

**TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE
TEMİZ ÜRETİM UYGULAMALARI**

**CLEANER PRODUCTION STUDIES IN TURKISH
MANUFACTURING INDUSTRY**

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN

TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE TEMİZ ÜRETİM UYGULAMALARI

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

Özet

Başta su kıtlığı olmak üzere küresel kaynakların hızla tükenmesine ilişkin artan endişe, endüstriyel sürdürülebilirliği sağlamak için kaynak verimliliği ve temiz üretim yaklaşımının benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Sanayi devrimi sırasında endüstriyel ve teknolojik gelişmelerdeki artış, çevre sorunlarının artmasına katkıda bulunmuştur. Bu durum doğal kaynakların tükenmesini hızlandırmış, asit yağmuru, kuraklık, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi küresel sorunlara yol açmıştır. Üreticilerin çevre yatırımlarını önemsememeleri, dünya çapında bu çevre sorunlarını şiddetlendirmiştir. Ancak, sanayileşmedeki artış ve AB düzenlemelerinin uygulanmaya başlanması, kaynakların etkin ve verimli kullanılmasının önemini ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilir kalkınma için döngüsel ekonomi yaklaşımını benimsemek, yaşam döngüsü boyunca ürün kaynaklı atığı en aza indirmeyi ve atıkların yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü teşvik etmeyi gerektirir. Bu çalışma, imalat sanayi alt sektörlerinde enerji, su ve hammadde kaynaklarında genel iyileştirme uygulamalarından örnekler sunmaktadır. Enerji verimliliği için yanmanın iyileştirilmesi ve atık ısıların geri kazanımı gibi önlemler önemlidir. Bu, baca gazı, flaş buhar, blöf enerjisi, atıksu ısıları gibi atık ısı kaynaklarının kullanılmasını içerir. Böylece, enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanır. Su verimliliği açısından, proses bazında su tüketiminin izlenmesi ve atıksu kalitesinin incelenmesi önemlidir. Bu sayede, üretim süreçlerinde suyun geri kazanılması ve tekrar kullanılması sağlanabilir. Su tüketiminin azaltılması ve su kaynaklarının korunması amacıyla suyun verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşır. Bu iki önlem ve hammadde/kimyasal madde tasarrufu kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını hedefler.

Anahtar Kelimeler

İmalat sanayi, Kaynak verimliliği, Temiz üretim, Döngüsel ekonomi, Sürdürülebilir kalkınma

CLEANER PRODUCTION STUDIES IN TURKISH MANUFACTURING INDUSTRY

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN
TUBITAK Marmara Research Center

Abstract

The increasing concern regarding the rapid depletion of global resources, particularly water scarcity, necessitates the adoption of a resource-efficient and cleaner production approach to ensure the sustainability of industries. The rapid industrial and technological advancements during the industrial revolution have contributed to environmental issues. Consequently, this has accelerated the depletion of natural resources, leading to global problems such as acid rain, drought, global warming, and ozone layer depletion. The lack of environmental investments by producers has worsened these environmental issues on a global scale. However, the rise in industrialization and the implementation of regulations by the European Union (EU) have highlighted the importance of effectively and efficiently utilizing resources. Embracing the circular economy approach for sustainable development involves minimizing waste generated throughout the entire life cycle of a product and promoting waste reuse and recycling. This study provides examples of general improvement practices in energy, water, and raw material resources within various manufacturing industry sectors. To enhance energy efficiency, it is crucial to focus on measures like improving combustion processes and recovering waste heat. This can be achieved by utilizing waste heat sources such as flue gas, flash steam, blowdown energy, and wastewater heat, thereby ensuring more efficient utilization of energy resources. Regarding water efficiency, monitoring water consumption on a process level and examining wastewater quality play significant roles. By doing so, water can be recovered and reused in production processes, contributing to the overall reduction in water consumption and preservation of water resources. These measures, along with conserving raw materials and chemicals, aim to promote sustainable resource usage and mitigate environmental impacts.

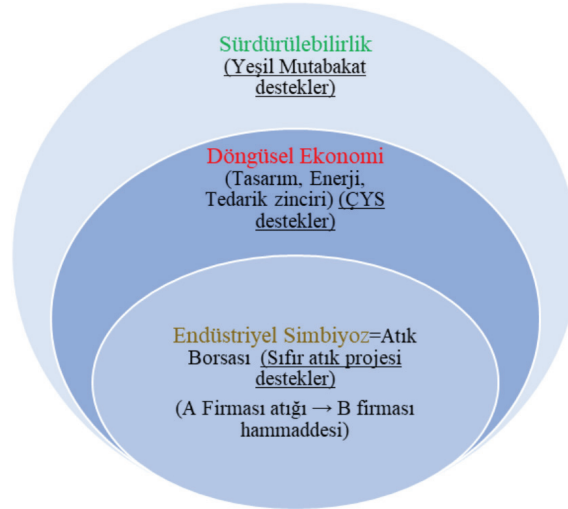
Keywords

Manufacturing industry, Resource efficiency, Cleaner production, Circular economy, Sustainable development

1. Giriş

Sanayi geliştikçe ve teknoloji ilerledikçe, hazır tüketime yönelik ihtiyaç artmakta ve bu da kentsel atık oluşumunun artmasına neden olmaktadır. Bu eğilimin, özellikle doğal kaynakları tüketmek ve iklim değişikliğine katkıda bulunmak açısından zararlı çevresel etkileri vardır (Standard, 2018).

Son yıllarda iklim değişikliği kaynaklı olaylar ve buna sebep olan etmenler ön plana çıkmaktadır. Önümüzdeki yıllarda kaynakların verimsiz şekilde ve mevcut doğrusal yöntemlerle kullanılması durumunda kaynaklar üzerinde baskı oluşacaktır. Bundan dolayı imalat sektörlerinin sürdürülebilirliklerini sağlamak için temiz üretim ve dögüsel ekonomi konusunda girişimlerde bulunmaları zorunludur (Balbay vd., 2021). Dögüsel ekonominin bir parçası olan “Endüstriyel Simbiyoz”, bir işletmenin üretim sonucu açığa çıkan atık veya enerjinin ham madde (veya ikincil malzeme) veya başka bir iş için enerji kaynağı olarak kullanılmasını içerir. Bu süreci kolaylaştırmak için kullanılan sistem ise genellikle “Atık Borsası” olarak anılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Dögüsel ekonomi, endüstriyel simbiyoz ve sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı (Balbay vd., 2021)

Avrupa Birliği (AB) tarafından 2019 yılında açıklanan Yeşil Mutabakat doğrultusunda AB, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %55 oranında azaltmayı ve 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflemektedir. Avrupa Komisyonu, demir-çelik, cam, seramik, çimento, tekstil, otomotiv, enerji ve ulaştırma, gibi birçok sektörde karbon ayak izini indirmek için birçok tedbir geliştirmektedir. Yeşil Mutabakat çerçevesinde elektrik üretimi, gübre, demir-çelik ve çimento gibi sektörlerde karbon salınımı kısıtlanmakta ve bu limitleri aşan üreticiler ek ücret ödemekle yükümlü tutulmaktadır. Yeşil Mutabakat ile bu sistem daha genişletilerek “Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması”nı gündeme getirmiştir. Bu düzenleme, AB’de emisyon hedefi daha düşük olan ülkelerin üretim yapmasının ve bu ülkelerden mal ithal etmesinin önüne geçmeyi amaçlamaktadır (YMEP, 2021). Bu kapsamda T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından “Yeşil Mutabakat Eylem Planı-2021” yayınlanmıştır. Söz konusu Eylem Planında;

- (1) yeşil ve döngüsel bir ekonomi,
- (2) sınırdaki karbon düzenlemeleri,
- (3) yeşil finansman,
- (4) iklim değişikliğiyle mücadele,
- (5) sürdürülebilir akıllı ulaşım,
- (6) sürdürülebilir tarım,
- (7) temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı,
- (8) diplomasi,
- (9) Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri ana başlıkları altında 81 eylem planı bulunmaktadır (YMEP, 2021).

Ülkemizde Paris Anlaşması 22 Nisan 2016 tarihinde imzalanmış ve 7 Ekim 2021 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda hazırlanan Ulusal Katkı Beyanı'na göre, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının referans senaryo (BAU) artışına göre %41 oranda azaltılması öngörülmektedir. 2053 yılında ise net sıfır emisyon hedeflenmektedir (ÇŞİB, 2023a). AB tarafından yayınlanan Yeşil Mutabakat ve ülkemizde yürürlüğe giren Paris anlaşması çerçevesinde taahhüt edilen emisyon artışındaki azalmayı ve çevresel etkileri azaltmak için özellikle imalat sanayinde hem çevre ve doğal kaynakların korunması hem de sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için temiz üretim ve döngüsel ekonomi yaklaşımı benimsenmeye başlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar ve TÜBİTAK MAM saha çalışmaları ve temiz üretim etütlerindeki gözlemleri vasıtasıyla temiz üretim ve döngüsel ekonomi kavramı açıklanarak, imalat sanayinde enerji, su ve hammadde tasarrufu konularında yapılabilecek iyileştirme olanaklarının derlenmesidir.

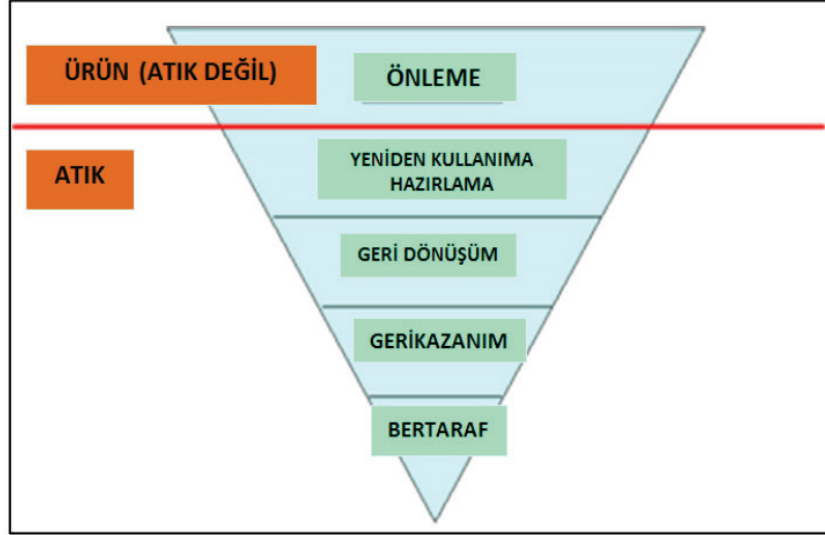
1.1. Döngüsel Ekonomi

Döngüsel ekonomi, endüstriyel bir ekonomi olarak tanımlanmakta olup genel olarak kaynakların döngüsel bir şekilde yönetilmesidir. Döngüsel ekonomi, toplumun mevcut ve gelecekteki gereksinimlere yanıt olarak kaynak tüketiminin azaltılmasına olanak tanırken, kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmasına yardımcı olur. Döngüsel ekonomide, atık önleme, endüstriyel simbiyoz, geri dönüşüm, geri kazanım (malzeme ve enerji) ve yeniden kullanım gibi uygulamalar ile gerçek gereksinimleri karşılamak için tüketim ayarlanırken toplumun kaynaklarının değerini en üst düzeye çıkarılması hedeflenir. Böylece birincil kaynaklara yönelik talep optimize edilirken çevreye etki ve enerji kullanımı da azaltılmış olur (PAGEV, 2015).

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Döngüsel ekonomi yaklaşımı arasında güçlü bir sinerji olup, hedeflere ulaşılması amacıyla döngüsel ekonomi uygulamalarının artırılmasının önemi vurgulanmaktadır. Sanayi açısından bakıldığında ise döngüsel ekonomi yaklaşımının işletmelere ve ülke ekonomilerine önemli katkıları olduğu değerlendirilmektedir. Sanayi politikalarında ve eylem planlarında da önemli bir yere sahiptir.

“Atık Yönetimi” ifadesi, atığın bertaraf edildikten sonra gerçekleşen çeşitli işlemleri tanımlamak için kullanılır. Bu işlemler arasında atığın kaynağında azaltılması, özelliklerine göre ayrılması, toplanması, ara depolanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve kontrolü gibi adımlar yer alır (AYY, 2015).

Atığın oluşumunu kaynağında önlemek, bu yapılamıyorsa atığı azaltmak, atık oluşumu kaçınılmazsa atığı geri kazanmak Türkiye'nin atık yönetimi politikasının temel ilkelerindedir (Şekil 2).

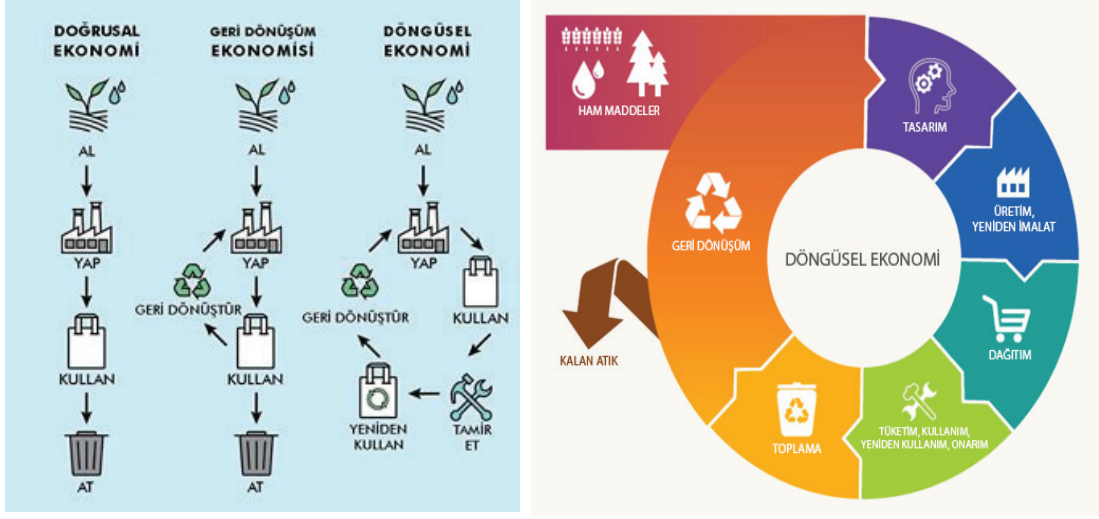


Şekil 2. Atık yönetimi hiyerarşisi (EU, 2008)

Atıklarımızı sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde yönetmek ve gelecek nesillere temiz, kalkınmış bir Türkiye ve yaşanabilir bir dünya bırakmak için 2017 yılında ülke genelinde “Sıfır Atık Projesi” hayata geçirilmiştir.

“Sıfır Atık Projesi”nin amacı, kaynakların korunması, israfın önlenmesi veya atık oluşumunun azaltılması sonucunda oluşan atıkların mümkün olan en düşük seviyede geri dönüşümünü sağlamaktır. Ayrıca, “Sıfır Atık Projesi”, “Endüstriyel Simbiyoz” ve “Atık Borsası”nı teşvik etmektedir. Türkiye, 2019’dan bu yana sürdürülebilirlik bayrağı altında döngüsel bir ekonomi uygulama yolunda ilerlemektedir. Özellikle AB’nin Yeşil Mutabakatı zorunlu tutması, iklim değişikliği ve kuraklıklar (yüksek sıcaklıklar) nedeniyle bu kavram ön plana çıkmıştır (Balbay vd., 2021).

Lineer ekonomi değerlendirilirken “al-kullan-at” modeli kullanılırken döngüsel ekonomi tüm kaynakları (enerji, hammadde, su vb.) daha uzun süre ve daha verimli kullanmayı amaçlar. Döngüsel ekonomi ile endüstriyel simbiyoz gibi yöntemler uygulanarak tüketim sonu ya da üretim kaynaklı atıklar/atık ısı sektörler arası iş birliği ile döngü içerisinde tutularak birbirleri arasında değerlendirilmektedir (Şekil 3). Böylece atık azaltımı ve enerji verimliliği de sağlanabilmektedir (İDER, 2020; DEP, 2023).



Şekil 3. Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı (İDER, 2020)

Döngüsel ekonomi üç temel konu başlığında ele alınmıştır. Bunlar:

a-Hammadde: Malzeme kullanımının en aza indirilmesi ve optimize edilmesi, endüstriyel simbiyoz, yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden dağıtım, yenileme, bakım, onarım, hizmetler ve daha fazlası dahil olmak üzere ham maddelerden en iyi şekilde yararlanmanın birçok etkili yolu vardır.

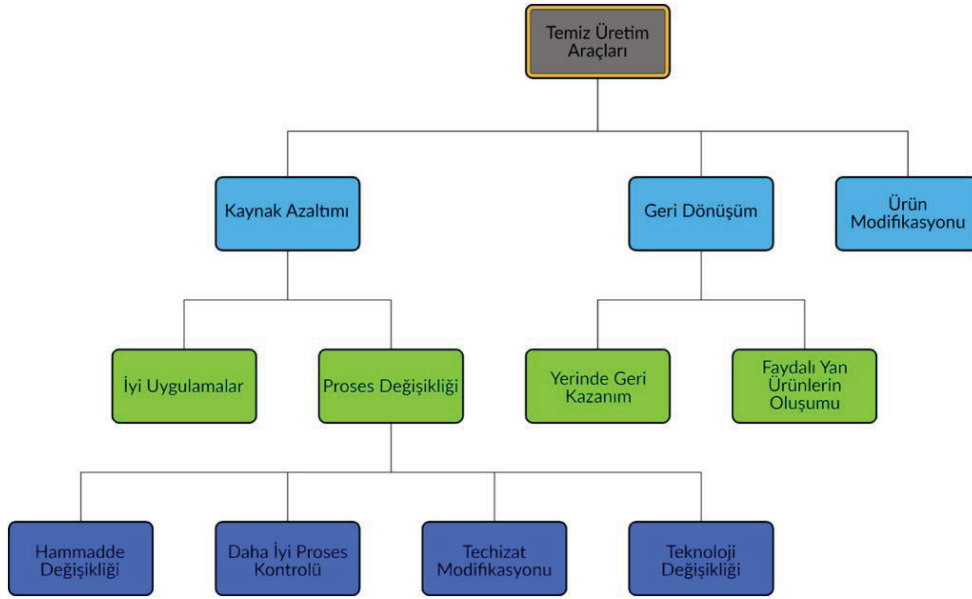
b-Tasarım: Kaynakların tasarruflu şekilde kullanılabilmesi için iyi bir tasarım gerekmektedir. Eko-tasarım gerekliliklerinin kapsamı, ürünlerin artan enerji verimliliğini, tamir edilebilirliğini, yükseltilebilirliğini, dayanıklılığını ve geri dönüştürülebilirliğini kapsar.

c-Tedarik zinciri: i) Malzeme kullanımını en aza indirmek için ürün ve süreç tasarımlarını yeniden tasarlamak, ii) Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması, iii) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, iv) Yalnızca miktarları azaltmaya odaklanmak yerine zayıflıklarını ve zayıflıklarını belirleyerek tedarik zincirinin verimliliğini artırmak olarak sıralanabilir (İDER, 2020).

Ancak 2023 yılında yayımlanan “Döngüsellik Boşluk Analizi” Raporunda küresel ekonominin döngüsellik oranının 2018 ve 2020 yılları süresince %9,1’den %8,6’ya düştüğü her geçen yıl azalmakta olduğu vurgulanmaktadır. 2023 raporunda ise küresel ekonominin döngüsellik oranının %7,2 olduğu ifade edilmiştir. Bu duruma sebep olarak malzeme eldesi ve kullanımının artışı vurgulanmaktadır. Raporunda, artmakta olan bu malzemelerin geri dönüşüm oranlarının az olmasına da dikkat çekilmektedir (DEP, 2023).

1.2 Temiz Üretim

Temiz üretim, birim üretim için doğal kaynakların kullanımının azaltılması ve yüksek verimli üretim teknikleri kullanılarak atık üretiminin azaltılması ilkelerine dayanmaktadır. Bir başka deyişle, temiz üretim sadece çevre kirliliğini önlemek için değil ekonomik anlamda da işletmelere katkı sağlamaktadır. Temiz üretim, geleneksel kirlilik yönetimi yöntemlerinden farklı olarak, kirliliği basitçe yönetmek yerine, kirliliği kaynağında önlemeyi ve en aza indirmeyi amaçlar. Ekonominin ve toplumun gelişmesiyle birlikte, temiz üretimin sınırı bazı multidisipliner alanları kapsayacak şekilde genişletilmiştir (Giannetti vd., 2021). Temiz üretim, sera gazı emisyonlarının ve atık (atıksu) azaltımı ile ilgilenirken aynı zamanda, sürdürülebilir teknoloji, ekonomik dinamikler ve sosyal normlar açısından bazı süreçlere daha fazla odaklanır (Pradhan vd., 2021). Kaynağında kirliliği azaltma, gerek üretim proseslerinde gerekse ürünlerde değişiklikler yaparak sağlanır. Maliyeti düşüren uygulamalar, hammaddenin nitelik ve miktarında değişiklikler, yenilikçi ve çevreci teknolojilerin kullanılması proses değişikliklerinde izlenebilecek stratejilere örnek olarak verilebilir (Çelikli, 2016; Demirer, 2001). Süreç entegrasyonu, modelleme ve optimizasyon yoluyla sürdürülebilir temiz üretim, enerji tasarrufu (Friedler, 2010), genel kirliliğin azaltılması (Varbanov vd., 2018), proses endüstrisi yönetimi (Mbatha vd., 2021) ve hatta ortaya çıkan kirlenici madde yönetimi (Tong vd., 2022) ile günümüzde ön plana çıkmıştır (Fan vd., 2018). Temiz üretim, sürdürülebilirlik kavramı ile iç içedir. Şekil 4’te temiz üretim araçlarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Temiz Üretim araçları (Silva vd., 2019)

Temiz üretim uygulamaları, bir ürün yaşam döngüsünün birçok aşamasında (hammadde temini, üretimi, kullanımı ve kullanım sonrası bertarafı) gerçekleştirilir. Bu bağlamda temiz üretim uygulamaları birçok meslektan ekip çalışmasını gerektirmektedir. Temiz üretim araçları, üç ana başlık altındaki teknikleri içermektedir.

Bu teknikler genel olarak aşağıdaki beş başlık altında açıklanabilir.

- Kaynak Azaltımı
 - o İyi uygulamalar ve proses değişikliği
- Geri Dönüşüm
 - o Yerinde geri kazanım ve faydalı ürünlerin oluşumu
- Ürün modifikasyonu (Silva vd., 2019)

2. Dünyada ve Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamaları

Temiz üretim konusunda kurumsal yapının oluşturulması 90’lı yıllarda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Teknoloji, Endüstri ve Ekonomi Bölümü’nün Temiz Üretim Programı’nı başlatmasıyla sağlanmıştır. Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO ve UNEP iş birliğinde 1995 yılında Ulusal Temiz Üretim Merkezleri Programı (NCPC) başlatılmıştır. Hindistan, Tanzanya, Çin, Meksika, Çek Cumhuriyeti, Brezilya, Slovakya ve Zimbabve temiz üretim merkezlerini kuran ilk ülkeler olmuştur (UNEP-UNIDO, 2015). Ulusal Temiz

Üretim Merkezleri, uygulamış oldukları eğitim programları, donanımları geliştirmeye yönelik faaliyetleri, yayımlanan kitapları ve diğer faaliyetleri ile temiz üretim kavramının ulusal ve bölgesel anlamda gelişmesi için önemli çalışmalara imza atmışlardır (Atak, 2014; Ulutaş vd., 2011). Temiz üretim merkezlerinin yıllık ortalama 400 bin USD gelir elde ettiği ifade edilmektedir. Merkezler incelendiğinde Kore Endüstriyel Teknoloji Enstitüsü'nün yılda 2,2 milyon USD ile en fazla gelir getiren merkezlerin başında olduğu gözlenmiştir. 1989 yılında KOBİ'lerin teknolojik altyapısını geliştirmek için devlet desteğiyle kurulan enstitü, büyüyerek Kore'nin en büyük araştırma kuruluşu haline geldi. Merkez, sürdürülebilir üretim sistemleri ve ileri üretim teknolojileri ve alanında Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir. Bununla birlikte özel sektöre teşvik sağlamak ve eko-endüstriyel parkların dönüşümü, temiz üretim bilgi ağının kurulması ve temiz üretim teknolojisi geliştirme gibi ulusal ölçekli büyük programlar yürütmektedir (KITECH, 2020).

“Sürdürülebilir tüketim ve üretim” fikri, özellikle AB ülkelerinde giderek daha fazla öne çıkmaktadır. “Sürdürülebilir tüketim ve üretim” olarak adlandırılan bu kavram, “temiz üretim” ve “sürdürülebilir tüketim süreçleri” fikirlerini birleştirir. Burada, en önemli zorlukların, ürünlerin tüm yaşam döngüleri boyunca çevresel performansını artırmak, daha iyi mallara ve üretim tekniklerine yönelik talebi artırmak ve bilinçli seçimler yapabilmeleri için tüketicileri eğitmek olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır (Atak, 2014,; Atımtay ve Kentel, 2010). AB'nin sürdürülebilir tüketim ve üretim politikasının temelini oluşturan temel yaklaşım, entegre ürün politikası ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı etrafında şekillenmektedir. Ek olarak, tematik stratejisi atık önleme ve geri dönüşüm etrafında döner (Atak, 2014; Ulutaş vd., 2011).

AB, bu politikalara uygun olarak 2008 yılında “Temiz Tüketim ve Üretim ve Sürdürülebilir Sanayi Politikası Eylem Planı”nı yayınlamıştır. Bu eylem planı, kaynak verimliliği, ürün performansı ve eko-inovasyon gibi kavramların geliştirilmesini sağlayacak şekilde düşük karbonlu ve temiz teknolojinin, sürdürülebilir ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini ve tüketici davranışının değiştirilmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca dünya genelinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına yardımcı olacak temiz üretim politikaları geliştirmeyi hedeflemektedir (Atak, 2014; TTGV, 2009).

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve TTGV tarafından 1999 yılında başlatılan ilk çalışmalarla 1990'lı yılların sonlarından itibaren temiz üretim anlayışının benimsenmesi yolunda ilk adımlar atılmıştır. Temiz üretim kavramı öncelikli bir alan olarak kabul edilmektedir. TÜBİTAK'ın Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüler Projesi kapsamında hazırlanan Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli Yön ve Öngörü Raporu'nda ulusal bilim ve teknoloji politikalarının oluşturulmasından sorumlu öncü kurum Bilim ve

Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından vurgulanmıştır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi bünyesinde yer alan mülga Çevre Enstitüsü yeniden yapılandırılarak mülga Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü olmuştur. Akabinde mülga Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen Temiz Üretim Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezi (TÜTMM) projesi ile enerji verimliliği, atık ve atıksu geri kazanım laboratuvarları tesis edilmiş olup ayrıca çevresel etki analizi altyapısı kurulmuş, yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmektedir. Söz konusu merkez işletmelerle doğrudan teknik danışmanlık sağlamakla birlikte teknoloji gelişimi ve Ar-Ge projeleri üzerine çalışmaktadır.

2.1 İmalat Sanayinde Kaynak Verimliliği

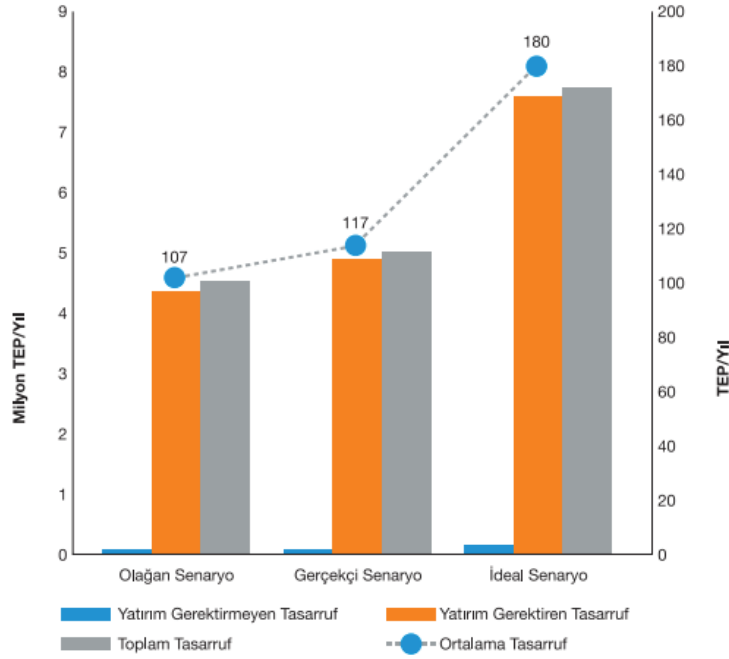
Türkiye imalat sanayinin mevcut durumu incelendiğinde, 2021 yılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı Ulusal Enerji Denge Tablosu'na göre imalat sanayinde toplam enerji tüketimi 36,3 Milyon TEP olup “Metalik Olmayan Mineral Ürünleri İmalatı” ve “Ana Metal Sanayii” sektörleri %29’ar pay ile 10,4 Milyon TEP enerji tüketmektedir. Söz konusu sektörler içerisinde de %76 ile “Çimento Ürünleri İmalatı” ve %88 ile “Demir Çelik Ürünlerin İmalatı” alt sektörleri en çok enerji tüketmektedir (UEDT, 2021).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Sera Gazı Emisyon İstatistikleri Raporu'na göre ise 2021 yılında toplam sera gazı emisyonları bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eq.) olmuştur. Toplam sera gazı emisyonlarının en büyük kısmını %71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar oluştururken, bunu %13,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,8 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü izlemiştir (TÜİK, 2021).

Ülkemizde 2014-2017 yılları arasında mülga Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen ve mülga TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından yürütülmüş olan “Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi”nde imalat sanayinde hammadde tasarruf potansiyeli parasal olarak enerji ve su tasarruf potansiyeli ise miktarsal ve parasal olarak tahmin edilmiştir.

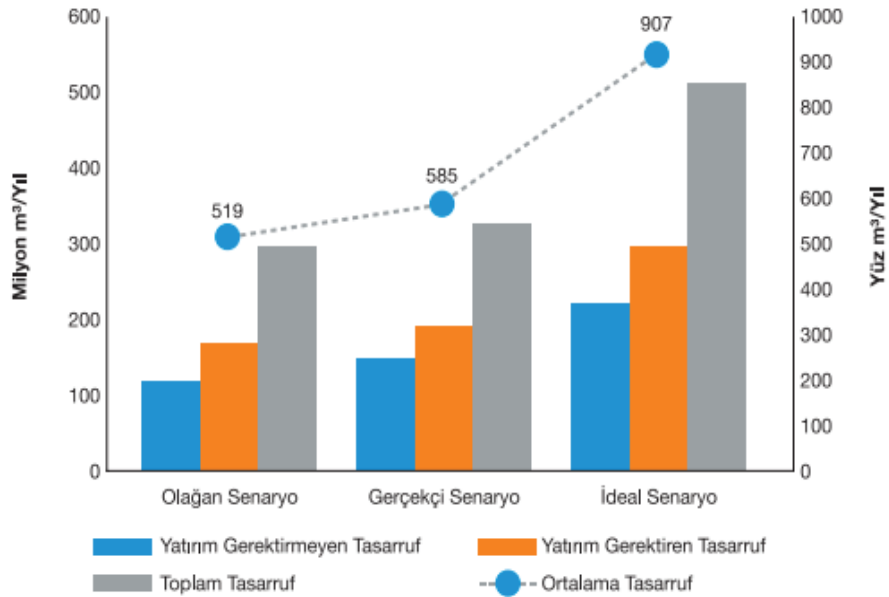
Proje kapsamında ele alınan seçili beş sektör NACE Rev.2 sınıflandırmasına göre (10) Gıda ürünlerinin imalatı, (13) Tekstil ürünlerinin imalatı, (20) Kimyasalların ve kimyasal ürünlerinin imalatı, (23) Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı ve (24) Ana metal sanayiidir. Bu sektörlerden analizler ile elde edilen veriler diğer alt sektörler ile benzetim yapılarak imalat sanayine genelleme çalışması yapılmıştır.

İmalat sanayinde enerji için yapılan farklı senaryolar altında yapılan analizler sonucunda tahmin edilen tasarruf potansiyeli, yaklaşık 4,6 milyon TEP/yıl ile 7,8 milyon TEP/yıl arasında değişmektedir. Türkiye imalat sanayinde işletme bazında enerji tasarruf değeri ise senaryolara göre ortalama 107 TEP/yıl ile 180 TEP/yıl arasında değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Türkiye imalat sanayinde senaryolar bazında enerji tasarruf potansiyeli (Karahan vd., 2017).

Su tasarruf potansiyeli ise 297 milyon m³/yıl ile 519 milyon m³/yıl arasında değişmektedir (Şekil 6). Türkiye imalat sanayinde işletme bazında su tasarruf miktarı ise ortalama 519 m³/yıl ile 907 m³/yıl arasında değişmektedir (Karahan vd., 2017).



Şekil 6. Türkiye imalat sanayinde senaryolar bazında su tasarruf potansiyeli (Karahan vd., 2017).

Tahmin edilen kaynak tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda çevresel faydalar da sağlanacaktır. Senaryolara göre, çevresel etkide %4,4 ile %23,5 arasında bir azalma sağlanabileceği ve eko-verimlilikte %12 ile %25 arasında bir artış sağlanabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada özetlenen tahmini tasarruf potansiyeli ve doğrudan çevresel etkilerin yalnızca kapıdan kapıya fabrika içi üretim faaliyetlerini kapsadığına dikkat etmek önemlidir (Partal vd., 2017).

3. İmalat Sanayinde Temiz Üretim Uygulamaları

3.1. Enerji Verimliliği Uygulamaları

Yüksek enerji tüketimi ve maliyeti açısından imalat sanayi, enerji verimliliği ve tasarruf çalışmalarında önceliklidir. Enerji verimliliği; ısı, buhar, gaz, hava ve elektrikte enerji kayıplarını önleme, atık ısının geri dönüşümü ve kullanımı, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler ve enerji geri kazanımı ile üretimi azaltmadan enerji talebini azaltma gibi verimliliği artırıcı önlemlerin bütünüdür. Böylece, ürün başına tüketilen enerji maliyeti azaltılmaktadır. 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nun temel amacı, enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasının sağlanmasıdır. Bu yasa ile israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomik yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmaktadır. Ulusal Enerji verimliliği Eylem Planı'nda (2017-2023) sanayi için mevcut durum ve eylem planları yer almaktadır. Sanayi için özellikle aşağıdaki konulara önem verilmiştir.

- Kojenerasyon sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesinin teşvik edilmesi.
- Alternatif yakıt kullanımının teşvik edilmesi.
- Endüstriyel simbiyozun, geri dönüşümün ve ikincil hammaddelerin kullanımının kolaylaştırılması.
- Çeşitli sektörler, prosesler, makine ve ekipmanlar için minimum enerji performans standartları oluşturarak enerji verimli makine ve ekipman kullanımının teşvik edilmesi.
- Türkiye'ye uygun mevcut en iyi teknikleri ve uygulamaları belirleyerek sektöre özel en iyi uygulama kılavuzlarının geliştirilmesi
- Kapsamlı analizlere dayalı olarak alt sektörler için detaylı enerji yoğunluğu hedeflerinin belirlenmesi ve ilerleme kaydettikçe revize edilmesi.
- Endüstri 4.0 dönüşümünde Nesnelerin İnterneti altyapısına geçiş planlamasında enerji verimliliği, süreç verimliliği ve rekabet edebilirliğe öncelik verilmesi.
- Elektrik motorlarında enerji verimliliğinin artırılması (UEVEP, 2023).

3.1.1 Flaş Buhar Geri Kazanımı

Flaş buhardaki enerjinin geri kazanımı buhar kazanı kullanan tüm işletmeler için önem arz etmektedir. Yüksek basınç altındaki sıcak kondens suyu veya kazan suyu blöfü, daha düşük bir basınca serbest bırakıldığında, bir kısmı tekrar buharlaşır. Eğer basınç düşürülürse, belirli bir miktarda hissedilir ısı serbest kalır. Bu fazla ısı, gizli ısı şeklinde emilerek, kondens suyunun bir kısmını buhara dönüştürür. Bu buhara “flaş buhar” adı verilmektedir. Flaş buharın bünyesinde, kullanılabilir önemli miktarda ısı enerjisi vardır. Bu ısı enerjisi kullanılmadığı takdirde, büyük miktarda enerji kaybı meydana gelir (TMMOB, 2022). TÜBİTAK MAM tarafından gerçekleştirilen etüt çalışmalarında flaş buharın geri kazanılmadan direk havaya serbest bırakıldığı gözlenmiştir. Örnek bir flaş buhar enerjisi geri kazanım hesabı aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 7. Flaş buhar (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etütleri)

Saatlik Buhar Kullanımı	:	6.500	kg/h
Ortalama Kondens Dönüş Miktarı	:	4.550	kg/h
Oluşan Flaş Buhar Miktarı	:	352	kg/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	300	ton/yıl
Toplam Parasal Tasarruf	:	899.808	TL/yıl
Proje Yatırım Bedeli	:	550.000	TL
Geri Ödeme Süresi	:	0,6	Yıl
Karbon dioksit emisyon/kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	558	ton/yıl

3.1.2 Blöf Enerjisinin Geri Kazanımı

Kazanlara verilen su tamamen saf değildir. Sudaki katı maddeler, erimiş halde ve süspansiyon halinde bulunurlar. Kazana verilen besi suyu; su yumuşatma, ters ozmoz veya demineralize su sisteminde arıtılmış olsa bile sertlik ve iletkenlik açısından tamamen sıfır olmaz. Kazanda buhar üretimi devam ettikçe bu maddeler buhar ile taşınmadığından, konsantrasyonları zamanla artar. Blöf yolu ile kazandan atılmazlarsa, ısı transfer yüzeylerinde sert birikintiler oluştururlar. Bu maddelerden, süspansiyon halinde olanlar dibе çökerler. Bunlar dip blöfü (kesikli blöf) ile kazandan atılırlar. Erimiş halde olanlar ise su yüzeyinde toplanırlar. Bunların da tamamen alınması mümkün değildir. Bir kısmı yüzey blöfü (daimi blöf) ile bir kısmı dip blöfü ile dışarı atılırlar (TMMOB, 2022). Örnek bir blöf enerjisi geri kazanım hesabı aşağıda sunulmaktadır.

Ortalama Kapasite (buhar)	:	6.000	kg/h
İşletme basıncı	:	6	barg
Buhar sıcaklığı	:	165	°C
Besi suyu (TDS) değeri	:	60	µs/cm
Mevcut kazan suyu TDS değeri	:	5.000	µs/cm
Kullanılan yakıt	:	Kömür	

Blöf miktarının hesaplanması:

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{F \times S}{B - F}$$

F: Besi suyu TDS değeri
B: İstenilen / mevcut kazan suyu TDS değeri
S: Kazan kapasitesi

$$\text{Blöf Miktarı} = (60 \times 6.000) / (5000 - 60) = 73 \text{ Kg/h}$$

Bu blöfün enerjisini geri kazanmak mümkündür. 6 bar basınçta 73 kg/h kapasiteli kazan suyunun dışarı atılması oluşan flaş buhar, degazör ısıtılmasında kullanılabilir. Kalan kondens ise (100 °C) kazan make up suyunu ısıtabilmektedir.

Blöf ile Dışarı Atılan Kondens	:	73	kg/h
Blöf Basıncı	:	6	bar
Blöf Entalpisi	:	165,6	kcal/kg
Flaş Buhar Basıncı	:	0,5	bar
Buharlaştırma Entalpisi	:	532	kcal/kg
0,5 Bar Kondens Entalpisi	:	111,9	kcal/kg
Blöf ile Açığa Çıkan Enerji	:	Blöf miktarı x (Blöf entalpisi-0,5 Bar kondens entalpisi) 3.912 kcal/h	
Blöf ile Oluşan Flaş Buhar (0,5 Bar)	:	Blöf ile açığa çıkan enerji / Buharlaştırma entalpisi 3.912 / 532 = 7 kg/h	

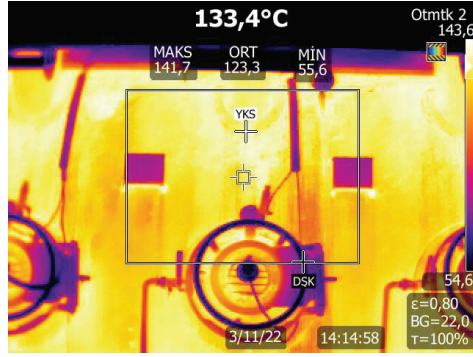
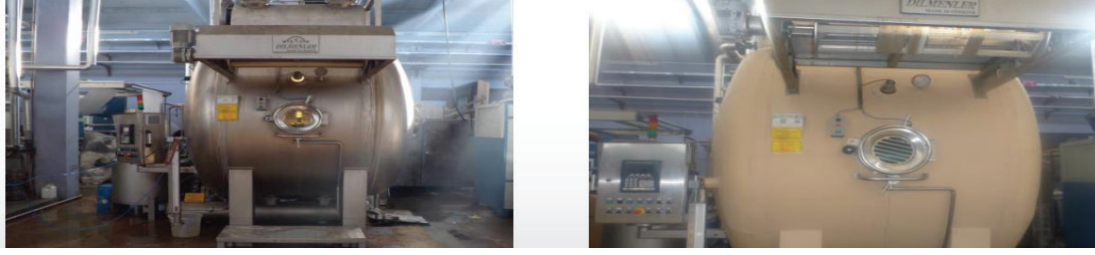
73 kg/h blöfün 7 kg/h'i flaş buhar olarak kullanılırken kalan 66 kg/h'i (100°C) make up suyunun ısıtılmasında kullanılabilir. 66 kg/h, 100 °C sıcaklıktaki blöf suyunun enerjisini 50 °C'ye düşürerek 3.276 kcal/h ($Q=m.c.\Delta T$), enerji kazanmak mümkündür. Blöf ile hem flaş buhar ve hem kalan blöf suyundan toplamda 7.188 kcal/h enerji alınabilir.

Q_{TOPLAM}	:	7.188	kcal/h
Kömür Tasarrufu	:	$Q_{TOPLAM} / H_u \cdot \eta$	
H_u	:	Kömür kalorifik değer, 4.500 kcal/kg	
η	:	%75	
Kömür Tasarrufu	:	2,1	kg/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	15	t/yıl
Kömür Birim Fiyatı	:	3.000	TL/ton
Parasal Tasarruf	:	46.001	TL/yıl
Yatırım Maliyeti	:	300.000 TL (Tesisat maliyetleri dahil edilmemiştir.)	
Geri Dönüş Süresi	:	6,5	Yıl
Emisyon Faktörü	:	1,86	ton CO ₂ /ton kömür
Önlenen Karbon Dioksit Emisyonu	:	29	ton CO ₂ /yıl

3.1.3 Termal kayıpların önlenmesi

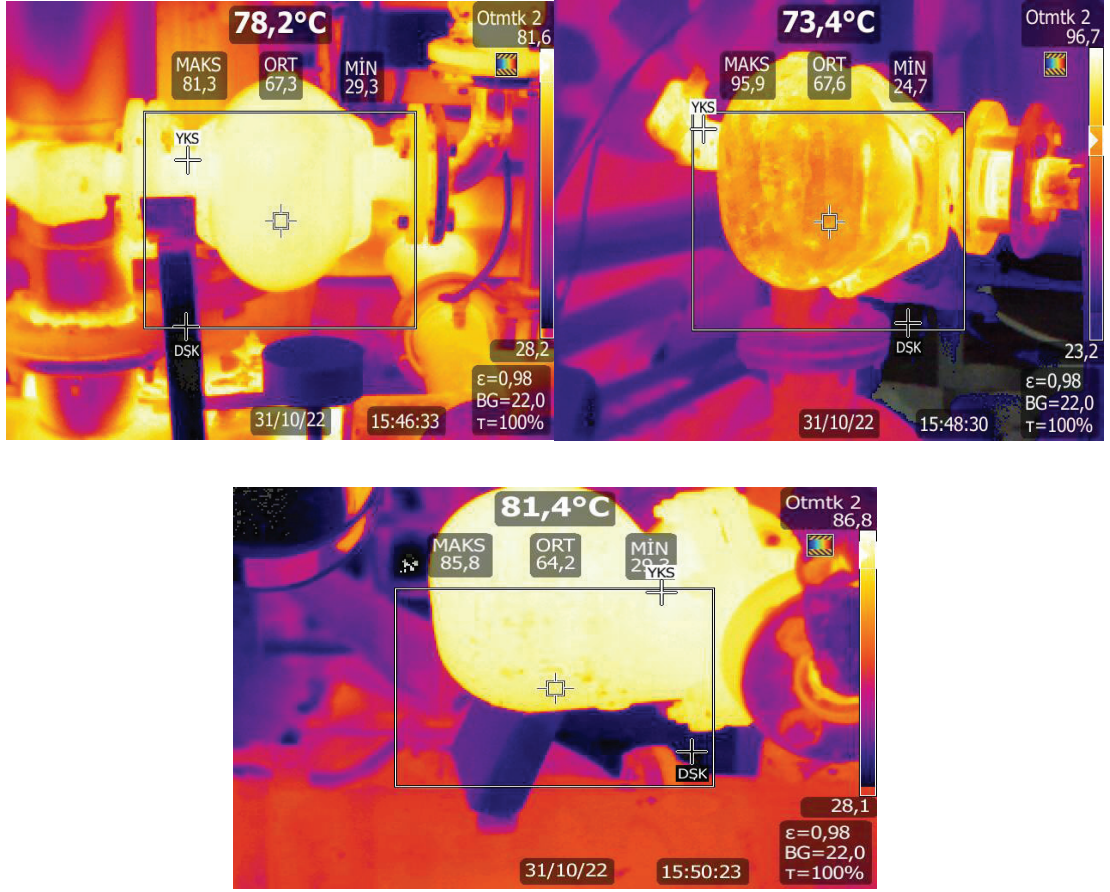
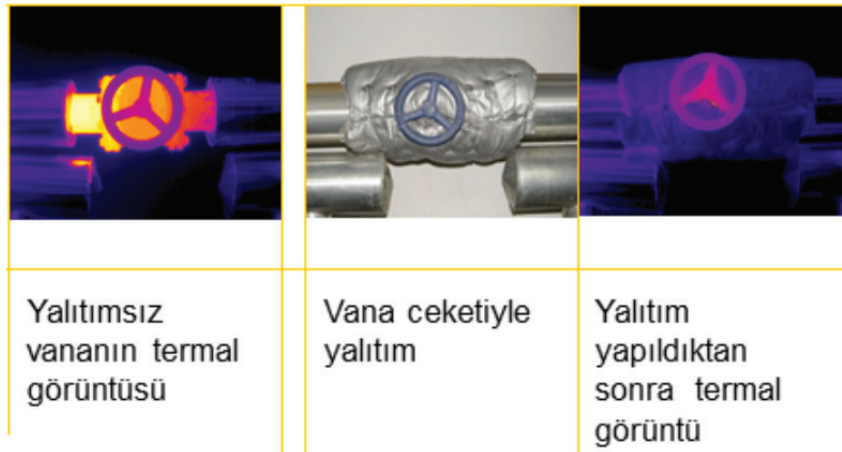
Kazanların izolasyonu

İstenmeyen ısı enerjisi kayıplarını ve sızıntılarını önlemek için kazanların duvarlarının, yanma bölgelerinin ve boru hatlarının ısı yalıtım malzemeleri ile yalıtılması esastır. Örnek bir HT makinası yalıtım hesabı aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 8: HT makinalarının izolasyonu (TÜBİTAK MAM saha çalışanları-Temiz üretim etiütleri)

Toplam Yüzey Alanı (A)	:	371,6	m ²
Ortalama Yüzey Sıcaklığı (Ts)	:	65°C = 338,15	K
Ortam Sıcaklığı (Ta)	:	30°C = 303,15	K
Yalıtım Sonrası Hedeflenen Yüzey Sıcaklığı (Ty)	:	40°C = 313,15	K
Birim Enerji Tasarrufu	:	81.343	kCal/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	130	ton/yıl
Yıllık Parasal Tasarruf	:	390.445	TL/yıl
Yalıtım Maliyeti	:	551.826	TL/yıl
Geri Ödeme Süresi	:	1,4	yıl
Karbon dioksit emisyon/kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	242	tonCO ₂ /ton

Buhar hatlarında vana izolasyonu**Şekil 9.** Vana sıcaklık değerleri (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etütleri)**Şekil 10.** Buhar hatlarında vana izolasyonu (TMMOB, 2022)

3.1.5 Baca Gazından Atık Isı Geri Kazanımı

Yüksek enerji yoğun işletmeler için atık ısı enerji tüketimi, dikkatle değerlendirilmesi gereken önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli sunar. Bir ekonomizör/geri kazanım sistemi uygulanarak, kazanlardan ve fırınlardan yayılan sıcak akımlarda bulunan ısının bir kısmının geri kazanılması ve bacada kaybolmak yerine tekrar verimli kullanıma yönlendirilmesi mümkün hale gelir.

- Baca gazındaki her 20°C'lik artışta verim kaybı %1'dir.
- Kazana ekonomizör ekleyerek %2-10 arasında iyileşme sağlanabilir
- Yanma havasında her 28°C artış ile verimde %1 iyileşme sağlanır (TMMOB, 2022).

Baca Gazı Sıcaklığı	:	230	°C
Baca Gazı Debisi	:	20.000	m ³ /saat
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	:	160	°C
Geri Kazanılabilir Enerji	:	336.016	kcal/saat
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	537,6	ton/yıl
Yıllık Parasal Tasarruf	:	1.612.875	TL
Yatırım Bedeli	:	1.375.000	TL
Geri Ödeme Süresi	:	0,9	yıl
Karbondioksit Emisyon/Kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	1.000	ton CO ₂

3.1.6 Çimento Sektörü-Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) Kullanımı

ATY hazırlama ünitesi, endüstriyel ve evsel atıklardan yanıcı olmayan kısımların yanıcı olan kısımlardan ayrılması işlemini gerçekleştirir. ATY üretmek için, cam, metal ve taş gibi tüm yanıcı olmayan malzemeleri çıkarmak için atıkların parçalanması ve dikkatli bir şekilde ayrılması gerekmektedir. Atık parçalandıktan ve ayrıldıktan sonra, yanıcı kısım yakıt olarak peletlere dönüştürülür. Bu işlemin asıl amacı, kömürle çalışan kazanlara/fırınlara kömürle karıştırılmaya uygun bir yakıt üretmektir. ATY, yanıcı kısmın etkin bir şekilde yanabilecek ve özellikle bir çimento fabrikasında kullanılan enerjiyi oluşturabilecek bir forma getirilmesiyle oluşur (Breeze, 2019). İşletmelerin ATY kullanmak istemesinin amacı, döner fırın prosesine beslenen kömür miktarını azaltarak CO₂ salımını düşürmektir.

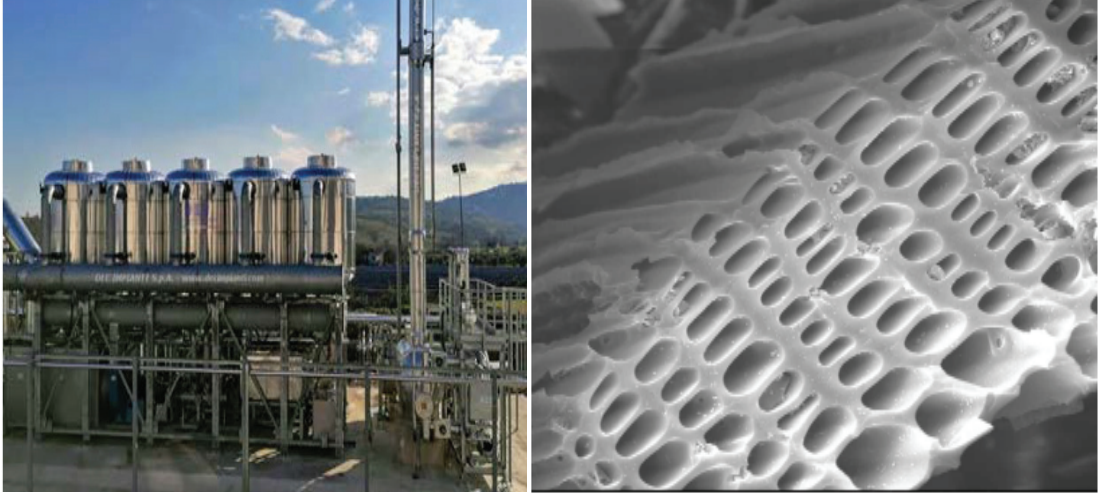
3.2. İmalat Sanayinde Hammadde/Kimyasal Geri Kazanımı

Hammadde, enerji ve su gibi değerli ve sınırlı kaynaklar, yaşamın olduğu kadar sanayinin de ana girdilerini oluşturmaktadır. Hammadde kullanımını/sera gazlarını azaltmak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Ham madde kayıplarının prosesler bazında izlenmesi ve tedbirlerin alınması,
- Ham maddelerin uygun şartlarda depolanması ve saklanması,
- Ham maddelerin işletmelere uygun şekilde taşınması,
- İkame ham madde kullanımı,
- Artıkların kategorize edilmesi. Artıkların farklı alt sektör ve/veya sektörlerde birbirleri arasında kullanımlarının değerlendirilmesi
- Üretim hatlarında dozajlama ve reçetelerin otomasyonla takip edilmesi (EC, 2003)

3.2.1 Solvent Geri Kazanımı

Ambalaj üretim sektöründe solvent geri kazanım çalışmaları yapılmaktadır. Baskı ve lamine sürecinde çözücü olarak çeşitli solventlerin kullanıldığı ve baca gazı ile atmosfere salınan bu solventlerden etil asetat, etil alkol vb. solventler geri kazanım tesisi ile geri kazanılmaktadır. Mevcut en iyi teknikler dokümanında 35 adsorpsiyon sisteminden elde edilen verilere göre maksimum ve minimum geri kazanım verim aralığı %80-99,9 civarındadır (BAT, 2020).



Şekil 11. Solvent geri kazanım

3.3. İmalat Sanayinde Su Geri Kazanımı

Küresel olarak, çekilen suyun yaklaşık %20'si sanayi için kullanılmaktadır. Ülkemizde TÜİK'in 2020 yılı verilerine göre bu oran %7,8'dir (tatlı su kaynaklarından).

2020 yılı verilerine göre imalat sanayi işyerleri tarafından 2,6 milyar m³ su çekilmiştir ve 2,04 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir (TÜİK, 2020). Su kaynakları daha etkin ve verimli kullanılmazsa, 2030’lu yıllarda Türkiye’nin su kıtlığı yaşama olasılığı yüksektir.

Ülkemizde imalat sanayi tesislerinde en önemli problemlerden biri ölçüm ve izlemenin yetersiz olmasıdır. Özellikle prosesler bazında su tüketiminin ölçülmesi, verilerin kayıt altına alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece su tüketiminin yüksek olduğu prosesler belirlenip iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca koruyucu bakım-onarım programları yapıp atıksuyun artırarak yeniden kullanımı sağlanmalıdır.

3.3.1 Su Geri kazanımı

Üretim faaliyetleri sonucunda oluşan endüstriyel atıksular fiziksel, biyolojik ve kimyasal olarak arandıktan enerjilendirilmiş oksijen teknolojisi sonrası MBR arıtımı ve ters ozmoz membran filtrasyonu ile su geri kazanımı sağlanabilmektedir. Ters ozmoz membran filtrasyonu işleminde ortaya çıkacak membran konsantrelerinde tekrar ters ozmoz membran filtrasyonu ile artırarak deşarj edilen su miktarı azaltılmaktadır. Şekil 12’de verilen ters ozmoz yatırımıyla ham su kaynağının yaklaşık %80 civarı ikame edebilmektedir.



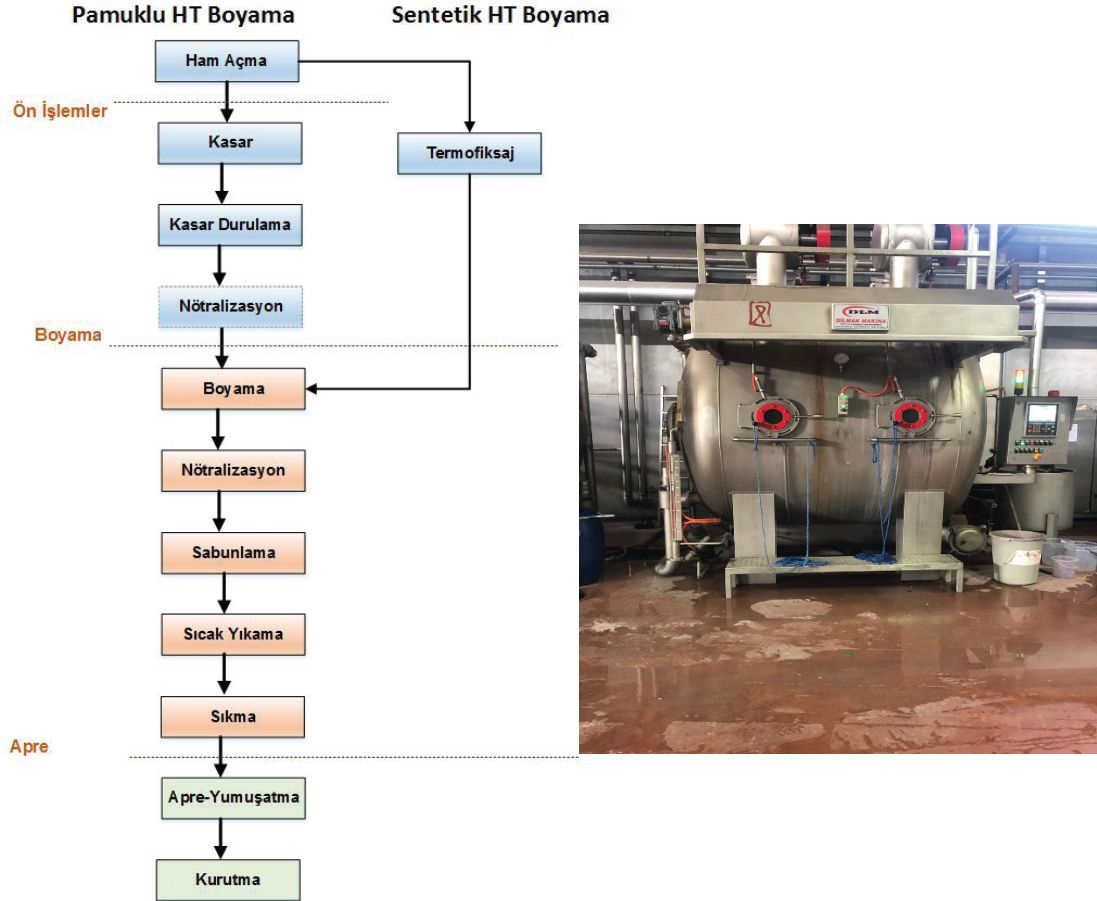
Şekil 12. Ters ozmoz (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etitleri)

3.3.2 Tekstil Sektöründe Su Geri kazanımı

2022 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Hakkında Genelge” yayımlanmıştır. Bu genelge, proseslerden kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin azaltılması için sektörde temiz üretim teknolojilerinin benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Tekstil işletmelerinde boya banyosu atık suyundan rengin

uzaklaştırılması ile birlikte kumaş boyama ve yıkamada tuzlu suyun tekrar kullanılmasına olanak sağlayan yöntemlerin kullanılması zorunlu bir uygulama haline gelmiştir. Bu önlem, endüstride atıksu renk giderimini ele almayı ve arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Genelge ayrıca, soğutma sularının ve düşük kirletici yüklü atık suyun ayrı toplanmasını ve optimum şekilde yeniden kullanılmasını ve ayrıca arıtılmış atık suyun ilgili alanlarda potansiyel olarak yeniden kullanılmasını gerektirir (ÇŞİB, 2023b). Ayrıca, su tüketimini azaltmak ve yer altı suyunun tükenmesini önlemek için işletmede kullanılan su miktarının ölçülmesine ve izlenmesine odaklanılacaktır. Bu, su kullanımı üzerinde daha iyi kontrol sağlamayı ve bilinçli su yönetimi uygulamalarını teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Saha çalışmasında görülen uygulamalardan biri ise sektörde kasar durulama suları HT rezerv tankına çekilmesi ve kasar işleminde tekrar kullanılmasıdır.



Şekil 13. HT boyama prosesi ve makinası (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim ettüleri)

4. Sonuç ve Değerlendirme

Kaynak verimliliği ve temiz üretim çalışmaları küresel düzeydeki iklim değişikliği ve su kıtlığı sebebi ile işletmelerin uygulaması gerekli vazgeçilmez birer araçtır. Hızlanan bu küresel eğilim, ülkemizin imalat sanayisi için bir ölçüt görevi görmektedir. Bu bağlamda ülkemizin eylem planlarında ve strateji belgelerinde sürdürülebilir kalkınmanın gereklilikleri (temiz üretim, kaynak verimliliği, döngüsel ekonomi vb.) yerini almıştır. Avrupa Birliği tarafından Yeşil Mutabakat'ın yayınlanması ile birlikte ülkemizde karbon ve su ayak izi çalışmaları hız kazanmıştır. Tekstil sektörüne yönelik 2022 yılında “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Genelgesi” yayınlamıştır. Bu genelge iyi bir örnek teşkil etmekte olup, imalat sanayinin diğer alt sektörleri için de benzer genelgelerin hazırlanması planlanmaktadır.

İşletmelere gerçekleştirilen teknik etüt çalışmaları sonucunda enerji, su ve hammadde konularında ciddi tasarruflar sağlanabileceği gözlenmiştir. Enerji verimliliği konusunda özellikle atık ısıların geri kazanımı çok önemlidir. Flaş buhar, blöf, baca gazındaki atık ısıların fizibilitesi yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte makinelere ve buhar hatlarındaki vana/kondenstolara yalıtım uygulanmalıdır. Su konusunda ise proses bazında su tüketim değerlerinin kayıt altına alınarak azaltıma yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Mümkünse proses bazında çıkan atıksuların analizi yapılarak üretim proseslerinde tekrar kullanılabilirliği araştırılmalıdır.

5. Kaynaklar / References

- Atak, Ş., & Fidan, E.T. (2014). Bütüncül ve Önleyici Bir Çevre Yönetimi Yaklaşımı Olarak Temiz Üretim Yaklaşımı Ve Türkiye’de Uygulanması, *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar* 51(596).
- Atımtay, A., & Kentel, E. (2010). Sürdürülebilir (Temiz ve Yenilenebilir) Enerji Kaynakları ve Yönetim, ODTÜ-SEM İklim Değişikliği, Uyum Politikaları ve Türkiye Sertifikalı Eğitim Programı, Ankara.
- AYY, (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Balbay, Ş., Sarıhan, A., & Avşar, E. (2021). Dünya’da ve Türkiye’de “Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik” Yaklaşımı, *European Journal of Science and Technology* 27, 557-569.
- BAT, (2020). Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Surface Treatment Using Organic Solvents including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals”, JRC.
- Breeze, P. (2019), *Power From Waste, Power Generation Technologies (Third Edition)*, Newnes, Pages 375-397, ISBN 9780081026311.
- Certain Directives (Waste Framework Directive), 22 Kasım 2008, 28. İDER, (2020). İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi, Hedefler için İş Dünyası ve DCube, <https://www.business4goals.org> (13.04.2023).
- Çelikli, Ç. (2016). Sıralı Dizel Enjektör Üretimi Tesisinde Ekoverimlilik (Temiz Üretim) Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- ÇŞİB, (2023a). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı, <https://>

- iklim.gov.tr (13.04.2023).
- ÇŞİB, (2023b). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://csb.gov.tr/tekstil-sektorunde-temiz-uretim-uygulamalari-genelgesi-yayimlandi-bakanlik-faaliyetleri-37401> (13.04.2023).
- Demirer G.N. (2001). Temiz Üretim/ Kirlilik Önleme Kavramı ve Çevre Mühendisliği Eğitimi, 4. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, TMMOB Çevre Müh. Odası, 212- 221, 7-10
- DEP, (2023). Döngüsel Ekonomi Platformu, <https://donguselekonmiplatformu.com> (10.04.2023).
- EC, (2003). European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textile Industry (BREF) European Commission (EC), EC IPPC Bureau, Seville.
- EU, (2008). Official Journal of the European Union, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing.
- Fan, Y.V., Varbanov, P.S., Kleme's, J.J., & Nemet, A. (2018). Process efficiency optimisation and integration for cleaner production. *J. Clean. Prod.* 174, 177–183.
- Friedler, F. (2010). Process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction. *Appl. Therm. Eng.* 30 (16), 2270–2280.
- Giannetti, B.F., Agostinho, F., Yang, Z., Liu, G., Hancock, L., & Almeida, C.M.V.B. (2021). Widening Cleaner Production scope and targets: from local to global initiatives. *J. Clean. Prod.* 325, 129215.
- İDER, (2020). Hedefler için İş Dünyası Platformu ve DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı. İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi.
- Karahan, Ş., Rende, K., Tosun, C., Şık, E., Partal, R., Duhbacı, Budak, T., Avinal, A., Çakmak., E.G., Günay, A., & Baban, A. (2017). Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi Özet Kitabı, ISBN 978-605-4889-26-6.
- KITECH (2020). Korean Institute of Industrial Technology.
- Mbatha, S., Everson, R.C., Musyoka, N.M., Langmi, H.W., Lanzini, A., & Brilman, W. (2021). Power-to-methanol process: a review of electrolysis, methanol catalysts, kinetics, reactor designs and modelling, process integration, optimisation, and techno-economics. *Sustain. Energy Fuels*, 5 (14), 3490–3569.
- PAGEV, (2015). Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı. Döngüsel Ekonomi Durum Raporu.
- Partal, R., Baban, A., Günay, A., Karahan, Ş., Rende, K., Tosun, C., Şık, E., Duhbacı, Budak, T., & Avinal, A. (2017). Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi Çevresel Etki Analizi Raporu.
- Pradhan, P., Subedi, D.R., Khatiwada, D., Joshi, K.K., Kafle, S., & Chhetri, R.P. (2021). The COVID-19 pandemic not only poses challenges, but also opens opportunities for sustainable transformation. *Earth's Future* 9 (7).
- Silva, F. J.G., Gouvei, J.G.,R. & Miguel. R. (2019). Cleaner Production Tools and Environmental Management Practices, *Cleaner Production*, 153-245.

- Standard, (2018). Döngüsel Ekonomi, *Ekonomik ve Teknik Dergi*, 662, ISSN:1300-836.
- TMMOB, (2022). Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Enerji Yöneticisi Eğitim Ders Notları.
- Tong, X., Mohapatra, S., Zhang, J., Tran, N.H., You, L., He, Y., & Gin, K.Y.H. (2022). Source, fate, transport and modelling of selected emerging contaminants in the aquatic environment: current status and future perspectives. *Water Res*, 127, 118418.
- TTGV, (2009). Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamalarının Yaygınlaştırılması İçin Çerçeve Koşulların ve Ar-Ge İhtiyacının Belirlenmesi Raporu, *TTGV Yayınları*.
- TÜBİTAK MAM saha çalışmaları-Temiz üretim etütleri
- TÜİK, (2020). Türkiye İstatistik Kurumu, Su ve Atıksu İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr>, (12.04.2023).
- TÜİK, (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri Raporu, <https://data.tuik.gov.tr> (13.04.2023).
- UEDT, (2021). Ulusal Enerji Denge Tablosu, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (13.04.2023).
- UEVEP, (2023). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Ulutaş, Ferda; (2011), Türkiye’de Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Politikaları ve AB Uyum Süreci, TTGV Çevre Projeleri Grubu AB 7. Çerçeve Programı Kapsamında Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Projesi Çalıştayı, Ankara.
- UNIDO-UNEP (2015). National Cleaner Production Centres; 20 Years of Achievement, United Nations Industrial Development Organization.
- Varbanov, P.S., Klemeš, J.J., & Wang, X., (2018). Methods optimisation, Process Integration and modelling for energy saving and pollution reduction. *Energy*, 146, 1–3.
- YMEP, (2021). Yeşil Mutabakat Eylem Planı, T.C. Ticaret Bakanlığı.

Yazar Hakkında / About Author

**Dr. Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN | TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi |
seyma.karahan[at]tubitak.gov.tr | ORCID: 0000-0003-1807-2734**

Dr. Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Programı'ndan mezun olmuştur. Sırasıyla 2004 ve 2011 yıllarında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Programı'ndan Otomotiv üzerine yüksek lisans ve doktora çalışmalarını tamamlamıştır. 2001-2002 yılları arasında aynı üniversite ve bölümde araştırma görevlisi, 2002 yılından günümüze kadar ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde başuzman araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları temiz üretim teknolojileri, kaynak verimliliği, iklim değişikliği, emisyon oluşumu ve azaltılması ve içten yanmalı motorlar olarak sıralanabilmektedir. TÜBİTAK'ta çalıştığı 21 yıl boyunca, Türkiye imalat sanayi için kaynak verimliliği, sürdürülebilir tüketim ve üretim, ulaşım sektöründe sera gazlarının azaltılması, alternatif motor yakıtları, enerji ve çevre teknolojileri alanlarında birçok projeyi koordine etmiştir. En son Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Ofisi tarafından finanse edilen “Temiz Üretim Teknolojilerinde Mükemmeliyet Merkezi” projesini tamamlamıştır.

**Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, PhD | TUBITAK Marmara Research Center |
seyma.karahan[at]tubitak.gov.tr | ORCID: 0000-0003-1807-2734**

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, PhD has graduated from Yıldız Technical University as mechanical engineer in 2001. She completed her MSc and PhD studies in Yıldız Technical University-Mechanical Engineering Department in 2004 and 2011 on automotive respectively. She has been working as a research assistant in the same university and department between 2001 and 2002, and as a chief researcher at TUBITAK Marmara Research Center since 2002. She is interested in the areas of cleaner production technologies, resource efficiency, climate change, emission formation&reduction and internal combustion engines (ICEs). During 21 years of working at TUBITAK, she coordinated several projects in the fields of resource efficiency for Turkish manufacturing industry, sustainable consumption and production, reduction of greenhouse gases at the transport sector, alternative motor fuels, energy and environmental technologies. She has completed a project entitled “Center of Excellence in Cleaner Production Technologies” which is funded by T.R Presidency, Strategy and Budget Office.

