

İmalat Mühendisliğinin Ekonomik Büyüme ve Verimlilik Üzerindeki Rolü ve Endüstri 4.0 Perspektifi

Çiğdem ÇİÇEK^{1*}  Oğuz POYRAZOĞLU¹ 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 06500 Yenimahalle, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 30/12/2024
Revision: 17/02/2025
Accepted: 11/03/2025

Keywords

Digital transformation
Industry 4.0
Manufacturing
engineering
Sustainable
manufacturing

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 30/12/2024
Düzeltilme: 17/02/2025
Kabul: 11/03/2025

Anahtar Kelimeler

Dijital dönüşüm
Endüstri 4.0
İmalat Mühendisliği
Sürdürülebilir üretim

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, imalat mühendisliğinin ülke ekonomisi ve verimlilik üzerindeki etkilerini analiz edilip, Endüstri 4.0'ın katkısı detaylandırılmıştır. / In this research, the effects of manufacturing engineering on the country's economy and productivity are analyzed and the contribution of industry 4.0 is detailed.



Şekil A: Endüstri 4.0'ın gelişimi ve dönüm noktaları / **Figure A:** Development and milestones of Industry 4.0

Önemli noktalar (Highlights)

- Endüstri 4.0'ın imalat mühendisliğine entegrasyonu ile üretim süreçleri optimize edilerek maliyetler düşürülebilir. / With the integration of Industry 4.0 into manufacturing engineering, production processes can be optimized and costs can be reduced.
- Teknolojik inovasyonlarla enerji verimliliği artar ve daha sürdürülebilir çevre dostu üretim yöntemleri ekonomiye, topluma ve çevreye katkı sağlar. / Via technological innovations, energy efficiency increases and more sustainable, environmentally friendly production methods contribute to the economy, society and the environment.

Amaç (Aim): Bu çalışmayla imalat mühendisliğinin ekonomik büyüme, verimlilik artışı ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz etmek amaçlanmıştır. / This study aims to analyze the effects of manufacturing engineering on economic growth, productivity increase and sustainability.

Özgünlük (Originality): Bu araştırma, Endüstri 4.0 kapsamında sürdürülebilirlik, dijitalleşme ve teknolojik inovasyon konularını hesaba katarak imalat mühendisliğinin ekonomik büyüme üzerine etkilerini incelemesiyle özgündür. / This research is novel in that it investigates the effects of manufacturing engineering on economic growth by taking into account sustainability, digitalization and technological innovation within the scope of Industry 4.0.

Bulgular (Results): İmalat mühendisliğinin, dijital dönüşüm ve ileri teknolojilerin benimsenmesi yoluyla ekonomik büyüme ve sürdürülebilirlik gibi konuları desteklediği gösterilmiştir. Ayrıca, nitelikli iş gücü ihtiyacının karşılanması için eğitim ve beceri geliştirme politikalarının önem arz ettiği belirtilmiştir. / Manufacturing engineering has been shown to support subjects such as economic growth and sustainability through digital transformation and the adoption of advanced technologies. It has also been stated that education and skill development policies are important to meet the need for a qualified workforce.

Sonuç (Conclusion): İmalat mühendisliğinin ekonomik büyüme açısından kritik bir öneme sahip olduğunu ve teknolojik ilerlemelerin dikkate alınmasıyla daha da güçlendiğini göstermektedir. / It shows that manufacturing engineering is of critical importance to economic growth and is further strengthened by considering technological advancements.



İmalat Mühendisliğinin Ekonomik Büyüme ve Verimlilik Üzerindeki Rolü ve Endüstri 4.0 Perspektifi

Çiğdem ÇİÇEK^{1*} Oğuz POYRAZOĞLU¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 06500 Yenimahalle, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 30/12/2024
Düzeltilme: 17/02/2025
Kabul: 11/03/2025

Anahtar Kelimeler

Dijital dönüşüm
Endüstri 4.0
İmalat mühendisliği
Sürdürülebilir üretim

Öz

İmalat mühendisliği, ekonomik büyüme ve verimlilik üzerinde anahtar bir etkiye sahiptir. Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm süreçleri, imalat mühendisliğinin önemini artırmış olup, modern üretim teknolojilerinin geniş alanlara yayılmasını sağlamıştır. İmalat mühendisliği üretim süreçlerini optimize eder. Bu süreçlerde maliyet düşüşü, kaynak verimliliği, sürdürülebilirlik ve ürün kalitesi açısından ilerleme sağlar. Teknolojik inovasyonlar, robotik otomasyon, yapay zeka ve dijital ikiz uygulamaları gibi araçlarla, üretim süreçlerinde esnekliğin ve etkinliğin artmasına yardımcı olur. Bu çalışma, imalat mühendisliğinin doğrudan ve dolaylı ekonomik etkilerini incelemiş; teknolojik adaptasyon, yenilikçilik ve dijitalleşmenin ekonomik performansı artırdığı gösterilmiştir. Sürdürülebilirlik açısından, enerji verimliliği, atık yönetimi ve çevre dostu teknolojilerin benimsenmesi, ekonomik ve çevresel faydalar sunmaktadır. Ancak teknolojik dönüşüm, istihdam yapısını değiştirerek nitelikli işgücüne olan talebi artırmaktadır. Bu bağlamda, mesleki eğitim ve dijital becerilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Sonuç olarak bu araştırma imalat mühendisliğinin ekonomik büyümeye katkısını vurgulamakta ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda teknoloji odaklı stratejiler geliştirilmesini önermektedir. Endüstriyel politikaların dijital dönüşümle uyumlu hale getirilmesi, küresel rekabet gücünün artırılması açısından kritik öneme sahiptir.

The Role of Manufacturing Engineering on Economic Growth and Productivity and Industry 4.0 Perspective

Article Info

Research article
Received: 30/12/2024
Revision: 17/02/2025
Accepted: 11/03/2025

Keywords

Digital transformation
Industry 4.0
Manufacturing engineering
Sustainable manufacturing

Abstract

Manufacturing engineering has a key impact on economic growth and productivity. Industry 4.0 and digital transformation processes have increased the importance of manufacturing engineering and have enabled the spread of modern production technologies to wide areas. Manufacturing engineering optimizes production processes. It provides progress in terms of cost reduction, resource efficiency, sustainability and product quality in these processes. Technological innovations help increase flexibility and efficiency in production processes with tools such as robotic automation, artificial intelligence and digital twin applications. This study examined the direct and indirect economic effects of manufacturing engineering; it has been shown that technological adaptation, innovation and digitalization increase economic performance. In terms of sustainability, energy efficiency, waste management and the adoption of environmentally friendly technologies offer economic and environmental benefits. However, technological transformation increases the demand for qualified labor by changing the employment structure. In this context, vocational training and the development of digital skills are important. As a result, this research emphasizes the contribution of manufacturing engineering to economic growth and suggests the development of technology-focused strategies in line with sustainable development goals. Aligning industrial policies with digital transformation is critical for increasing global competitiveness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İmalat mühendisliği, modern ekonomilerin temel taşlarından biri olarak, ülkelerin endüstriyel kapasitelerini şekillendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Endüstri 4.0, dördüncü sanayi

devrimi olarak da bilinen, üretim süreçlerinin tam otomasyonu ve dijitalleşmesini ifade eden bir kavramdır. Bu kavram, akıllı fabrikalar, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği ve yapay zeka gibi teknolojilerin entegrasyonunu kapsamaktadır. Endüstri 4.0 ve

dijital dönüşümün yapıtaşları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Endüstri 4.0 ve Dijital Dönüşümün Temel Bileşenleri [1]

Endüstri 4.0'ın Temel Bileşenleri	Dijital Dönüşüm Süreç Bileşenleri
Akıllı üretim sistemleri	İş süreçlerinin otomasyonu
Siber-fiziksel sistemler	Veri odaklı karar verme
Nesnelerin interneti (IoT)	Müşteri deneyiminin dijitalleşmesi
Büyük veri ve analitik	Tedarik zinciri optimizasyonu
Yapay zeka ve makine öğrenimi	Dijital iş modelleri geliştirme
Robotik sistemler	
Bulut bilişim	

Bu iki kavramın imalat mühendisliği üzerindeki etkisi, üretim süreçlerinin optimizasyonu, kaynak verimliliğinin artırılması ve yenilikçi üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda kendini göstermektedir. Bu bağlamda, imalat mühendisliğinin ekonomik büyüme, verimlilik artışı ve teknolojik inovasyon üzerindeki etkileri, akademik ve endüstriyel çevrelerin odak noktası haline gelmiştir [2].

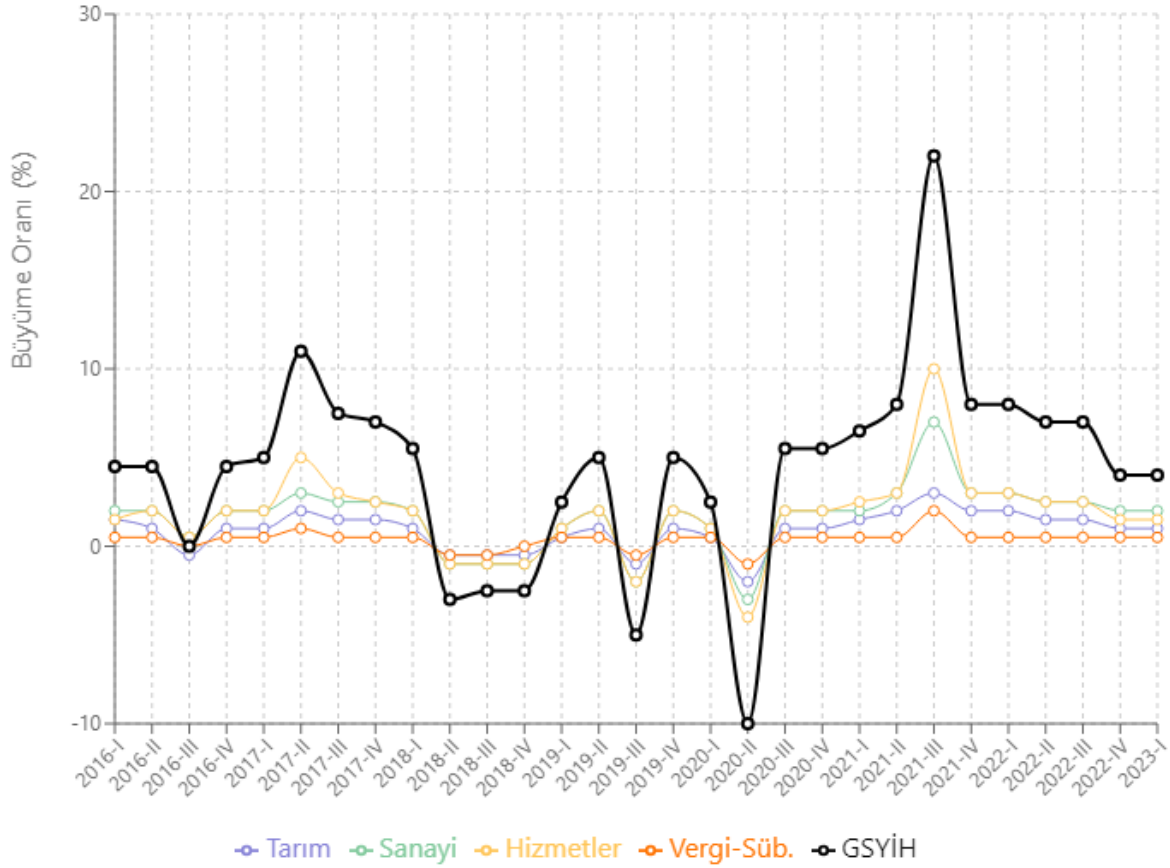
Özellikle son yıllarda, Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm süreçlerinin hız kazanmasıyla birlikte, imalat mühendisliğinin önemi daha da artmıştır. İmalat mühendisliği, üretim süreçlerinin optimizasyonu, kaynak verimliliğinin artırılması ve yenilikçi üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda kilit bir rol üstlenmektedir [3]. Bu durum, ülkelerin ekonomik performansını ve uluslararası pazarlardaki konumunu doğrudan etkilemektedir [4].

Verimlilik artışı perspektifinden bakıldığında, imalat mühendisliği uygulamaları, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, ürün kalitesinin yükseltilmesi ve üretim döngü sürelerinin kısaltılması gibi kritik hedeflere ulaşılmasında vazgeçilmez bir role sahiptir [5]. Modern imalat sistemlerinin tasarımı ve uygulaması, ileri düzey otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu ve sürdürülebilir üretim pratiklerinin geliştirilmesi, imalat mühendisliğinin temel çalışma alanları arasında yer almaktadır [6]. Bu bağlamda, çevre dostu üretim yöntemlerinin benimsenmesi hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önem kazanmaktadır [7-9].

Bu çalışma, Türkiye imalat sektörü özelinde, imalat mühendisliğinin ekonomik büyüme ve verimlilik üzerindeki etkilerini incelemektedir. Türkiye'nin 2023 vizyonu kapsamında belirlenen hedeflere ulaşmasında imalat sektörünün kritik rolü göz önüne alınarak, çalışma özellikle 2016-2023 dönemini kapsamaktadır. Araştırma, metal, otomotiv, tekstil ve elektronik gibi Türkiye'nin önde gelen imalat sektörlerini ele almaktadır. Ayrıca aşağıdaki temel araştırma sorularına yanıt aranmaktadır: İmalat mühendisliğinin ekonomik büyüme ve kalkınma üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri nelerdir? Verimlilik artışında imalat mühendisliği uygulamalarının rolü nasıl ölçümlenebilir ve değerlendirilebilir? Teknolojik inovasyon ve imalat mühendisliği arasındaki ilişki, ekonomik performansı nasıl etkilemektedir? Bu sorular çerçevesinde, çalışmamız literatür taraması, vaka analizleri ve endüstriyel uygulamalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Araştırmamızın sonuçları, imalat mühendisliğinin ekonomik, kalkınma ve verimlilik artışındaki rolünün daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacak ve gelecekteki politika önerilerine temel oluşturacaktır.

Tablo 2. İmalat sektörünün ekonomik büyümeye katkıları (Contributions of the manufacturing sector to economic growth)

Etki Türü	Açıklama
Doğrudan Etkiler	Verimlilik artışları, üretim maliyetlerinin düşmesi, ihracat gelirlerinin artışı
Dolaylı Etkiler	Teknoloji transferi, inovasyon ekosistemi gelişimi, altyapı iyileştirmeleri
Küresel Değer Zinciri	İleri üretim teknolojisi ile daha yüksek katma değerli pozisyonlara erişim sağlanması



Şekil 1. Üretim yöntemlerinin büyümeye katkısı (TÜİK) (Contribution of production methods to growth (TSI))

2. İMALAT MÜHENDİSLİĞİ VE EKONOMİK BÜYÜME (MANUFACTURING ENGINEERING AND ECONOMIC GROWTH)

İmalat sektörü, ekonomik büyümenin temel lokomotiflerinden biri olarak kabul edilmekte ve özellikle gelişmekte olan ekonomilerde çeşitli etkiler yapmaktadır (Tablo 2). Bu sektör, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) içindeki payı ve istihdam yaratma kapasitesi ile ekonomik kalkınmanın temel göstergeleri arasında yer almaktadır. İmalat sektörü ve üretim yöntemlerinin gelişmesi, ekonomik sürdürülebilirliği artırmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, Türkiye ekonomisinin sektörel büyüme oranları 2016-2023 yılları arasında önemli dalgalanmalar göstermiştir. Özellikle 2020 yılının ikinci çeyreğinde Covid-19 pandemisinin etkisiyle tüm sektörlerde keskin bir düşüş yaşanmıştır. Bu dönemde GSYİH yaklaşık %10 oranında daralmıştır. Ancak, 2021 yılının dördüncü

çeyreğinde ekonomi güçlü bir toparlanma göstermiş ve GSYİH %22'ye yakın bir büyüme kaydetmiştir. Buradaki toparlanmanın içerisinde önemli bir pay da imalat sektöründen kaynaklanmıştır. İmalat mühendisliği özellikle stratejik öneme sahip olan ülkeler için savunma ve yaşam döngüsü için de önem arz etmektedir [10]. İmalat sektöründeki büyüme, doğrudan verimlilik artışı ve maliyet optimizasyonu gibi önemli etkiler sağlarken, dolaylı olarak teknoloji transferi, inovasyon ekosisteminin gelişimi gibi alanları da teşvik etmektedir [11].

Son on yılda gerçekleşen dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşması, imalat mühendisliğinin ekonomik katkısını daha da belirgin hale getirmiştir. Akıllı fabrikalar, otonom sistemler ve dijital ikiz uygulamaları gibi inovatif çözümler, üretim süreçlerinde devrim niteliğinde değişiklikler yaratmıştır. Bu durum üretim maliyetlerinde önemli düşüşler sağlarken ürün



Şekil 2. Endüstri 4.0'ın gelişimi ve dönüm noktaları (Development and milestones of Industry 4.0)

Tablo 3. Gelişmekte olan çoğu ekonomide imalat sektörünün etkileri (The impact of the manufacturing sector in most developing economies)

Teknoloji	Verimlilik Artışına Katkısı
Yapay Zeka Destekli Sistemler	Gerçek zamanlı veri analizi, öngörücü bakım, hata tespiti
Robotik Otomasyon	Daha hızlı ve hassas üretim, insan gücü gereksiniminin azaltılması
Akıllı Sensör Ağları	Süreç izleme, enerji kullanımını optimize etme, kaynakların tam zamanında dağıtımı
Dijital İkizler	Sanal modelleme ile süreç optimizasyonu, üretim hatalarının öngörülmesi

kalitesini ve üretim esnekliğini artırmıştır [11]. Şekil 2'de Endüstri 4.0'ın gelişimi ve dönüm noktaları verilmiştir. Küresel değer zincirleri perspektifinden bakıldığında, imalat mühendisliği uygulamaları ülkelerin uluslararası rekabet gücünü belirleyen temel unsurlardan biri haline gelmiştir. İleri üretim teknolojilerine adaptasyon, ülkelerin küresel değer zincirlerinde daha yüksek katma değerli pozisyonlara ulaşmasına olanak tanımaktadır [12]. Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkeler için kritik bir fırsat sunmakta ve bu

3. VERİMLİLİK ARTIŞI VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ (PRODUCTIVITY INCREASE AND MANUFACTURING ENGINEERING)

Verimlilik artışı, modern imalat mühendisliğinin en kritik çıktılarından biri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde verimlilik, geleneksel anlamdaki üretim hızı ve çıktı miktarı ölçütlerinin ötesine geçerek, kaynak kullanım etkinliği, enerji

ülkelerin ekonomik büyüme stratejilerinde imalat mühendisliğini merkezine yerleştirmektedir [13].

Sonuç olarak, imalat mühendisliğinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, çok yönlü bir yapı sergilemekte ve bu etki doğrudan ve dolaylı kanallar aracılığıyla gerçekleşmektedir. İmalat sektörü, ekonomik kalkınma stratejilerinin merkezine yerleştirilerek, ülkelerin sürdürülebilir büyüme hedeflerine ulaşmalarında önemli bir rol oynamaktadır [10].

verimliliği, sürdürülebilirlik ve kalite parametrelerini de kapsayan çok boyutlu bir yapıya

dönüştürmüştür (Tablo 3). Bu dönüşüm, imalat mühendisliği uygulamalarının verimlilik üzerindeki etkisini daha da önemli hale getirmektedir. Özellikle yapay zeka ve robotik otomasyon gibi ileri üretim teknolojilerinin entegrasyonu, verimlilik artışının temel itici güçlerinden biri

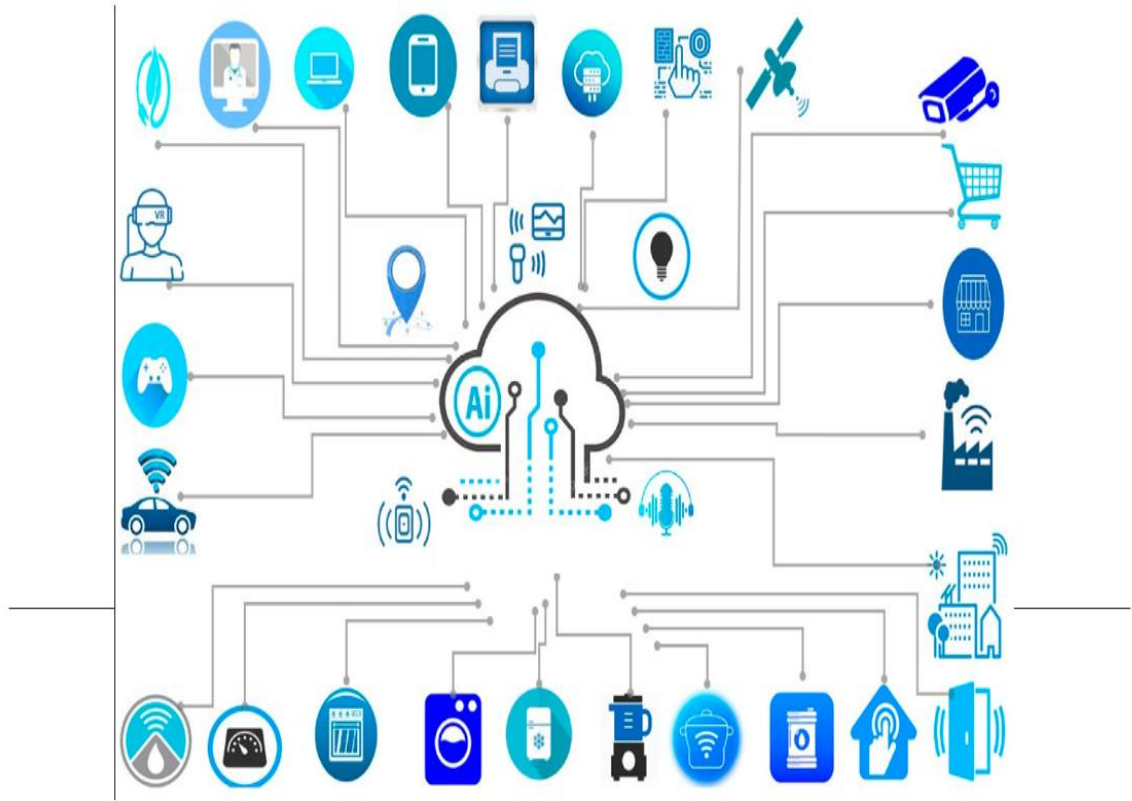
olmuş ve üretim süreçlerinde devrim niteliğinde değişimler yaratmıştır [14,15].

Sürdürülebilir üretim pratikleri, verimlilik artışının yeni boyutlarından birini oluşturmaktadır. Çevre dostu üretim teknolojileri ve döngüsel ekonomi uygulamaları, çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra, operasyonel maliyetleri düşürerek ekonomik verimliliği de artırmaktadır. Özellikle enerji tüketiminin optimizasyonu, atık yönetimi ve malzeme geri dönüşümü gibi yaklaşımlar (Tablo 4), sürdürülebilir verimlilik artışının temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır [16]. Türkiye'de imalat sektöründe verimlilik artışının nicel göstergeleri şu şekildedir:

- 2020-2022 döneminde imalat sanayinde işgücü verimliliği yıllık ortalama %5.2 artış göstermiştir.
- Akıllı fabrika uygulamalarını benimseyen işletmelerde üretim maliyetleri ortalama %15-25 oranında düşüş kaydetmiştir.
- Otomasyon sistemlerinin kullanımıyla fire oranları %30'dan %5'e kadar düşürülmüştür.
- Enerji verimliliği uygulamaları ile işletmelerin enerji tüketimi %20-30 oranında azalmıştır.

Tablo 4. Sürdürülebilir üretim pratiklerinin ekonomik katkıları (Economic contributions of sustainable production practices)

Pratik	Katkıları
Enerji Tüketiminin Optimizasyonu	Çevresel etkilerin azaltılması, enerji maliyetlerinin düşmesi
Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm	Üretim maliyetlerinin düşürülmesi, atık miktarının azaltılması
Döngüsel Ekonomi Yaklaşımları	Kaynak kullanımının minimize edilmesi, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik sağlanması



Şekil 3. Farklı cihazların birbirine bağlı olduğu bir nesnelerin interneti ağı (An internet of things network where different devices are connected to each other)

Bu bağlamda toplam kalite yönetimi uygulamaları, sürdürülebilirlik hedefleri ile entegre bir şekilde, işletmelerin verimliliklerini artırmalarına katkıda bulunmaktadır [17]. Kalite yönetimi sistemlerinin dijitalleşmesi ve verimlilik artışında önemli bir rol oynamaktadır. İleri kalite kontrol sistemleri ve dijital ikiz uygulamaları, ürün kalitesini artırırken fire oranlarını minimum düzeye indirerek müşteri memnuniyetini üst seviyelere taşımaktadır [18]. Bu yaklaşımlar, toplam kalite yönetimi prensiplerinin dijital çağa adaptasyonunda önemli bir pozisyona sahiptir [17].

4. TEKNOLOJİK İNOVASYON VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ (TECHNOLOGICAL INNOVATION AND MANUFACTURING ENGINEERING)

Teknolojik inovasyon, imalat mühendisliğinin evriminde en temel parametrelerden biridir. Özellikle son yıllarda yapay zeka, büyük veri analitiği ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin hızla gelişimi, imalat süreçlerinde köklü bir değişime yol açmıştır. Bu değişim, yalnızca üretim yöntemlerini değil aynı zamanda iş modellerini, tedarik zinciri yönetimini ve müşteri ilişkilerini de dönüştürmektedir [19,20].

Teknolojik inovasyonun imalat sektörüne etkisini gösteren önemli veriler aşağıda sunulmuştur [1]:

- Türkiye'de imalat sektöründe dijital dönüşüm yatırımları 2022 yılında bir önceki yıla göre %45 artış göstermiştir.
- Robotik otomasyon sistemlerini kullanan işletmelerde üretim kapasitesi %40'a kadar artış göstermiştir.
- Yapay zeka uygulamalarını benimseyen işletmelerde kalite kontrol maliyetleri %35 oranında azalmıştır.
- Dijital ikiz teknolojisini kullanan işletmelerde ürün geliştirme süreleri %50'ye varan oranlarda kısalmıştır.
- Nesnelerin interneti uygulamalarıyla tedarik zinciri maliyetleri ortalama %20 düşüş göstermiştir.

Yapay zeka ve nesnelerin interneti gibi akıllı teknolojiler, üretimde daha otonom ve verimli süreçlerin önünü açarak, işletmelerin değişen pazar koşullarına dinamik ve hızlı bir şekilde yanıt verebilmesine olanak tanımaktadır (Şekil 3). Bu durum, sektördeki yeniliklerin değer zincirine ek katkılar sağlayarak, rekabet avantajını artırdığını göstermektedir.

İleri otomasyon teknolojilerinin imalat sektöründe kullanımı, sektörde yeni bir çağın başlangıcını temsil etmektedir. Akıllı robotlar, otonom sistemler ve makine öğrenim algoritmaları, üretim sürecini hızlandırmakta, optimizasyon seviyesini yükseltmekte ve karar mekanizmalarını daha güçlü hale getirmektedir [21]. Buna yenilikçi teknolojilerin sunduğu avantajlar, Tablo 5'te özetlenmiştir.

Dijital ikiz teknolojisi gibi uygulamalar, üretim süreçlerini simüle ve analiz ederek daha fazla gelir elde edilmesini kolaylaştırmakta ve firmalara katma değer yaratmaktadır [19,22]. Dijital dönüşüm sürecinde veri analitiği ve simülasyon teknolojileri özel bir öneme sahiptir. Dijital ikiz uygulamaları ve sanal gerçeklik platformları, ürün tasarımıyla üretim planlamasına kadar tüm imalat süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır [20].

İleri otomasyonun sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Prototipleştirme Maliyetlerinin Düşürülmesi:** Sanal ortamda ürün geliştirme süreçlerinin ilerlemesi, üretim öncesi testlerin maliyetini düşürmektedir.
- **Ürün Geliştirme Döngülerinin Hızlanması:** Daha kısa sürelerde yeni ürünler pazara sunulabilmektedir.
- **Tedarik Zinciri Entegrasyonu:** Bulut tabanlı IoT platformları, tedarik zincirine gerçek zamanlı izlenebilirlik ve kontrol imkanı sunmaktadır [19,20].

Tablo 5. İleri otomasyon teknolojilerinin imalat süreçlerine katkıları (Contributions of advanced automation technologies to manufacturing processes)

Teknoloji	Katkıları
Akıllı Robotlar	Üretimin hızlanması, hassasiyetin artması, insan kaynaklı hatalarda azalma
Otonom Sistemler	Kaynak kullanımının daha verimli hale gelmesi, süreçlerin kesintisiz devam etmesi
Makine Öğrenimi Algoritmaları	Gerçek zamanlı analiz, üretimi optimize eden veriyle desteklenen karar mekanizmaları
Dijital İkiz Teknolojisi	Üretim simülasyonu, operasyonel hataların önlenmesi, ürün geliştirme döngülerinin hızlanması

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

Araştırma bulguları, imalat mühendisliğinde yaşanan teknolojik gelişmelerin ekonomik performans üzerindeki çok boyutlu etkilerini ortaya koymaktadır. Özellikle dijital dönüşüm sürecinin hız kazanması, işletmelerin verimlilik artışı ve inovasyon kapasitesinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır. İleri imalat teknolojilerinin kullanımı, işletmelerin rekabet gücünü artırmakta ve bu değişim hem mikro düzeyde işletme performansı üzerinde hem de makro düzeyde ekonomik büyüme üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır [23,24].

Koska'nın çalışması, Türkiye'deki metal mutfak eşyası imalat sektöründe ileri imalat teknolojilerinin rekabet avantajlarına olan etkisini incelemiş, söz konusu teknolojilerin benimsenmesinin işletmelere önemli faydalar sağladığını vurgulamıştır [24]. Ayrıca, yüksek teknoloji ürün ihracatının ekonomik büyüme üzerindeki katkısı, bir başka kritik bulgu olarak öne çıkmaktadır [25].

Vaka analizleri, yapay zeka (YZ) ve robotik sistemlerin üretim süreçlerine entegrasyonunun operasyonel verimliliği artırdığını, aynı zamanda maliyetleri düşürdüğünü ve ürün kalitesini yükselttiğini göstermektedir [26,27]. Bu gelişmeler, işletmelerin yalnızca pazar paylarını genişletmesini değil, aynı zamanda yeni pazarlara erişim sağlamasını da kolaylaştırmaktadır. Özellikle Endüstri 4.0 çerçevesinde akıllı üretim sistemlerinin entegrasyonu, üretkenliği ve çevikliği artırarak işletmelerin küresel rekabet gücünü önemli ölçüde artırmaktadır [27]. Ayrıca, üretim maliyetlerindeki azalmalar, işletmelerin maliyet etkinliğini artırmakta; bu durum ise hem ulusal hem de

uluslararası düzeyde önemli rekabet avantajları oluşturmaktadır [26].

Teknolojik gelişmelerin sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri de önemli bir araştırma konusu oluşturmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından, modern üretim teknolojilerinin enerji verimliliği, atık yönetimi ve karbon emisyonlarının azaltılması gibi alanlarda sağladığı katkılar öne çıkmaktadır [28,29]. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 uygulamalarının yalnızca üretim süreçlerinde verimlilik artışı sağlamakla kalmadığı, aynı zamanda çevresel etkileri de minimuma indirdiği görülmektedir [26]. Gelişmiş üretim teknolojilerinin, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine eşzamanlı olarak katkıda bulunması, modern imalat mühendisliğinin önemli bir avantajıdır.

Teknolojik gelişmelerin sonuçlarından biri de istihdam yapısındaki değişimdir. Teknolojik dönüşüm, geleneksel iş rollerinin yerini daha çok yüksek vasıflı iş gücü gerektiren yeni rollere bırakmasına yol açmaktadır. Bu süreçte düşük vasıflı işlerde azalma eğilimi görülürken dijitalleşme, otomasyon ve ileri teknoloji kullanımıyla yüksek nitelikli çalışanlara olan talep artmaktadır [30].

Özdemir ve arkadaşlarının Türkiye'deki işletmeler üzerinde yaptıkları bir araştırma, yüksek nitelikli iş gücü bulma konusunda işletmelerin yaşadığı güçlükleri gözler önüne sermektedir. Çalışma, teknolojik gelişmelerin işletme beklentileri ile iş gücü piyasasındaki nitelikli çalışan arzı arasında bir uyumsuzluk yaratarak eksikliklere yol açtığını vurgulamaktadır [30]. Bu durum, eğitim ve beceri geliştirme programlarının önemini artırmakta ve işletmelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek insan

kaynağının yetiştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

İmalat mühendisliğinin ekonomik büyüme ve verimlilik üzerindeki etkileri, kapsamlı bir dönüşüm sürecinin göstergeleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Araştırma sonuçları, teknolojik inovasyonun ve dijital dönüşümün, endüstriyel üretimin geleceğini şekillendiren temel faktörler olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, gelecek odaklı politika ve stratejilerin geliştirilmesi, sürdürülebilir ekonomik büyüme için kritik önem taşımaktadır.

Endüstriyel politikaların yeniden yapılandırılması sürecinde, teknoloji adaptasyonunun hızlandırılması ve dijital altyapının güçlendirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almalıdır. AR-GE yatırımlarının artırılması, inovasyon ekosisteminin geliştirilmesi ve endüstri-akademi işbirliğinin güçlendirilmesi, bu hedeflere ulaşmada kritik rol oynayacak faktörlerdir. Özellikle KOBİ'lerin dijital dönüşüm süreçlerinin desteklenmesi ve finansal teşvik mekanizmalarının oluşturulması, ekonomik kalkınmanın tabana yayılması açısından önem taşımaktadır.

İnsan kaynakları gelişimi ve eğitim politikaları, dönüşüm sürecinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek vasıflı işgücü ihtiyacının karşılanması için eğitim programlarının güncellenmesi, mesleki eğitimin güçlendirilmesi ve yaşam boyu öğrenme fırsatlarının artırılması gerekmektedir. İmalat mühendisliğinde dijital yetkinliklerin geliştirilmesi ve endüstriyel dönüşüme uyum sağlayacak becerilerin kazandırılması öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

İmalat sektöründe sürdürülebilirlik perspektifi, gelecek stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Çevre dostu üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve döngüsel ekonomi prensiplerine uyum sağlanması, uzun vadeli rekabet gücünün korunması açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle çevre dostu ve yeşil teknolojilere yönelik yatırımların teşvik edilmesi ve sürdürülebilir üretim uygulamalarının artarak desteklenmesi gerekmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Çiğdem ÇİÇEK: Yazar, literatür taraması, yazım ve araştırma süreçlerini yürütmüştür.

The author has conducted the literature review, writing, and researching procedures.

Oğuz POYRAZOĞLU: Yazar, kavramsallaştırma, revizyon ve düzenleme süreçlerini gerçekleştirmiştir.

The author has performed conceptualization, revision, and editing processes.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

(There is no conflict of interest in this study.)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Batmaz H, Keskin H. Sanayi performansının istihdam üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Journal of Politics Economy and Management*, 2023; 6(2): 45-63.
- [2] Küçük N E. Endüstri 4.0'ın Sanayi Bölgeleri Üzerine Etkisi: İstanbul İlindeki Organize Sanayi Bölgeleri Üzerine Bir Değerlendirme, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2023.
- [3] Ghobakhloo M, Azar A. Business excellence via advanced manufacturing technology and lean-agile manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2018; 29(1): 2-24.
- [4] Kirik V, Cheng S, Vyunova N, Galustyan O, Gamisonija S, Galustyan S. Education of future green engineers for achieving sustainable development in green manufacturing industry. *International Journal of Engineering Pedagogy*. 2021; 11(5): 138-145.
- [5] Vahdani M, Khalaf G, Afsari A. Analysis and comparison of data from design for manufacturing software and catia software for machining and workpiece manufacturing costs. *Research Journal of Applied Sciences*

- Engineering and Technology. 2014; 7(19): 4115-4123.
- [6] Casamayor J, Su D. Environmental impact assessment of lighting products. Key Engineering Materials. 2011; 486: 171-174.
- [7] Oliveira J, Oliveira O, Ometto A, Ferraudo A, Salgado M. Environmental management system iso 14001 factors for promoting the adoption of cleaner production practices. Journal of Cleaner Production. 2016; 133: 1384-1394.
- [8] Irzaev G, Kanaev M, Isalova M. Selection of the preferred design for manufacturability by constructing the pareto tuple. Istrazivanja I Projektovanja Za Privredu. 2021; 19(2): 275-281.
- [9] Puik E, Gielen P, Telgen D, Moergestel L, Ceglarek D. A generic systems engineering method for concurrent development of products and manufacturing equipment. 2014; 139-146.
- [10] Alnegrish F. Manufacturing and Economic Growth in Jordan (A Test of Kaldor's Laws). CEMJP. 2023; 31(1): 46-59.
- [11] Sani I, Samuel A, Ome W. Foreign capital inflows and manufacturing sector growth in nigeria. Malaysian Management Journal. 2021; 25: 235-260.
- [12] Taşdemir F. Industrialization, servicification, and environmental kuznets curve: non-linear panel regression analysis. Environmental Science and Pollution Research. 2021; 29(5): 6389-6398.
- [13] Suhányi L, Suhányiová A, Kádárová J, Janeková J. Relationships between average wages in the manufacturing sector and economic indicators of the manufacturing sector in the region of visegrad group countries. Sustainability. 2023; 15(5): 4164-4182.
- [14] Işık A, Alakus F, Eskicioğlu Ö. Hayvancılıkta robotik sistemler ve yapay zekâ uygulamaları. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2021; 9(6): 370-382.
- [15] Ever D, Demircioğlu E. Yapay zekâ teknolojilerinin kalite maliyetleri üzerine etkisi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 2022; 31(1): 59-72.
- [16] Güzel L. Evaluation of the impact of total quality management on supply chain management. Verimlilik Dergisi. 2023; 57(3): 533-548.
- [17] Mucir S, Elçi M, Eminoğlu G. Çalışanlara yönelik toplam kalite yönetimi uygulamalarının iş performansı ve iş tatmini üzerine etkisi. International Review of Economics and Management. 2021; 9(2): 136-153.
- [18] Bütüner O. Kalite yönetim sistemi kavramının bibliyometrik analizi. İşletme Araştırmaları Dergisi. 2022; 14(3): 2565-2590.
- [19] Duman M. A new productivity technology for business: digital twin. Verimlilik Dergisi. 2022; 189-206.
- [20] Bal A, Gevrek H, Demir S. Kitlesel imalat sistemlerinde dijital ikiz kullanılarak gerçek zamanlı üretim çizelgeleme ve tekstil sektöründe bir uygulama. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences. 2022; 34(2): 328-336.
- [21] Aylak BL, Oral O. Yapay zeka ve makine öğrenmesi tekniklerinin lojistik sektöründe kullanımı. El-Cezeri. 2021; 8(1): 74-93.
- [22] Oztuner M, Ovalı E. Dijital ikiz teknolojinin imalat sektöründe kullanımı noktasında kritik öneme sahip başarı faktörlerinin swara yöntemiyle değerlendirilmesi. Doğu Üniversitesi Dergisi. 2023; 24(1): 449-462.
- [23] Bağcı E. Türkiye'nin imalat sanayi sektörünün uluslararası rekabet gücü analizi. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi. 2016; 38(1): 73-92.
- [24] Koska A. İleri imalat teknolojileri kullanımı ve tasarım imalat entegrasyonu kapsamında rekabet avantajlarına etkisi: türkiye geneli metal mutfak eşyası imalat sektöründe bir uygulama. International Journal of Social Humanities Sciences Research. 2014; 1(1): 40-55.
- [25] Kundak S, Aktop, VS. Yüksek teknoloji ürün ihracatının ekonomik büyümeye etkisi: seçilmiş oecd ülkelerinde panel veri analizi. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi. 2023; 19(3): 445-470.
- [26] Terzi A. A research on the possible effects on production costs in the industry 4.0 process. Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi. 2021; 14(2): 837-872.
- [27] Sari E. Endüstri 4.0 çerçevesinde akıllı üretim sistemlerinin rekabet faktörlerine etkisinin incelenmesine yönelik vaka analizi. Journal of Business Management and Economic Research. 2019; 3(5): 168-181.
- [28] Demir A. Yenilik çıktı verimliliği ve ülkelerin rekabet gücüne etkisi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. 2020; 19(39): 828-842.
- [29] Tuncer, Ö. Yenilenmiş cihazlar için endüstri 4.0 standartları. Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi. 2023; 7(2): 113-127.

- [30] Özdemir F, Aksoy A, Avcioğlu Ü. Nitelikli işgücü sorunu üzerine çalışma. *Journal of Life Economics*. 2022; 9(3): 159-169.