemleri (Su kalitesi ve tasarruf sağlayan dijital çözümler)**

Değerlendirme Yöntemi:

- Teknik dokümantasyon ve proje tanımı gereklidir.
- Sertifika/izin belgeleri (örn. su kullanım izni, mühendis onaylı planlar)
- Fonların kullanımının kontrolü ve yasal yükümlülükler her durumda gereklidir.
- Yatırımın imzalanması anında amaç ve şartlar net olmalıdır

Türkiye’de benzer finansman destek programlarına baktığımızda Kredi Garanti Fonu’nun (KGF) sağladığı Yeşil Dönüşüm ve Enerji Verimliliği Destek Paketi öne çıkıyor. İlgili program ile, KOBİ ve KOBİ dışı işletmelerin çevresel etkilerinin azaltılmasını amaçlayan yatırım ve bu yatırıma bağlı işletme harcamalarının finanse edilmesi amaçlanmaktadır. Diğer bir örnek olarak, KOSGEB’in sağladığı Yeşil Sanayi Destek Programı’nın Sanayide Temiz ve Döngüsel Ekonomi paketi incelenebilir. Bu paket kapsamında da su tasarrufuna yönelik yatırımlar hibe, kapasite geliştirme, fonlama gibi bileşenler ile teşvik edilmektedir.

Ülkemizdeki bankaların sürdürülebilir borç finansmanı çerçevesi açık dokümanları incelendiğinde sürdürülebilir finansman çerçevelerinin, uluslararası standartlarla uyumlu şekilde yeşil, sosyal ve sürdürülebilir borçlanma

araçlarını kapsayacak biçimde yapılandırıldığı görülmektedir. Bankalar, olumsuz çevresel ve sosyal etkileri önlemeyi ve iyileştirmeyi amaçlayan projeleri desteklemeyi hedefleyerek fon kullanım alanlarını net bir şekilde tanımlamakta; yenilenebilir enerji, temiz ulaşım, yeşil binalar ve su yönetimi gibi alanlara öncelik vermektedir. Su ve atıksu yönetimi özelinde ise bazı çerçevelerde, projelerin uygunluğu için enerji verimliliği ve altyapı kaçak oranları gibi teknik kriterler belirlenmiştir. Örneğin bazı finansman kuruluşlarının çerçeve dokümanlarında, su temin sistemlerinde maksimum enerji tüketimi sınırı 0,5 kWh/m³ olarak belirlenirken, atıksu arıtma tesislerinde kişi başına yıllık enerji tüketimi kapasiteye göre sınırlanmaktadır. Bu çerçeveler, kaynakların verimli kullanımı ve ekosistemin korunmasını hedefleyen sürdürülebilir kalkınma amaçlarıyla doğrudan ilişkilidir.

⁴³ SUSTAINABILITY GUARANTEE, Use Case Document, Version 1.3, European investment fund, Published on 8 July 2024

Uluslararası sermayenin sürdürülebilir yatırımlara aktarılabilmesi için yenilikçi finansal yapılar ve araçlar

geliştirilmektedir. Ülkemizde ve Dünyada örneklerini görebileceğimiz öne çıkan yapılar aşağıdaki gibidir.

Yenilikçi Finansal Yapılar ve Araçlar⁴⁴

1. Yeşil Borçlanma (Green Debt & Sustainability-Linked Loans)

- Borç alan taraf, yeşil hedeflere bağlı olarak düşük faizli kredi alabilir.
- Sürdürülebilirlik hedefleri başarıldıkça faiz indirimi yapılabilir.

2. Yeşil Tahviller (Green Bonds)

- Tahvil geliri yalnızca çevresel fayda sağlayacak projelerde kullanılır.
- Su sektörü, 2018’de yeşil tahvillerin %10,1’ini oluşturmuştur.

3. Etki Odaklı Finansman (Impact-Based Financing)

- Proje hedeflerini tutturduğunda ödeme yapılır (örnek: Brezilya’daki PRODES atık su projesi).

4. Çevresel Etki Tahvilleri (Environmental Impact Bonds)

- Başarı kriterleri önceden belirlenir; başarılı olunursa yatırımcıya prim ödenir.
- İlk örnek: Washington DC’deki sel kontrolüne yönelik tahvil (2016).

5. Felaket Tahvilleri ve İklim Sigortaları (CAT Bonds & Resilient Bonds)

- Doğal afetlerde belirlenen eşikler aşılsa ödeme yapılır.
- Örnek: Jamaika’nın 185 milyon \$’lık Atlantik kasırga koruma CAT tahvili (2023).





10. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bu raporda yoğun proses suyu tüketen sektörler için su verimliliği sağlayacak yatırım alanları incelenmiştir. Rapor kapsamında gıda, tekstil ve kağıt endüstrileri detaylı olarak ele alınmıştır. İlk olarak, ülkemiz havzalarındaki su kaynaklarının durumunu değerlendirmiş ve bu havzalarda yoğunlukla faaliyet gösteren bu üç sanayi kolunun dağılımlarına bakılmıştır. Bulgularımıza göre, gıda endüstrilerinin %30'u, tekstil endüstrilerinin %40'ı ve kağıt endüstrilerinin ise yalnızca %7'si su kıtlığı çeken havzalarda konumlanmıştır. Her endüstri kolu için su verimliliği durumu ve SWOT analizi sunulmuştur. Özellikle azalan su kaynaklarının oluşturduğu tehdit, her endüstri kolunda ön plana çıkmaktadır. Hem ülkemiz hem de Avrupa Birliği kapsamında, ihracat edilmesi planlanan ürünler için bağlayıcı mevzuatlar 6. bölümde detaylandırılmıştır. 7. ve 8. bölümlerde ise su geri kazanımını sağlayan teknolojiler ve prosesler ile iyi uygulama örneklerinden bahsedilmiş ve 9. bölümde su verimliliği ve finansman sunulmuştur. İşletmeler için hem uygulanabilirlik hem de finansman yönetimi açısından ön plana çıkan yaklaşımlar şu şekilde özetlenebilir;

- Gri su geri kazanımı
 - Atık suyun uygun arıtma süreçlerinden geçirilerek yeniden kullanılmasıyla su tüketiminin azaltılması sağlanabilir.
 - Gri suyun bahçe sulama, tuvaletler ve endüstriyel prosesler gibi alanlarda değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik açısından büyük fayda sağlar.
- Bazı proses sularının geri kazanımı
 - Endüstride kullanılan proses sularının, arıtma ve filtrasyon sonrası tekrar kullanımı ile su maliyeti düşürülebilir.
 - Özellikle sıcaklık ve kimyasal özellikleri uygun olan proseslerin su geri kazanımına odaklanmak, verimliliği artırır.
- Akıllı vana sistemleri ve haftalık takip
 - Otomatik ve akıllı vana sistemleri ile su kullanım verimliliği izlenebilir.
 - Haftalık periyotlarla yapılan takip ve analizler, su kayıplarını tespit edip önleyici adımlar atılmasını sağlar.
 - Bu sistemler sayesinde, su tüketiminde ani artışlar veya kayıplar hızlıca saptanabilir.

- Dijital ikiz ile izleme
 - Dijital ikiz teknolojisi sayesinde, tesislerdeki su kullanım ve prosesler sanal ortamda modellenilebilir.
 - Gerçek zamanlı verilerle performans izleme ve analizi aracılığıyla, optimizasyon ve tasarruf potansiyeli artırılır.
 - Bu çözüm, hataların erken tespitine ve bakım maliyetlerinin azaltılmasına da katkıda bulunur.
- Yağmur suyu hasadı
 - Çatı ve yüzey alanlardan toplanan yağmur suyunun depolanması ile alternatif su kaynağı oluşturulabilir.
 - Bu yöntem, özellikle dış alan sulama ve temizlik gibi uygulamalarda kullanılarak genel su tüketimi hafifletilebilir.
 - Yağmur suyu hasadı sistemleri, uzun vadede maliyetleri düşürür ve sürdürülebilirliği destekler.

Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda doğal kaynakların korunması, iklim değişikliğine uyum ve dirençli altyapıların inşası, kamu ve özel sektör iş birliğinde geliştirilecek etkili finansman modelleri ile mümkün hale gelmektedir. Su ve atıksu yönetimi, iklim değişikliğinin etkilerini azaltma ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından öncelikli alanlar arasında yer almakta; bu alanda geliştirilecek yatırımların finansmanı stratejik önem taşımaktadır. Türkiye'de sürdürülebilir finansman çerçeveleri kapsamında, su verimliliği ve atıksu arıtımı projeleri, yeşil tahvil ve sürdürülebilir kredi mekanizmaları ile desteklenebilecek nitelikli yatırım alanları arasında sınıflandırılmaktadır. İşletmelerin sürdürülebilir finansmana erişimini kolaylaştırmak amacıyla; enerji ve su tasarrufu potansiyeli yüksek, dijital izleme sistemleri içeren, teknik kriterlere uygun üretim ve altyapı yatırımları önceliklendirilmelidir. Özellikle düşük karbonlu, döngüsel ve doğa temelli çözümler içeren yatırımlar için performansa dayalı sürdürülebilir finansman modelleri, yeşil borçlanma araçları ve karma finans yapılarının kullanımı teşvik edilmektedir. Kamu-özel iş birliklerinin güçlendirilmesi, iklim riski değerlendirmelerinin yatırım süreçlerine entegre edilmesi ve AB Taksonomisi gibi uluslararası sınıflandırmalarla uyumlu çevresel kriterlerin benimsenmesi, su yoğun sektörlerde sürdürülebilir dönüşümün finansmanını kolaylaştıracak ve hızlandıracaktır.

11. KAYNAKLAR

- 1-Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2018), Su Kaynakları Yönetimi Ve Güvenliği, Ankara
- 2-<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685> (06 Şubat 2023)
- 3-<https://susurasi.tarimorman.gov.tr/Sayfa/Detay/1430>
- 4-Üç Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planları Kapsamında Ekonomik Analizler ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Yardım Projesi (TR2013/0327.07.01-01/001), Su Verimliliğine İlişkin Metodolojik Rehber (<https://www.suverimliliği.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/Tarim-Sektoru-Su-Verimliliği-Rehber-Dokumani.pdf>)
- 5-Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi Ve Eylem Planı (2023 – 2033), T.C.Tarım Ve Orman Bakanlığı-Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
- 6- TÜİK (2023), İmalat sanayi alt sektörler su ve atıksu istatistikleri, (2020-2022), 13 Aralık 2023, Sayı: 49607
- 7- TÜİK (2022), Su ve Atıksu İstatistikleri.
- 8-Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2021), Sanayide Su Kullanımı Raporu.
- 9-FAO (2019), Water Use in Food Processing.
- 10-UNEP (2020), Water Efficiency Guidelines for the Food Sector.
- 11- <https://www.stendustri.com.tr/kagit-uretiminde-hedef-enerji-ve-su-verimliliği>
- 12-Directive (EU) 2024/1760 of the European Parliament and of The Council of 13 June 2024 on corporate sustainability due diligence and amending Directive (EU) 2019/1937 and Regulation (EU) 2023/2859 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401760)
- 13-Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of The Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>)
- 14-Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024, establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC
- 15-<https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-dongusel-ve-surdurulebilir-sanayi-politikalari/surdurulebilir-urunler-icin-eko-tasarim-tuzugu-espr>
- 16-<https://www.ihkib.org.tr/surdurulebilirlik/hazir-giyim-ve-konfeksiyon-sektoru-icin-surdurulebilirlik/surdurulebilir-tedarik-zinciri>
- 17- Global Membrane Bioreactor Market (2024) Trends & Drivers, smart research insights
- 18-Global Water and Wastewater Treatment Technologies Market (Study Period: 2019-2029) Morder Intelligence Market Report
- 19-Verified Market Reports (2025), Textile Wastewater Treatment System Market.
- 20- <https://nuwater.com/optimizing-water-efficiency-in-industrial-operations/>
- 21- Ak Gıda - İçim Süt (2022), Sürdürülebilirlik Raporu.
- 22- Yaşar Holding (2023), Sürdürülebilirlik Raporu.
- 23- <https://www.arlafoodsingredients.com/sustainability/stronger-planet/water/advanced-filtration-upgrades-wastewater-for-reuse/>
- 24- Arla food, Annual Financial and Sustainability Report (2024)

- 25- <https://www.dupont.com/content/dam/water/amer/us/en/water/public/documents/en/RO-FilmTec-Hypershell-Dairy-WW-Management-Arla-Denmark-CS-45-D04567-en.pdf>
- 26- <https://alumichem.com/arla-foods-optimizes-water-treatment-achieving-major-savings/>
- 27- Sun Tekstil Ekoten (2024), Sürdürülebilirlik Raporu
- 28- Yünsa (2023), Sürdürülebilirlik Raporu
- 29- Korteks (2024) Sürdürülebilirlik Raporu
- 30- Mavi (2024) Faaliyet Raporu
- 31- Taypa (2023), Sürdürülebilirlik Raporu
- 32- Roteks (2021), Sürdürülebilirlik Raporu
- 33- Eren Holding (2023), Sürdürülebilirlik Raporu
- 34- Eczacıbaşı Tüketim Ürünleri (2023), Sürdürülebilirlik Raporu
- 35- <https://www.storaenso.com/en/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2022/12/stora-enso-invests-to-strengthen-focus-on-specialised-pulp-grades>
- 36- <https://www.eagleburgmann.com.tr/media/admin-area/media-data-base-website/publications/reducing-water-consumption-by-90-at-stora-enso-skutskar#:~:text=Page%201,90%25%20at%20Stora%20Enso%20Skutskar>
- 37- https://www.storaenso.com/en/newsroom/news/2022/3/skutskar-mills-road-to-carbon-neutral-operations?utm_s
- 38- <https://www.storaenso.com/en/sustainability/responsibility/water-stewardship#:~:text=engaging%20with%20stakeholders-,Sustainable%20water%20management,from%20municipal%20or%20groundwater%20sources>
- 39- <https://www.globalwaterintel.com/articles/navigating-the-impact-of-the-eu-taxonomy-on-water-infrastructure-acciona>
- 40- Second-Party Opinion Republic of Turkey Sustainable Finance Framework, Sustainalytics 2021.
- 41- <https://netzeroinsights.com/resources/key-players-investing-in-scalable-solutions-to-protect-water/>
- 42- <https://www.greenfinanceplatform.org/sectors/water>
- 43- SUSTAINABILITY GUARANTEE, Use Case Document, Version 1.3, European investment fund, Published on 8 July 2024
- 44- <https://iwrmaactionhub.org/learn/iwrm-tools/water-and-climate-finance>

be node research



baslangicnoktasi.org