

TÜRK OTOMOTİV YAN SANAYİNDE SICAK ŞEKİLLENDİRME SÜREÇLERİNDE KAYNAK VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK TEKNOLOJİK YENİLİKLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Anıl AKBAY *^{ID}
Feza ÖRÜÇ KARAER **^{ID}

Alınma: 30.10.2024 ; düzeltme: 03.03.2025 ; kabul: 16.04.2025

Öz: Türk otomotiv yan sanayinde, sıcak şekillendirme süreçleri kritik bir öneme sahiptir ve bu süreçlerde kaynak verimliliğini artırmak hem ekonomik faydalar sağlamakta hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, sıcak şekillendirme süreçlerinde kullanılan malzemelerin, enerji tüketiminin ve süreç teknolojilerinin analizi yoluyla kaynak verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini hedeflemektedir. Çalışmada, enerji tüketimi ve malzeme israfını azaltacak yöntemler araştırılmış, endüstride uygulanabilir çözümler sunulmuştur. Ayrıca sürdürülebilirlik perspektifi doğrultusunda, karbon ayak izinin azaltılması, döngüsel ekonomi ilkelerine uyum ve atık yönetimi konuları ele alınmıştır. Çalışma, sektördeki işletmelere rekabet avantajı sağlayabilecek çevre dostu uygulamalar ve ileri teknoloji odaklı yaklaşımlar önermektedir. Elde edilen bulgular, Türk otomotiv yan sanayinde sıcak şekillendirme süreçlerinin çevresel ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir hale getirilmesine yönelik somut öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Şekillendirme, Kaynak Verimliliği, Teknolojik Yenilikler, Sürdürülebilirlik, Otomotiv Sektörü

Technological Innovations and Sustainability in Enhancing Resource Efficiency in Hot Forming Processes in the Turkish Automotive Supply Industry

Abstract: The hot forming processes in the Turkish automotive supply industry hold critical importance, as improving resource efficiency in these processes yields both economic benefits and contributes to environmental sustainability. This study aims to develop innovative technologies to enhance resource efficiency through the analysis of materials, energy consumption, and process technologies utilized in hot forming. Methods to reduce energy usage and material waste have been explored, and practical solutions applicable to the industry have been proposed. Additionally, from a sustainability perspective, the study addresses the reduction of carbon footprint, compliance with circular economy principles, and waste management practices. The findings present environmentally friendly applications and advanced technology-driven approaches that can provide a competitive advantage to enterprises within the sector. The results offer tangible recommendations for making the hot forming processes in the Turkish automotive supply industry more sustainable both environmentally and economically.

Keywords: Hot Forming, Resource Efficiency, Technological Innovations, Sustainability, Automotive Supply Industry

* Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Görükle, Nilüfer, Bursa

** Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Görükle, Nilüfer, Bursa

İletişim Yazarı: Anıl AKBAY (akbay.anil@outlook.com)

1. GİRİŞ

Günümüzde işletmelerin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri, üretim süreçlerinde kullanılan kaynakların miktarındaki artış ve bunun beraberinde getirdiği çevresel etkilerin yönetilmesidir. Bu durum, sürdürülebilir kaynaklar ve çevre dostu ürünlerin üretimi konusundaki farkındalığın hızla artmasına yol açmıştır. İşletmeler, doğal kaynakları koruma ve toplumsal yarar sağlama amacıyla kurumsal sürdürülebilirlik adımları atarken, bu tür uygulamaların yalnızca çevreye fayda sağlamakla kalmayıp aynı zamanda işletmelerin satışlarını ve karlılıklarını artırdığına dair bulgular da giderek çoğalmaktadır (Harris, 2007).

Sürdürülebilirlik, günümüzde çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutları kapsayan bir anlayış olarak işletmelerin stratejik planlarına entegre edilmeye başlanmıştır. Krizlere karşı direnç geliştirmek, kaynakları etkin bir şekilde yönetmek ve uzun vadeli başarıyı sağlamak amacıyla sürdürülebilirlik uygulamaları, işletmelerin stratejik hedeflerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Bos-Brouwers, 2010). Bu bağlamda, işletmeler sadece finansal performanslarını değil, aynı zamanda çevreye, topluma ve sürdürülebilirliğe olan katkılarını da düzenli olarak raporlama sorumluluğu taşımaktadır. 1989'dan itibaren, işletmelerin yalnızca mali sonuçlarını değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal etkilerini de raporlamaları beklenmektedir (Kolk, 2004).

Otomotiv endüstrisi, çevresel etkileri azaltmak, güvenliği artırmak ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirmek amacıyla önemli bir dönüşüm sürecine girmektedir. Araçların konforunun artması, daha fazla donanımına sahip olmaları ve çarpışma güvenliği gereksinimlerinin yükselmesi, araçların ağırlığının artmasına neden olmuştur. Ancak, bu ağırlık artışı, yakıt tüketimini artırarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu sebeple otomotiv sektörü, daha hafif ve güvenli araçlar üretmek için yeni üretim teknikleri ve malzeme kullanımları geliştirmektedir. Otomobil üreticileri, araç ağırlığının azaltılması ve güvenliğinin artırılması amacıyla sıcak şekillendirme yöntemleri gibi yeni sac metal şekillendirme teknolojilerine yönelmektedir. Özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin sıcak şekillendirilmesi, araç üretiminde daha dayanıklı, hafif ve güvenli parçaların üretilmesinde önemli bir çözüm sunmaktadır (Görgülüarslan ve diğ., 2015).

Bununla birlikte, sanayide malzeme ve enerji tüketiminin hızla artması, dünya kaynaklarının taşıma kapasitesini aşabilecek bir düzeye ulaşmıştır. Bu durum, kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasının gerekliliğine dair güçlü bir farkındalık yaratmıştır. Çevresel sürdürülebilirliği gözetken üretim yöntemlerine duyulan ihtiyaç, günümüzde giderek daha acil hale gelmiştir. Birçok ülke, bu doğrultuda farklı yaklaşımlar benimsemekte ve çevresel etkiyi azaltmaya yönelik çeşitli stratejiler geliştirmektedir (Kaebernick ve diğ., 2003). Bu bağlamda, Türk otomotiv yan sanayii de sıcak şekillendirme süreçlerinde kaynak verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yenilikleri benimsemekte ve sürdürülebilirlik çözümleri geliştirmektedir. Bu yenilikçi süreçler, yalnızca çevresel etkileri minimize etmekle kalmamakta aynı zamanda üretim verimliliğini artırarak maliyetleri düşürmektedir.

Sıcak şekillendirme teknolojileri, özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin işlenmesi açısından önemli bir role sahiptir. Bu yöntem, araç üretiminde daha hafif, dayanıklı ve güvenli parçaların elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, daha az malzeme ve enerji kullanılarak verimli üretim yapılmasına olanak tanımakta bu da çevreyi korurken ekonomik fayda sağlamaktadır (Neugebauer ve diğ., 2006). Türk otomotiv yan sanayiinde, enerji verimliliğini sağlayan teknolojilerle çevresel etkiler azaltılmaya çalışılmakta, sürdürülebilir üretim süreçleri geliştirilmektedir. Bu yenilikler, sektördeki rekabet gücünü artırarak Türk otomotiv endüstrisinin küresel pazarlarda daha güçlü bir konumda olmasına katkı sağlamaktadır.

Türk otomotiv yan sanayiinde sıcak şekillendirme süreçlerinde kaynak verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yenilikler ve sürdürülebilirlik yaklaşımları büyük bir öneme sahiptir. Bu süreçler hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de ekonomik faydalar elde etmek adına kritik bir rol oynamaktadır. Türk otomotiv yan sanayiinin, bu teknolojileri

benimseyerek kaynak kullanımını optimize etmesi hem küresel rekabette öne çıkmasına hem de çevresel etkilerini azaltmasına olanak tanımaktadır.

2. SICAK ŞEKİLENDİRME SÜREÇLERİNDE MEVCUT DURUM

Bu çalışma, Türk otomotiv yan sanayisinde sıcak şekillendirme süreçlerinde kaynak verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yeniliklerin ve sürdürülebilir uygulamaların değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Araştırma, sektördeki mevcut enerji tüketim verileri, yenilikçi teknolojiler ve literatür taramalarından elde edilen bilgilerin analizi ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde çalışmanın materyalleri ve izlenen yöntemler detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

2.1. Kullanılan Materyeller ve Yöntemler

Bu çalışma, sıcak şekillendirme süreçlerinin enerji tüketimini değerlendirmek için otomotiv yan sanayisinden elde edilen enerji verilerini temel almaktadır. Bu veriler, çelik fırınları ve presleme makinelerinin enerji kullanım oranları ile karbon emisyonlarına dair bilgiler içermektedir. Enerji izleme sistemlerinden elde edilen bu veriler, proses bazında enerji kayıplarının belirlenmesi ve enerji verimliliği iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında, sıcak şekillendirme süreçlerinde kullanılan yenilikçi teknolojiler incelenmiştir. Bu teknolojiler arasında akıllı sensör sistemleri, otomasyon yazılımları ve ısı geri kazanım çözümleri yer almaktadır. Proseslerin dijital ortama taşınması ve simüle edilmesi yoluyla enerji verimliliği analizi yapılmasına olanak tanımıştır.

Çalışma kapsamında, enerji verimliliği, sıcak şekillendirme ve sürdürülebilirlik konularına odaklanan akademik çalışmalar ve sektörel raporlar taranmıştır. Bu kaynaklar, Türk otomotiv yan sanayisindeki durumun değerlendirilmesi ve uluslararası en iyi uygulamaların belirlenmesi açısından önemli bilgiler sunmuştur.

Araştırmada, sektörden elde edilen enerji tüketim verileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu veriler ışığında enerji maliyetleri ile karbon emisyon oranları hesaplanmıştır. Veriler, enerji izleme sistemleri ve şirketlerin sürdürülebilirlik raporlarından elde edilmiştir.

Araştırma, otomotiv yan sanayisindeki şekillendirme tesislerinde yerinde yapılan gözlemleri de içermektedir. Saha çalışmaları, enerji yoğun proseslerin belirlenmesi ve atık enerji kaynaklarının geri kazanım potansiyelinin değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

2.2. Sıcak Şekillendirme Süreçleri

Sıcak şekillendirme, metallerin yüksek sıcaklıklarda plastik deformasyona uğratarak şekillendirildiği bir üretim süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, malzeme özelliklerini optimize ederek, özellikle mukavemet, hafiflik ve dayanıklılık arasında ideal bir denge kurmayı hedeflemektedir. Sıcak şekillendirme ile üretilen bileşenler, yüksek performans ve güvenlik standartlarını sağlarken aynı zamanda çevresel düzenlemelere de uygunluk göstermektedir.

Otomotiv sanayiinde temel hedef, güvenlik standartlarını karşılayan ve güç tüketimini minimum seviyeye indiren araçların üretimidir. Bu amaca ulaşmak için daha hafif araçların tasarlanması gerekmektedir. Özellikle hibrit ve elektrikli araçlarda da hafiflik, önemli bir tasarım unsuru haline gelmektedir. Bu ihtiyaç, araçların ağırlığının azaltılması ve bunun sonucunda yakıt tüketiminin, araç maliyetlerinin ve CO2 emisyonlarının düşürülmesi amacıyla otomotiv üreticilerini yeni malzeme arayışına yönlendirmiştir (Mori ve diğ., 2010).

Yüksek mukavemetli çelikler, bu ihtiyacı karşılamak için önemli bir çözüm sunmakla birlikte, üretim süreçlerinde bazı zorluklar da ortaya çıkarmaktadır (Turetta ve diğ., 2006). Bunlardan biri, kalıp üreticilerinin sıkça karşılaştığı geri yaylanma (springback) problemidir. Bu tür zorluklar, üreticileri alternatif sac malzeme uygulamaları ve farklı üretim yöntemleri arayışına itmiştir. (Billur ve Altan, 2012).

Günümüzde, otomotiv sektöründe bu tür sorunlara en uygun çözüm olarak sıcak şekillendirme yönteminin giderek daha fazla tercih edilmesi, bu alandaki üretim süreçlerini geliştirmektedir (Ingarao ve diğ., 2011)

Son yıllarda, otomotiv endüstrisinde araç güvenliğini iyileştirmek, araç ağırlığını ve emisyonları azaltmak, yakıt verimliliğini artırmak, küresel rekabette öne çıkmak ve ilgili düzenlemelere uygun araçlar üretmek amacıyla sıcak şekillendirme ile üretilen parçaların kullanımı önemli ölçüde artmıştır (Eşiyok, 2015).

Sıcak şekillendirme işlemi sayesinde metal parçalar yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilir ve bu da araçlardaki ağırlık azaltma hedeflerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Bu nedenle, sıcak şekillendirme ile üretilen metal elemanlar, otomobillerde son yıllarda giderek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır (Eşiyok, 2015).

Sıcak şekillendirme süreci genellikle üç temel aşamadan oluşur:

Isıtma: Metal parçalar, şekillendirme sıcaklıklarına (örneğin, çelikler için genellikle 900-950°C) kadar ısıtılmaktadır. Bu aşama, malzemenin plastik deformasyona uğrayabilmesi için gerekli olan yüksek sıcaklık koşullarını sağlamaktadır. Şekil 1 de ısıtma sürecinden çıkar parça gösterimi yapılmıştır.

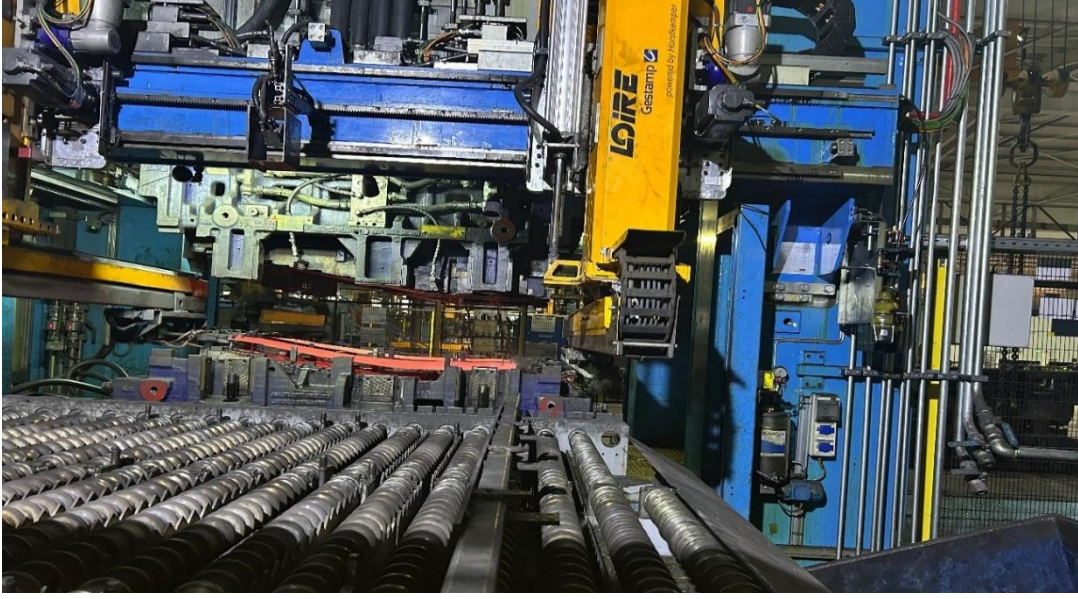


Şekil 1:

Sıcak Şekillendirme Prosesinde Isınma Evresi

Şekillendirme: Isıtılmış metal, presleme yöntemiyle istenilen forma dönüştürülür. Bu aşama, metalin geometrik şeklinin oluşturulmasını sağlamakta ve genellikle yüksek basınç

altında gerçekleştirilmektedir. Şekil 2 de proses üzerinde şekillendirmenin yapıldığına dair görsel sunulmuştur.



Şekil 2:
Sıcak Şekillendirme Prosesinde Şekillendirme Evresi



Şekil 3:
Sıcak Şekillendirme Prosesinde Soğutma Evresi

Soğutma: Şekillendirme işleminden sonra, metal hızlı bir şekilde soğutulmaktadır. Bu aşama, malzemenin mekanik özelliklerini güçlendirmekte ve dayanıklılığını artırmaktadır. Şekil 3 de proses üzerindeki soğutma işlemi görsel olarak sunulmuştur.

Türkiye, otomotiv yan sanayii alanında Avrupa ve dünya çapında önemli bir üretim merkezi olarak konumlanmaktadır. Bu sektördeki güçlü yerini sürdürebilmek için, teknolojik yeniliklere ve verimli üretim süreçlerine yatırım yapmak kritik öneme sahiptir. Sıcak şekillendirme

teknolojisi, Türkiye'nin otomotiv yan sanayii için stratejik bir rol oynamaktadır. Özellikle bu teknoloji, sektördeki verimliliği artırırken aynı zamanda ürün kalitesini de yükseltmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin otomotiv yan sanayiinde sıcak şekillendirme teknolojisinin etkin bir şekilde kullanılması, sadece sektörel verimliliği artırmakla kalmamakta ve aynı zamanda küresel rekabet gücünü de yükseltmektedir. Bu teknoloji hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir.

2.3. Sıcak Şekillendirme Süreçlerinde Mevcut Durum

Sıcak şekillendirme süreçleri, Türk otomotiv yan sanayii bağlamında önemli bir yere sahip olmasına rağmen, verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından çeşitli sorunlar barındırmaktadır. Bu sorunlar, sektörün hem yerel hem de uluslararası piyasalarda rekabetçi kalabilmesi için ele alınması gereken önemli alanlardır.

Sıcak şekillendirme işlemleri, çok yüksek enerji tüketimi gerektirir. Türkiye'deki üreticilerin çoğu, enerji maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle finansal zorluklar yaşamaktadır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımı, süreçlerin karbon emisyonlarını çarpıcı şekilde artırmakta ve sektörün sürdürülebilirlik hedeflerini tehdit etmektedir. Gelişmiş ülkelerde, enerji verimliliğine yönelik çalışmalar, üretim maliyetlerini düşürürken, aynı zamanda çevresel etkileri azaltmaktadır. Türk otomotiv yan sanayii sektörü de bu yönde adımlar atmalıdır.

Sıcak şekillendirme işlemleri yüksek enerji tüketimi gerektirir. Türkiye'deki üreticiler, enerji yoğun süreçler nedeniyle artan maliyetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum hem karbon emisyonlarını artırmakta hem de sürdürülebilirlik hedeflerini tehdit etmektedir.

Mevcut sıcak şekillendirme süreçlerinde, özellikle Türk otomotiv yan sanayii bağlamında, çeşitli zorluklar bulunmaktadır:

Enerji Verimliliği Eksikliği: Sıcak şekillendirme işlemleri yüksek enerji tüketimi gerektirir. Türkiye'deki üreticiler, enerji yoğun süreçler nedeniyle artan maliyetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum hem karbon emisyonlarını artırmakta hem de sürdürülebilirlik hedeflerini tehdit etmektedir (Erdoğan, 2018).

Atık Yönetimi ve Malzeme İsrafi: Şekillendirme sırasında ortaya çıkan malzeme kayıpları ve hurda oranı, süreçlerin verimliliğini düşüren önemli faktörlerdir. Türk otomotiv yan sanayiinde bu kayıpların geri dönüşüm yöntemleriyle en aza indirilmesi gereklidir (Erdoğan, 2018).

Teknolojik Geri Kalma Riski: Türk otomotiv yan sanayii, gelişmiş ülkelerdeki üreticilerle rekabet edebilmek için teknolojik altyapısını güncellemeli ve dijitalleşme adımlarını hızlandırmalıdır. Gelişmiş otomasyon sistemleri ve Endüstri 4.0 uygulamalarının eksikliği, sürecin verimliliğini sınırlamaktadır (Arer, 2010).

Çevresel Sürdürülebilirlik: Sıcak şekillendirme işlemleri, fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımı nedeniyle yüksek karbon ayak izine sahiptir. Bu, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir engeldir. Türkiye'nin uluslararası çevresel düzenlemelere uyum sağlaması için yenilenebilir enerji kaynaklarının süreçlere entegrasyonu önem kazanmaktadır (Doğuş, 2023).

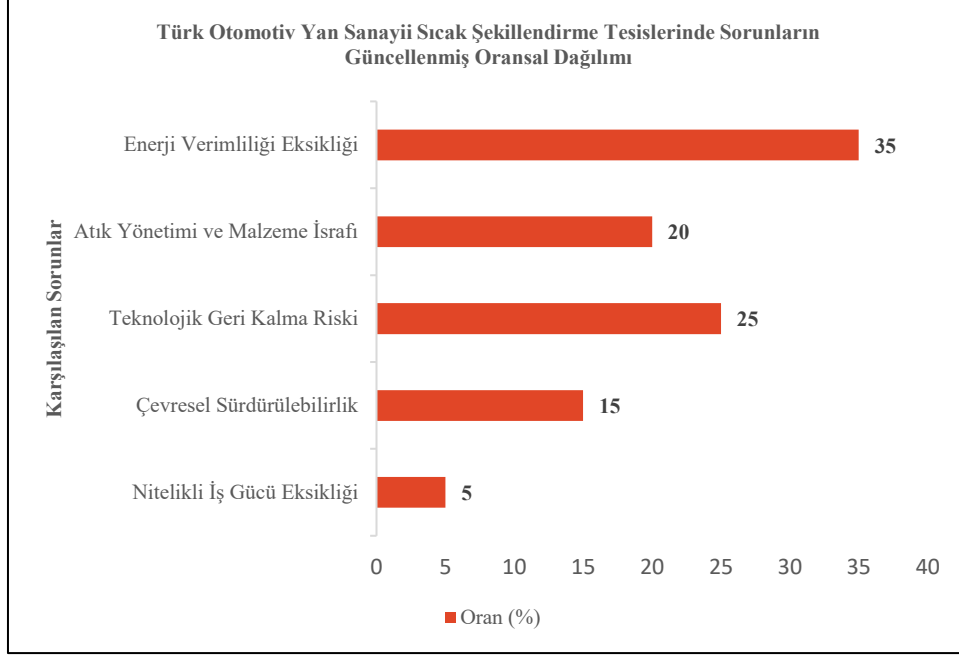
Nitelikli İş Gücü Eksikliği: Sıcak şekillendirme gibi yüksek hassasiyet gerektiren süreçlerde nitelikli iş gücüne duyulan ihtiyaç, teknolojik yeniliklerin etkin bir şekilde uygulanmasını zorlaştırabilir. Eğitim programlarının geliştirilmesi bu sorunu hafifletebilir (Arer, 2010).

Türk otomotiv yan sanayiinde sıcak şekillendirme süreçleri, enerji verimliliği eksikliği, malzeme israfı, teknolojik geri kalma, çevresel sürdürülebilirlik sorunları ve nitelikli iş gücü eksikliği gibi temel zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır.

Bir sıcak şekillendirme tesisinde yapılan mevcut durum analizi değerlendirildiğinde enerji verimliliği eksikliği (%35) en kritik sorun olarak öne çıkmaktadır. Yüksek enerji tüketimi

maliyet artışlarına, karbon emisyonlarına ve sürdürülebilirlik hedeflerinin tehlikeye girmesine neden olmaktadır. Bunun ardından, teknolojik geri kalma riski (%25) ve atık yönetimi ile malzeme israfı (%20) öncelikli sorunlar olarak sıralanmaktadır.

Şekil 4 de görüldüğü üzere, enerji verimliliği eksikliği çözülmeden diğer sorunların yönetimi sınırlı kalacaktır. Bu durum, sürdürülebilir üretim ve rekabet gücünü artırmak için enerji tasarrufu sağlayan yenilikçi teknolojilere yatırım yapmanın önemini göstermektedir.



Şekil 4:

Türk Otomotiv Yan Sanayiinde Karşılaşılan Sorunların Oransal Dağılımı

Sıcak şekillendirme süreçleri, özellikle Türk otomotiv yan sanayiinde kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçler hem ürün performansı hem de endüstrinin rekabet gücü açısından temel bir rol oynamaktadır. Ancak mevcut durumu analiz ettiğimizde, enerji tüketimi, malzeme israfı ve çevresel etkiler gibi zorlukların süreçlerin sürdürülebilirliğini tehdit ettiği görülmektedir. Bu bağlamda, enerji verimliliğini artıracak teknolojilerin benimsenmesi, malzeme kayıplarını azaltacak yöntemlerin geliştirilmesi ve çevresel etkilerin minimize edilmesi, sektörün öncelikli hedefleri arasında yer almalıdır.

Gelecek perspektifinde, Endüstri 4.0 teknolojilerinin sıcak şekillendirme süreçlerine entegrasyonu büyük bir potansiyel taşımaktadır. Yapay zeka destekli kontrol sistemleri ve veri analitiği, süreçlerin optimizasyonunu mümkün kılarak hem enerji tüketimini hem de üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Bu bağlamda, Türk otomotiv yan sanayii, dijitalleşme yatırımlarını artırmalı ve bu teknolojileri operasyonlarına entegre etmek için stratejik adımlar atmalıdır.

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve ısı geri kazanım sistemlerinin yaygınlaştırılması, sıcak şekillendirme süreçlerinin çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Örneğin, güneş enerjisi ve atık ısı'nın yeniden kullanımı gibi uygulamalar hem karbon emisyonlarını azaltacak hem de işletme maliyetlerini düşürecektir.

Döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesi, atık yönetimi ve geri dönüşüm faaliyetlerini güçlendirerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilmektedir.

Sıcak şekillendirme süreçlerinde elde edilecek ilerlemeler, yalnızca otomotiv yan sanayi için değil, aynı zamanda Türkiye'nin genel sanayi altyapısı ve küresel pazardaki konumu için de

kritik önem taşımaktadır. Bu süreçlerin sürdürülebilir hale getirilmesi, sektörün uluslararası rekabet gücünü artıracak ve Türkiye'nin çevresel hedeflerine ulaşmasına destek olacaktır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Verimli Motorlar ve Frekans Kontrollü Dönüştürücüler

Enerji tüketiminin büyük bir kısmı motor sistemlerinden kaynaklanmaktadır ve eski tip motorlar genellikle verimsiz çalışarak yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu nedenle, modern motor teknolojilerinin kullanılması ve gelişmiş kontrol sistemlerinin entegrasyonu, önemli enerji tasarrufları sağlamaktadır.

Bu bağlamda, IE3 ve IE4 enerji verimliliği sınıfına sahip motorların kullanılması önerilmektedir. IE3 ve IE4 sınıfı motorlar, daha önceki eski motorlara göre çok daha yüksek verimlilik oranlarına sahip olup, enerji kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu motorlar, enerji dönüşümünü daha verimli bir şekilde gerçekleştirerek elektrik tüketimini minimize etmektedir. Eski motorlarda, enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşerek kaybolurken, IE3 ve IE4 motorlar daha az enerjiyle daha fazla iş yapabilmektedir. Bunun yanı sıra, motorların daha verimli çalışmasını sağlamak için frekans kontrollü sürücüler kullanılmalıdır. Frekans kontrollü sürücüler, motorların hız ve tork değerlerine göre çalışma prensibini uygulamaktadır. Bu teknoloji sayesinde, motorlar yalnızca ihtiyaç duydukları hızda ve torkta çalışacak şekilde ayarlanmakta ve böylece gereksiz enerji kayıpları engellenmektedir. Geleneksel motorlar sabit hızda çalıştığı için düşük yük durumunda bile aynı miktarda enerji tüketmeye devam ederken, frekans kontrollü sürücülerle donatılmış motorlar, yük durumuna göre hızlarını ve torklarını optimize etmekte ve enerji verimliliğini artırmaktadır.

Bu iki teknolojinin bir arada kullanımı, önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bir Sıcak şekillendirme pres motorun yıllık enerji tüketimi 500.000 kWh civarındaysa, IE3 veya IE4 sınıfı bir motor ve frekans kontrollü sürücülerle yapılan bu dönüşüm, enerji tüketimini 400.000 kWh 'ye düşürmektedir. Bu da yaklaşık %20 oranında bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu sayede enerji maliyetlerinde belirgin bir azalma yaşanırken, aynı zamanda karbon salınımı da önemli ölçüde düşürülmektedir.

3.2. Akıllı Yapıda Enerji Takip ve Denetim Sistemleri

Akıllı enerji izleme sistemlerinin kurulumu, tesisin farklı noktalarına yerleştirilecek izolatörlerle gerçekleştirilecektir. Bu sensörler, elektrik, basınçlı hava ve su tüketimini sürekli olarak izleyip analiz ederek veri sağlamaktadır. Bu sayede, enerji tüketimi hakkında anlık bilgiler elde edilmektedir. Enerji tüketiminin izlenmesi, herhangi bir anormallik veya aşırı tüketim durumunun hemen tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Operatörler, bu veriler ışığında gerekli müdahalelerde bulunarak enerji verimliliğini artıracak adımlar atabilmektedir.

Akıllı sistemlerin sağladığı en büyük avantajlardan biri, operatörlerin anlık müdahale yapabilmesi ve böylece gereksiz enerji tüketiminin engellenmesidir. Bir ekipmanın beklenmedik şekilde yüksek enerji tüketimi yapması durumunda, sistem operatörlere alarm göndermekte ve sorun hızlı bir şekilde çözülerek enerji kaybı önlenmektedir.

BEYÇELİK GESTAMP Sıcak Şekillendirme Tesisinde yapılan bu akıllı enerji izleme sisteminin uygulanmasının ardından, enerji tüketiminde önemli bir iyileşme gözlemlenmiştir. Sistemin kurulumu sayesinde tesisin enerji tüketimi %15 oranında azalmıştır. Bu, yıllık enerji tüketiminde önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Bu azalma hem maliyetlerin düşmesine hem de çevresel etkiyi azaltmaya yardımcı olmaktadır.

3.3. Basınçlı Hava Sistemlerinde Verimlilik Artışı

Basınçlı hava sistemlerinin verimli çalışmasını sağlamak için yapılacak iyileştirmeler, genellikle hava kaçaklarının tespit edilmesi ve giderilmesi üzerine odaklanmaktadır. Hava kaçakları, basınçlı hava sistemlerinin en yaygın verimsizlik nedenlerinden biridir. Sistem üzerinden kaçan hava, kompresörlerin daha fazla çalışmasına neden olmakta ve bu da gereksiz enerji tüketimine yol açmaktadır. Hava kaçaklarının tespit edilip onarılması, sistemin verimli çalışmasını sağlamak ve enerji kaybını engellemek için kritik bir adımdır. Bunun yanı sıra, kompresörlerin basınç seviyelerinin optimize edilmesi de enerji verimliliğini artıran bir diğer önemli faktördür. Kompresörler, belirli bir basınç seviyesinde çalışacak şekilde ayarlanmalıdır. Gereksiz yüksek basınç seviyeleri, motorların daha fazla çalışmasına ve dolayısıyla daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır.

BEYÇELİK GESTAMP Sıcak şekillendirme tesisinde hava kaçaklarını tespit etmek için özel olarak tasarlanmış hava kaçağı tespit cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar, sistemdeki herhangi bir hava kaçak noktasını hızlı ve hassas bir şekilde tespit etmektedir. Bu sayede, kaçakların yerleri hızla belirlenmekte ve onarımlar zaman kaybetmeden yapılmaktadır. Hava kaçağı tespit cihazlarının kullanımı, manuel yöntemlere göre çok daha hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamakta ve böylece sistemdeki enerji kayıplarının önüne geçilmektedir.

Kompresörlerin basınç seviyelerinin optimize edilmesi de önemli bir iyileştirme adımdır. Yüksek basınç seviyeleri, kompresörlerin daha fazla çalışmasına ve dolayısıyla daha fazla enerji tüketmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, basınç seviyeleri ihtiyaca göre optimize edilerek kompresörlerin daha verimli çalışması sağlanmalıdır.

Bu iyileştirmelerin sonucunda, tesisin basınçlı hava sistemlerinde %12 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Örneğin, yıllık enerji tüketimi 300.000 kWh civarında olan bir sistemde, yapılan optimizasyonlar sayesinde bu değer 264.000 kWh 'ye düşmüştür. Bu tasarruf, enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltırken, çevresel etkilerin de minimize edilmesine yardımcı olmuştur.

3.4. Isı Geri Kazanımı

BEYÇELİK GESTAMP Sıcak şekillendirme tesisinde, yüksek sıcaklıkta çalışan ekipmanlardan çıkan atık ısının geri kazanılması, enerji verimliliğini artırma ve maliyetleri düşürme açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu bağlamda, tesisin gelecekteki enerji stratejisi kapsamında ORC (Organic Rankine Cycle) teknolojisi kullanılarak atık ısıdan elektrik üretimi yapılması planlanmaktadır. ORC sistemi, düşük sıcaklıkta üretilen atık ısıyı elektrik enerjisine dönüştürerek tesisin enerji ihtiyacının bir kısmının karşılanması hedeflemektedir.

Ayrıca, kış aylarında atık ısının tesisin ısınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılması da başarıyla uygulanmıştır. Bu uygulama sayesinde, dışarıdan enerji temin etmeye gerek kalmadan tesisin ısınma ihtiyacı atık ısı ile sağlanmıştır. Bu sistem, enerji tüketimini daha verimli hale getirmiş ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmıştır.

Planlanan bu iyileştirmelerle, ORC teknolojisi sayesinde yılda 120.000 kWh elektrik enerjisi üretilecek ve kışın atık ısı ile ısınma sağlanarak işletme maliyetlerinde önemli bir azalma sağlanacaktır.

3.5. Daha Yüksek Kapasiteli Pompa Teknolojilerinin Kullanımı

Yüksek kapasiteli ve yüksek verimli pompaların kullanılması, tesisin enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Yüksek kapasiteli pompalar, daha az sayıda pompa ile aynı miktarda sıvı veya soğutucu akışı sağlamak için tasarlanmıştır. Bu sayede, aynı verimlilikle daha az pompa kullanılarak enerji kayıpları en aza indirmekte ve operasyonel verimliliği artırmaktadır.

Sıcak şekillendirme tesisinde, özellikle soğutma süreçlerinde kullanılan pompaların yerine yüksek kapasiteli pompalar yerleştirilmelidir. Bu pompalar, aynı miktarda akışkan akışını sağlamak için daha düşük enerji tüketimi ile çalışmaktadır. Bu sayede, tesisin soğutma sistemlerinde önemli bir enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Yüksek kapasiteli pompaların kullanımıyla, tesisin enerji tüketiminde %15 oranında bir azalma hedeflenmektedir. Örneğin, yıllık 400.000 kWh enerji tüketen bir sıcak şekillendirme tesisinde, yüksek kapasiteli pompaların uygulanması ile bu tüketim 340.000 kWh 'ye düşürülebilmektedir.

3.6. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Faaliyetleri

Sıcak şekillendirme tesislerinde üretim süreçlerinden ortaya çıkan atıkların yönetimi ve geri dönüşümü, çevre dostu bir yaklaşım benimsemek ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla büyük bir öneme sahiptir. Üretim sırasında meydana gelen çeşitli atıkları minimize etmek, doğru şekilde ayrıştırmak ve geri dönüştürmek için kapsamlı bir atık yönetimi stratejisi geliştirilmelidir. Bu strateji hem çevresel etkilerin azaltılmasını hem de işletme maliyetlerinin düşürülmesini hedeflemelidir.

Tesislerde atık yönetimi kapsamında, öncelikle atıkların kaynağında ayrıştırılması sağlanarak, her tür atık için uygun geri dönüşüm veya bertaraf yöntemleri uygulanmalıdır. Metal, plastik ve kimyasal atıklar gibi farklı atık türleri, özel olarak toplanarak geri dönüştürülmekte veya çevreye zarar vermemek adına uygun şekilde bertaraf edilmelidir. Özellikle metal atıkları, geri dönüşüm süreçlerine dahil edilerek yeni üretim süreçlerinde tekrar kullanılmak üzere işlenmelidir. Bu sayede, yeni hammadde ihtiyacı azalmakta ve doğal kaynaklar korunmaktadır.

BEYÇELİK GESTAMP Sıcak şekillendirme tesisinde yürütülen çalışma ile atık yönetimi ve geri dönüşüm stratejileri, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmamakta, işletme maliyetlerini de düşürdüğü görülmüştür. Metal atıkların geri dönüşümü ile hammadde maliyetlerinde %10'a varan bir azalma sağlanmıştır.

3.7. Su Yönetimi ve Su Geri Kazanım Uygulamaları

Su yönetiminin en önemli aşamalarından biri, atık suyun arıtılması ve yeniden kullanımına yönelik uygulamalardır. BEYÇELİK GESTAMP Sıcak şekillendirme tesisi üretim süreçlerinde ortaya çıkan atık suları geri kazanmak için özel arıtma sistemleri kullanmaktadır. Bu sistemler sayesinde, kirli suyun temizlenmesi ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi sağlanmaktadır. Geri kazanılan su, tesisin soğutma sistemlerinde, temizlik işlemlerinde ve diğer üretim süreçlerinde tekrar kullanılmakta, böylece dışarıdan tedarik edilen su miktarı azaltılmaktadır.

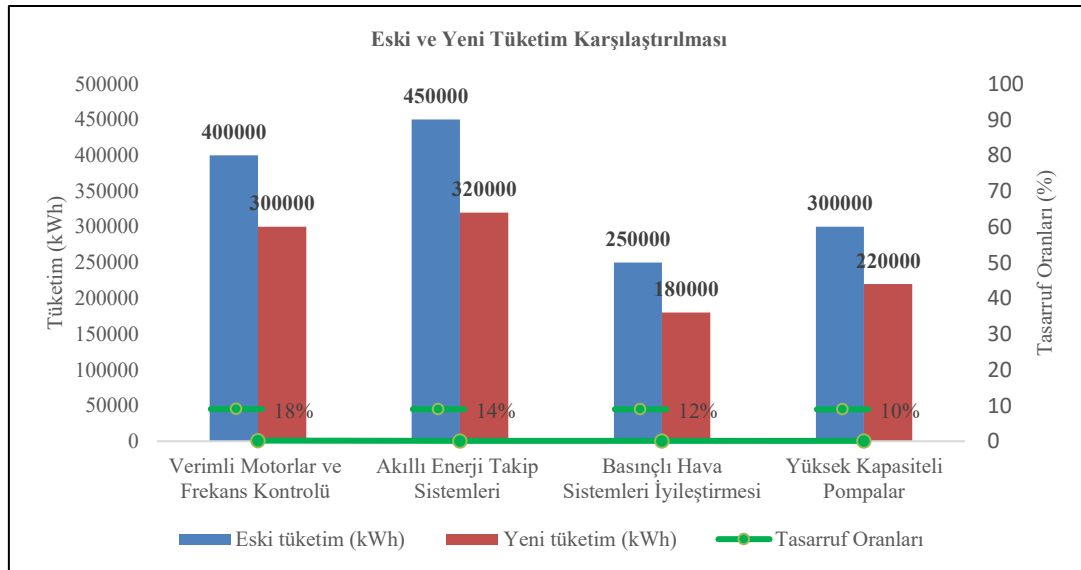
Atık suyun geri kazanımı hem su tüketimini düşürür hem de suyun doğal kaynaklardan temin edilmesini engelleyerek çevresel etkileri azaltır. Ayrıca, atık suyun geri dönüşümü sayesinde, atık suyun çevreye deşarj edilmeden önce arıtılması sağlanarak su kirliliği önlenmiş olmaktadır. Bir diğer önemli uygulama ise, düşük su tüketimli ekipmanlar kullanımıdır. Soğutma ve diğer su tüketen sistemlerde, düşük su tüketimi sağlayan sistemler kullanılarak suyun daha verimli bir şekilde yönetilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, suyun en verimli şekilde kullanılabilmesi için üretim alanlarında su kayıplarını engelleyen denetim ve izleme sistemleri kurulmuştur. Tesisin yıllık su tüketimi 1.000.000 m³ olarak kabul edildiğinde, uygulanan su yönetimi stratejileri sayesinde bu tüketim 200.000 m³ azalacaktır. Bu, suyun verimli kullanımı ve atık suyun yeniden kullanılmasıyla elde edilen bir tasarruftur. Yıllık su tüketimindeki bu azalma, su temin maliyetlerinde de %20'lik bir azalma anlamına gelmektedir. Örneğin, suyun metreküp başına maliyeti 2 TL olarak hesaplandığında, yıllık su maliyet tasarrufu 400.000 TL olacaktır.

Buna ek olarak, tesisin uyguladığı atık su geri kazanım sistemleri sayesinde, atık suyun %30'u yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Bu da 60.000 m³ ek bir su tasarrufu anlamına gelir. Yeniden kullanılan suyun metre-küp başına maliyet avantajı da 2 TL olarak hesaplanırsa, bu uygulama sayesinde yıllık 120.000 TL daha tasarruf elde edilmektedir.

Tablo 1. Enerji Tüketimi, Tasarruf Oranları ve Maliyet Azalmaları

İyileştirme Yöntemi	Eski Tüketim (kWh)	Yeni Tüketim (kWh)	Tasarruf (kWh)	Tasarruf Oranı (%)	Yıllık Maliyet Azalması (TL)
Verimli Motorlar ve Frekans Kontrolü	500.000	400.000	100.000	20%	370.000
Akıllı Enerji Takip Sistemleri	500.000	425.000	75.000	15%	277.500
Basınçlı Hava Sistemleri İyileştirmesi	300.000	264.000	36.000	12%	133.200
Yüksek Kapasiteli Pompalar	400.000	340.000	60.000	15%	222.000
Toplam	1.700.000	1.429.000	271.000	**	1.002.700

Tablo 1 mevcut enerji tüketimi ile iyileştirme çalışmaları sonrasında elde edilen yeni tüketim değerlerini, yüzde cinsinden tasarruf oranlarını ve yıllık maliyet azalmasını kapsamlı bir şekilde göstermektedir. Enerji birim fiyatının 3,7 TL alınmasıyla, tasarrufların ekonomik etkisi net olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 5:
Enerji Tüketimi ve Maliyet Azalması Karşılaştırması

Şekil 5’te eski ve yeni tüketim değerleri, tasarruf oranları ve yıllık maliyet azalmasını görselleştirilerek farklı yöntemlerin etkilerini daha kolay anlaşılır hale getirmiştir. Özellikle yöntemlerin tasarruf oranları ve yıllık maliyetlere etkisi, enerji yönetimi stratejileri açısından kritik bilgiler sunmaktadır. Tablo 1 ve Şekil 5’te görüldüğü gibi, her bir yöntemin enerji verimliliğine katkısı hem tüketim hem de maliyet bazında analiz edilmiştir. Bu analiz, enerji yönetiminde daha verimli stratejilerin seçilmesine rehberlik etmektedir. Uygulanan enerji verimliliği önlemleri hem elektrik tüketiminde hem de yıllık maliyetlerde önemli tasarruflar sağlamıştır. Akıllı Enerji Takip Sistemleri, 130.000 kWh enerji tasarrufu ve 325.000 TL maliyet azalması ile en yüksek finansal faydayı sunmuştur. Verimli Motorlar ve Frekans Kontrolü, 100.000 kWh tasarruf sağladığı ve 250.000 TL ile maliyet avantajı açısından dikkat çekici bir etki yaratmıştır.

Basınçlı Hava Sistemleri İyileştirmesi ve Yüksek Kapasiteli Pompalar, sırasıyla 70.000 kWh ve 80.000 kWh tasarruf sağlamış olup, yıllık maliyetleri 175.000 TL ve 200.000 TL oranında azaltmıştır. Genel olarak, tüm bu önlemler enerji verimliliğini artırarak işletme giderlerinin düşürülmesine ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Elde edilen verilerden yola çıkarak en yüksek kazanç sağlayan sistemlere öncelik verilerek iyileştirme çalışmaları sürdürülebilir hale getirilmelidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türk otomotiv yan sanayiinde sıcak şekillendirme süreçlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yenilikler ve sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, sektördeki enerji tüketiminin minimize edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması için çeşitli teknolojik çözümlerin etkinliğini ortaya koymaktadır. İlk olarak, enerji verimliliği sınıfı yüksek motorlar ve frekans kontrollü dönüştürücüler gibi teknolojilerin kullanımı, tesislerdeki enerji tüketimini belirgin şekilde azaltmıştır. Özellikle IE3 ve IE4 sınıfı motorların tercih edilmesi ve frekans kontrollü sürücülerin entegrasyonu, enerji tasarrufunun yanı sıra işletme maliyetlerinin de önemli ölçüde düşürülmesini sağlamıştır. Bu uygulamalar, motorların verimli çalışmasını destekleyerek enerji kayıplarını önlemektedir.

Bu çalışmada, Türk otomotiv yan sanayiinde sıcak şekillendirme süreçlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik yenilikler ve sürdürülebilirlik uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, sektördeki enerji tüketiminin minimize edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması için çeşitli teknolojik çözümlerin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Bir diğer önemli bulgu ise akıllı enerji takip ve denetim sistemlerinin tesislere entegrasyonu ile elde edilmiştir. Bu sistemler, anlık enerji tüketiminin izlenmesi ve gerektiğinde operatör müdahalesinin sağlanması sayesinde enerji israfını azaltmakta, dolayısıyla verimliliği artırmaktadır.

Yine, basınçlı hava sistemlerinde yapılan verimlilik iyileştirmeleri ve hava kaçaklarının tespiti de enerji tasarrufu sağlayan başka bir önemli gelişme olarak gösterilmiştir.

Isı geri kazanım sistemlerinin uygulanması da dikkate değer bir yeniliktir. Atık ısıların verimli bir şekilde kullanılması, önemli bir enerji kaynağı oluşturmakta ve çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Organic Rankine Cycle (ORC) teknolojisinin kullanımı, atık ısının elektrik enerjisine dönüştürülmesi gibi yöntemlerle yıllık enerji üretimi sağlanmaktadır.

Yüksek kapasiteli pompaların kullanımı ve atık yönetimi faaliyetlerinin iyileştirilmesi de enerji verimliliği üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır. Özellikle metal atıkların geri dönüşümü, üretim süreçlerine entegre edilmiş sürdürülebilirlik adımları ile çevresel etkilerin minimize edilmesine yardımcı olmaktadır.

Türk otomotiv yan sanayiinde enerji verimliliğine odaklanan teknolojik yenilikler, çeşitli olumlu sonuçlar doğurmaktadır:

1. **Enerji Tüketiminde Azalma:** Akıllı enerji analizörleri sayesinde enerji tüketimini anlık olarak izlemekte ve gereksiz tüketimi azaltmaktadır. Bu sistemlerin entegrasyonu, enerji tasarrufunu %15-20 oranında artırmaktadır.
2. **Maliyet Tasarrufu:** Atık yağların geri kazanımı ile çevresel etkilerin yanı sıra maliyetlerin de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu uygulama, maliyetlerde %10-15 oranında tasarruf sağlamaktadır.
3. **Kaynak Verimliliği:** Simülasyon destekli tasarım ve süreç optimizasyonları sayesinde malzeme fireleri %10 oranında azaltılmıştır, bu da hammadde verimliliğini artırmaktadır.
4. **Karbon Ayak İzinin Azalması:** Atık ısı geri kazanım teknolojileri sayesinde firmalar karbon emisyonlarını %18-20 oranında azaltmayı başarmıştır, bu da çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.
5. **İş Süreçlerinde Verimlilik Artışı:** Dijitalleşme ile iş süreçleri daha akıcı hale gelirken, otomatik kontrol sistemleri sayesinde üretim hatlarındaki verimlilik artmıştır. Bu durum, üretim sürelerini %10 oranında kısaltmaktadır.
6. **Daha Hızlı Problemlerin Çözümü:** Akıllı sistemler, anlık veri analizi yaparak sorunları hızlı bir şekilde tespit etmekte ve çözüm önerileri sunmaktadır. Bu sayede, üretim kesintileri %15 oranında azaltılmaktadır.
7. **Enerji Maliyetlerinde Düşüş:** Geliştirilen enerji yönetim sistemleri, enerji maliyetlerini optimize ederek firmaların bütçelerinde %12-15 oranında tasarruf sağlamasına olanak tanımaktadır.
8. **Rekabet Avantajı:** Enerji verimliliği sağlayan yenilikçi uygulamalar, firmaların rekabet gücünü artırmakta ve pazar paylarını genişletmelerine katkı sunmaktadır. Bu durum, sektördeki genel verimliliği %8-10 oranında artırmaktadır.

Sonuç olarak, Türk otomotiv yan sanayiinde enerji verimliliğine yönelik yeniliklerin yaygınlaşması, firmaların küresel rekabet gücünü artırmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını da kolaylaştırmaktadır. Kaynak kullanımının optimize edilmesi, üretim süreçlerini daha verimli hale getirirken enerji tüketiminin kontrol altına alınması maliyet avantajı sağlamaktadır. Geliştirilen bu teknolojik yenilikler, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra sektördeki rekabeti de güçlendirerek sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Böylece Türk otomotiv yan sanayi, enerji verimliliğini artırmaya yönelik bu yenilikçi yaklaşımlar sayesinde daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir üretim anlayışına yönelmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. Çalışmada ele alınan firmalar ve sektör uygulamaları, yazarların kişisel veya kurumsal çıkarlarına bağlı olmadan, bağımsız bir perspektifle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, literatürde yer alan bilimsel çalışmalar ve sektör raporları temel alınarak objektif bir şekilde sunulmuştur.

YAZAR KATKISI

Bu çalışmaya katkı sağlayan yazarlar ve katkıları şu şekildedir: Anıl AKBAY, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetiminde, literatür taramasının yapılmasında, enerji verimliliği ve teknolojik yeniliklerin uygulanabilirliğine dair teorik çerçevenin oluşturulmasında önemli bir rol üstlenmiştir. Feza ÖRÜÇ KARAER ise toplanan

veri analizi süreçlerini yürütmüş, enerji verimliliği uygulamalarının teknik değerlendirilmesini gerçekleştirmiş ve elde edilen analizlerin yorumlanmasında katkıda bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Arer, C. (2010). *Türk otomotiv sektöründe uluslararası rekabet gücünün artırılmasında tasarımın önemi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul Teknik Üniversitesi.
2. Bos-Brouwers, Hilke. (2009). *Corporate Sustainability and Innovation in SMEs: Evidence of Themes and Activities in Practice*. Business Strategy and the Environment. 19. 417- 435. 10.1002/bse.652.
3. Billur, E., Altan, T. (2012). *Exploring the 3rd International Conference on Hot Stamping Technology*, Part I <http://nsmwww.eng.ohio-state.edu/642-7.pdf>, Erişim Tarihi; 15.03.2012.
4. Doğuş Otomotiv. (2023). *2023 yılı sürdürülebilirlik raporu: Türk otomotiv sektöründe çevresel sürdürülebilirlik hedefleri*. İstanbul: Doğuş Otomotiv Yayını. Erişim adresi: https://www.dogusotomotiv.com.tr/newdogusotomotiv_files/2024109211311417_091024-Dogus-Otomotiv_ESR_2023-TR.pdf
5. Erdoğan, B. (2018). *Türkiye'deki otomotiv endüstrisinin çevresel yükünün belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Bursa Uludağ Üniversitesi,
6. Eşiyok, F. (2015). *Türk otomotiv endüstrisinde sıcak şekillendirilebilirlik kalıp tasarımı yeteneğinin geliştirilmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Görgülüarslan, R. M., & Güler, M. A. (2015). Otomotiv endüstrisinde kullanılan sıcak şekillendirme tekniğinin incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 56(660), 41-51.,37(4), 629-633.
8. Harris, A. (2007). Dağıtılmış liderlik: kavramsal karışıklık ve ampirik çekingenlik¹. *Uluslararası Eğitimde Liderlik Dergisi*, 10 (3), 315–325. 10.1080/13603120701257313
9. Kaebernick, H., Kara, S., & Sun, M. (2003). Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(6), 461-468. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(03\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(03)00056-5)
10. Kolk, Ans. (2004). A decade of sustainability reporting: Developments and significance. *International Journal of Environment and Sustainable Development*. 3. 10.1504/IJESD.2004.004688.
11. Mori, K., Okuda, Y. (2010). *Taylor die quenching in hot stamping for producing ultra-high strength steel formed parts having strength distribution*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 291–294.
12. Neugebauer, R., Altan, T., Geiger, M., Kleiner, M., & Sterzing, A. (2006). *Sheet metal forming at elevated temperatures*. CIRP Annals, 55(2), 793-816. 10.1016/j.cirp.2006.10.008.
13. Turetta, A., Bruschi, S., Ghiotti, A. (2006). *Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations*, Journal of Materials Processing Technology 177 (2006) 396–400.