

# ENDÜSTRİ 4.0 BÜNYESİNDEKİ OTONOM ROBOTLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

 Elif ÇİRKİN<sup>a</sup>

 Aşkın ÖZDAĞOĞLU<sup>b</sup>

## Özet

Gelişmekte olan teknolojiler ve yenilikler tarih boyunca üretim yaklaşımlarına ve felsefelerine yeni soluklar getirmiştir. Endüstri 4.0 ve bünyesinde barındırdığı teknolojiler de son yıllarda daha hızlı, daha esnek, daha kaliteli ve daha verimli üretim ekosistemleri yaratmayı amaçlayan organizasyonların gündemini meşgul etmektedir. Bununla birlikte, artan endüstriyel faaliyetler neticesinde ortaya çıkan ekolojik bozulmalar, iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin azalması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımından ortaya çıkan çevresel sorunlara insan merkezli ve ekonomik çözümler yaratma isteği sürdürülebilirlik kavramına olan ilgiyi de artırmıştır. Günümüz küresel ortamında, Endüstri 4.0 ve bünyesinde barındırdığı teknolojilere artan ilgiye rağmen, bu üretim paradigmasının sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını bütünüyle dâhil ettiği kavramsal ve uygulanabilirlik çerçevelerinde yapılan çalışmalara yönelik eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Endüstri 4.0 bünyesindeki otonom robotların sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına yaptığı katkılar bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirilecektir. Bu amaçla, çalışmanın çatısını oluşturan Endüstri 4.0, Otonom Robotlar ve Sürdürülebilirlik anahtar kelimeleri kullanılarak ilgili yazın taraması yapılmış ve web tabanlı veri görselleştirme aracı kullanılarak bu kavramlar çerçevesinde bir etiket bulutu oluşturulmuştur. İlgili yazın taraması sonucunda otonom robotlar kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Etiket bulutu verilerinin analizinde ise ekonomik, sosyal, çevresel sürdürülebilirlik optimizasyon, standardizasyon, üretim, esneklik, özerklik, enerji, performans, inovasyon, etkinlik, işbirlikçilik, verimlilik, hassasiyet, yönetim gibi kavramların ön plana çıktığı belirlenmiştir. Bu bağlamda sürdürülebilir üretim ekosistemi yaratmada otonom robotların yeri, önemi ve etkilerinin neler olacağı konusunda çalışmanın hem ilgili yazına katkı sağlayacağı hem de organizasyonlara yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Otonom robotlar, Sürdürülebilirlik



<sup>a</sup> Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muş Alparslan Üniversitesi, elif.cirkin@deu.edu.tr

<sup>b</sup> Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, askin.ozdagoglu@deu.edu.tr

Makale Geliş Tarihi: 17.09.2021, Makale Kabul Tarihi: 02.12.2021

## EVALUATION OF AUTONOMOUS ROBOTS IN INDUSTRY 4.0 IN TERMS OF SUSTAINABILITY PERSPECTIVES

### Abstract

Developing technologies and innovations have brought a new breath into production approaches and philosophies throughout history. Industry 4.0 and the technologies it incorporates have been on the agenda of organizations aiming to create faster, more flexible, higher quality, and more efficient production ecosystems in recent years. Furthermore, the desire to create human-centric and economic solutions to environmental problems arising from the ecological deterioration, climate change, reduction of biological diversity and the use of non-renewable energy sources as a result of increasing industrial activities has also increased the interest in the concept of sustainability. In today's global environment, despite the increasing interest in Industry 4.0 and the technologies it contains, there are deficiencies in the conceptual and applicability frameworks in which this production paradigm includes the environmental, economic, and social dimensions of sustainability. Within the scope of this study, the contributions of autonomous robots within Industry 4.0 to the environmental, economic and social dimensions of sustainability will be evaluated from a holistic perspective. For this purpose, a literature review was conducted using the keywords Industry 4.0, Autonomous Robots and Sustainability, which constitute the framework of the study and a tag cloud was created within the framework of these concepts using a web-based data visualization tool. As a result of the literature review, autonomous robots were evaluated comprehensively and their effects on environmental, social and economic sustainability dimensions were revealed. In the analysis of tag cloud data, it was determined that concepts such as economic, social, environmental sustainability, optimization, standardization, production, flexibility, autonomy, energy, performance, innovation, autonomy, efficiency, collaboration, productivity, sensitivity, and management came into prominence. In this context, it is thought that the study on the place, importance and effects of autonomous robots will both contribute to the relevant literature and guide the organizations in creating a sustainable production ecosystem.

**Keywords:** Industry 4.0, Autonomous robots, Sustainability



### Giriş

Teknolojik gelişmeler ve yenilikler gün geçtikçe üretim çevrelerini ve iş yapış şekillerini şekillendirmekte ve hatta üretime dair geleneksel yaklaşımları ortadan kaldırarak üretim süreçlerine yeni ve daha dinamik bakış açıları getirmektedir. Buna paralel olarak 2011 yılında Almanya'da gerçekleştirilen Hannover fuarında ortaya atılan Endüstri 4.0 ve bünyesinde barındırdığı teknoloji ve uygulamaları ise üretim ekosistemlerine yeni bir soluk getirmiştir. Bu çalışmanın ana hattını oluşturan otonom robotlar ise Endüstri 4.0'ın bünyesindeki yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, nesnelerin interneti, büyük veri ve analitiği, bulut bilişim, akıllı fabrikalar, eklemeli üretim, siber-fiziksel sistemler gibi teknolojik gelişmeler ve yeniliklerden biridir (Almada-Lobo, 2015). Geçmişten günümüze değin ağırlıklı bir biçimde endüstriyel robotlar olarak pek çok sanayi kolunda faydalanılan robotlar daha sonra Endüstri 4.0'ın bünyesinde barındırdığı yapay zekâ, makine öğrenmesi, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti gibi teknolojik gelişmelerin entegrasyonu ile otomatik iş yapma fonksiyonlarından sıyrılıp belirli bir zekâyâ, öğrenme ve veri işleme potansiyeline sahip olan sistemlere dönüşmüşlerdir (Yazıcı, 2016, s. 39). Daha sonrasında ise, insan ve robot operatörlerinin etkin bir şekilde işbirliği yapması ve birbirlerinden öğrenmesi ve böylelikle aralarında gelişen güçlü bir çalışma uyumu söz konusu olmuştur.

İşbirlikçi robotlar olarak adlandırılan, diğer bir ifade ile cobotlar (*Collaborative Robots*), bir operatörün bir görevi nasıl yerine getirdiğini gözlemleyen ve analiz eden, ardından içinde bulunduğu ortamı/çevreyi öğrenen ve istenen görevi yerine getiren adeta bir çırak gibi düşünülebilirler. Ayrıca, cobotlar işbirlikçi çalışma tarzının ve bir operatörün varlığından haberdar olduklarından, birlikte çalışırken ortaya çıkabilecek güvenlik ve riskle ilgili sorunların da önüne geçebilme potansiyeline sahiptirler (Fırat & Fırat, 2017; Nahavandi, 2019).

Günümüz üretim ekosistemlerinde, maliyet üzerinde rekabet avantajı sağlama, ürün çeşitliliğini ve kalitesini artırma, kitlesel üretimden ziyade müşteri eksenli üretime yönelme ve piyasa oynaklığı üzerindeki baskılar, yeterli sayıda işgücü olmasına rağmen, organizasyonların daha yenilikçi, esnek ve otonom üretim yaklaşımlarını benimsemesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, bahsi geçen baskıların önüne geçebilmek adına ve bununla birlikte insan operatörlerin becerilerinin ve sınırlarının ötesinde montaj uyumluluğu, hassasiyet, esneklik ve güvenilirlik gerektiren oldukça karmaşık ürünlerin üretiminde otonom robotlardan ve sistemlerden yararlanılması söz konusu olmuştur. Otonom robotlar ve sistemlerin bunların yanı sıra işçi güvenliğini, üretim esnekliğini, süreç kalitesini ve verimliliğini artırma ve çevresel etkiyi azaltma gibi konulara da çözümler sunduğu düşünülmektedir (Esmailian vd., 2016).

Bu katkılara paralel olarak, üretim çevrelerinde, Endüstri 4.0 teknoloji ve uygulamalarına yönelik gösterilen yoğun ilginin yanı sıra ekolojik bozulmalar, çevre kirliliği, iklim değişiklikleri, biyolojik çeşitliliğin azalması, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımından ortaya çıkan çevresel etkiler gibi olası sorunlar ile birlikte çevresel sürdürülebilirlik, insanın yaşam kalitesini artırmaya yönelik insan odaklı çalışmalara ağırlık verilmesi ve bu yolla sosyal sürdürülebilirlik ve buna ek olarak ekonomik daimiyeti sağlama hedefleri ekonomik sürdürülebilirlik kavramlarına olan ilgi de artmıştır.

Bu çalışma kapsamında ise Endüstri 4.0'ın bünyesindeki otonom robotların sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarına yaptığı katkıların neler olduğunun araştırılması hedeflenmektedir. Çalışmanın sonraki bölümünde, Endüstri 4.0'ın tarihsel gelişiminden ve sürdürülebilirliğin boyutlarından söz edilecektir. Daha sonra ise, otonom robotlar kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkileri ilgili yazın taraması doküman analizi yöntemiyle incelenecek ve değerlendirilecektir. Bununla birlikte web tabanlı veri görselleştirme aracı vasıtasıyla bu kavramlar çerçevesinde bir etiket bulutu oluşturulması yoluyla derleme bir analiz yapılacak ve analiz sonucunda elde edilen bulgular sunulacaktır. Son olarak ise, çalışmadan elde edilen bulgular ışığında sonuç ve öneriler kısmına yer verilecektir.

## A. LİTERATÜR TARAMASI

Tarih boyunca yaşanan endüstriyel gelişmeler ışığında sanayi devrimi terimi, genel olarak, bireylerin ve/veya kuruluşların iş yapma biçimlerinde hızlı, köklü ve ani bir değişiklik olarak tanımlanabilir. İlk sanayi devriminin ortaya çıkışına yönelik çeşitli düşünceler olmakla birlikte, iddiaya göre ilk sanayi devrimi, su ve buhar gücü kullanılarak dokuma tezgahlarının mekanizasyonu ile 1760-1830 yılları arasında etkisini göstermeye başlamış; küçük fabrikalarda el sanatları üretiminin yerini mekanik üretime bırakmış ve böylelikle birinci sanayi devriminde fabrika sistemlerinin temelleri ile

birlikte ve üretimde verimliliğin de ilk adımları atılmıştır. Daha sonra elektriğin icadı ile 20. yüzyılın başlarında ikinci sanayi devrimi gündeme gelmiş ve Henry Ford tarafından geliştirilen seri üretim sistemleri sayesinde üretim süreçleri seri üretime uyum sağlamaya başlamıştır. Ardından elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin üretime katkıları sonucunda üçüncü sanayi devrimi kavramı ortaya çıkmış; otomasyon ve dijitalleşme üretime dâhil edilmiştir (Bahrin vd., 2016; Morrar vd., 2017; Zhong vd., 2017).

Daha önceki sanayi devrimlerine bakıldığında özetle sırasıyla buhar motoru, elektrik, dijital teknoloji gibi gelişmeler ışığında ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 kavramı ise ilk kez 2011 yılında Hannover Fuarı'nda ortaya atılmıştır. Endüstri 4.0, ABD, Çin, Birleşik Krallık gibi ülkelerde sırasıyla "Akıllı Üretim" ve/veya "Zeki Üretim", "Made in China 2025" ve "Üretimin Geleceği" gibi çeşitli isimlerle anılan ve hızla gelişen bir yaklaşımdır (Kagermann vd., 2013). Türkiye'de ise Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (TÜSİAD) 2016 yılında "Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte olan Ekonomi Perspektifi" isimli bir rapor yayınlamıştır ve raporda Sanayi 4.0 kavramına, önemine, potansiyel etkilerine ve ülkemiz için bir yol haritası oluşturma gibi konulara değinilmiştir. (Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği [TÜSİAD], 2016). Bu yeni üretim yaklaşımının farklı kültürlerde ve ülkelerde nasıl adlandırıldığından ziyade, önemli olan nokta bu yeni üretim yaklaşımının daha iyi karar verme, üretkenlik, verimlilik, esneklik, otomatik ve özelleştirilmiş üretim sistemleri gibi olanaklar sağlayacağını özümsemektir.

Dördüncü sanayi devrimini önceki sanayi devrimlerinden temelde farklı kılan unsur, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, nesnelerin interneti, büyük veri ve analitiği, simülasyon, sensörler, veri madenciliği, makine öğrenimi, yatay ve dikey sistem entegrasyonu siber güvenlik, bulut bilişim, akıllı fabrikalar, eklemeli üretim, siber-fiziksel sistemler gibi teknolojilerin yakınsaması ve çeşitli alanlardaki etkileşimleridir (Schwab, 2016, s. 17). Aşağıda yer alan Tablo 1'de Endüstri 4.0 teknolojilerinin açıklamalarına kısaca yer verilmiştir.

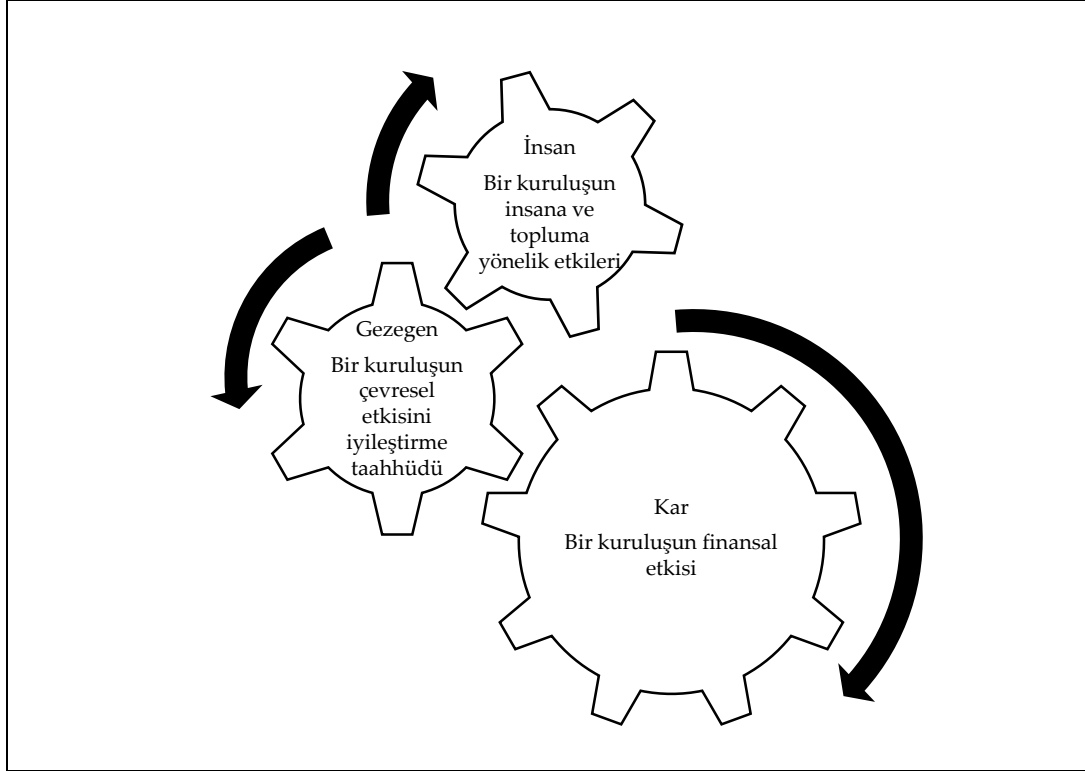
**Tablo 1.** Endüstri 4.0 Teknolojilerine Genel Bir Bakış (Öztuna, 2017)

Endüstri 4.0'ın Temel Teknolojileri ve Uzantıları	Açıklama
<b>Ekleme Üretim</b>	Üç boyutlu baskı olarak da bilinen eklemeli üretim, torna, freze gibi geleneksel üretim sistemlerinin aksine, parça katmanını doğrudan üç boyutlu dijital model verilerinden alarak son derece karmaşık yapıda tasarlanmış ürünleri bile etkin ve kısa bir süre içinde katman katman üretmeye yönelik bir süreçtir.
<b>Artırılmış Gerçeklik</b>	İnsan merkezli endüstriyel ortamı teşvik etmek amacıyla, gerçek ve sanal öğeleri birbiriyle koordine ederek, esnek ve gerçek zamanlı bilgi elde etmeyi aynı zamanda kullanıcıların fiziksel ve dijital ortam arasındaki boşluğu doldurmasını sağlar.
<b>Otonom Robotlar</b>	İnsan ile işbirliği içinde olan otonom robotlar üretimde esneklik, kalite ve verimliliği sağlarken, insan sağlığı açısından tehlikeli, riskli işleri üstlenerek güvenli bir iş ortamı sağlarlar.
<b>Büyük Veri ve Analitiği</b>	Üstsel oranda artan veri hızının depolanması, analiz edilmesi, yorumlanması, bu yolla müşteri profillerinin ve tüketim alışkanlıklarının anlaşılması günümüz küresel dünyasında birbiriyle sürekli rekabet halinde olan işletmeleri öne çıkaracak bir fırsat oluşturur.
<b>Bulut Bilişim</b>	Bilgi işlem hizmetlerinin internet üzerinden sağlanarak daha hızlı, inovatif ve esnek kaynaklar ile ekonomik ölçeklendirme sunulması anlamına gelir.
<b>Siber Fiziksel Sistemler ve Siber Güvenlik</b>	Birbirleri ile internet üzerinden nesne ve sistemlerin oluşturduğu ağı ve gerçek dünyadaki nesnelere ve davranışların bilgisayar ortamında simülasyonu ortaya çıkan sanal ortamı ifade eder.
<b>Yatay ve Dikey Entegrasyon</b>	İşletmenin içinde ve dışında bulunan tüm paydaşların ve fonksiyonların birbiriyle koordine olarak üretimin kolaylaşmasını, kaynak verimliliğinin artmasını ve küresel tedarik zincirinde optimizasyon elde edilmesini sağlar.
<b>Nesnelerin İnterneti</b>	Tüm nesnelerin internete erişmesini ve diğer cihazlar ile etkileşim halinde olmasını, iletişim kurabilmesini sağlayan bir teknolojidir.
<b>Simülasyon</b>	Gerçek hayattaki bir sistemin ya da sürecin çalışmasının bilgisayar ortamında birebir taklit edilmesi ve bu yolla problemlerin önceden tespit edilerek anında çözülmesi, daha verimli ve esnek üretim sistemlerinin oluşturulmasıdır.

Bu açıklamalara paralel olarak, Endüstri 4.0 daha hızlı, daha kaliteli, daha esnek ve daha verimli üretim süreçleri yaratmakta ve bünyesindeki teknolojiler ve yeniliklerle iş modellerinin yapısını etkileyerek iş akışlarını kökten değiştirmesi beklenmektedir. Dolayısıyla rekabet gücünü artırmak, bireysel müşteri gereksinimlerini karşılamak, karar vermeyi optimize etmek, etkin tedarik zincirleri oluşturmak, kaynakların verimli kullanılması ve yeni ürün ve hizmetler aracılığıyla değer fırsatları yaratılması gibi etkilere sahip olacağı öngörülmektedir (Agostini & Filippini, 2019; Gümüsoğlu, 2018; Strandhagen vd., 2017).

Bununla birlikte, Endüstri 4.0 teknoloji ve uygulamalarının, kirlilik ve atık, yenilenemeyen kaynakların tükenmesi, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı gibi çevre sorunlarının ortadan kaldırılması, dolayısıyla gelecek nesillerin yaşam standartlarının iyileştirilmesi gibi sorunlara çözüm üretmeye yönelik adımlar atacağı öngörülmektedir. Diğer bir deyişle, hem yoğun rekabetçi ortamın sonucu olarak geliştirilen küreselleşme stratejileri, şirketlerin farklılaşma stratejileri ve küresel bir bilgi toplumu olmanın bir sonucu olarak sosyal ve çevresel sorumluluk bilinci yüksek müşteri kitlesinin taleplerini ve gereksinimlerini karşılamak için geliştirilen stratejiler hem de sosyal, çevresel ve ekonomik boyutlarda sürdürülebilir endüstriyel değer yaratmak günümüz iş çevreleri için büyük önem taşımaktadır ve Endüstri 4.0 teknoloji ve uygulamalarının bu bağlamda bu stratejilerin geliştirilmesine ve paralel olarak sürdürülebilirlik boyutlarına da katkıları olacağı düşünülmektedir (Kiel vd., 2017; Müller vd., 2018; Stock & Seliger 2016).

Çalışmanın diğer ayağını oluşturan sürdürülebilirlik kavramına bakıldığında ise, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (Brundtland, 1987) tarafından formüle edilen tanıma göre, sürdürülebilirlik “bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden karşılamak” olarak tanımlanmaktadır. Eylül 2015'te düzenlenen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde 2030 yılına kadar ulaşılması hedeflenen on yedi sürdürülebilir kalkınma amacı belirlenmiştir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın hazırladığı bu amaçlar sırası ile “yoksulluğa son, açlığa son, sağlık ve kaliteli yaşam, nitelikli eğitim, toplumsal cinsiyet eşitliği, temiz su ve sanitasyon, erişilebilir ve temiz enerji, insana yakışır iş ve ekonomik büyüme, sanayi, yenilikçilik ve altyapı, eşitsizliklerin azaltılması, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar, sorumlu üretim ve tüketim, iklim eylemi, sudaki yaşam, karasal yaşam, barış, adalet ve güçlü kurumlar ve amaçlar için ortaklıklardır”(United Nations Development Programme [UNDP], 2021). Endüstriyel faaliyetlerin artması ve hızla artan dünya nüfusunun bir sonucu olarak çıkan ekolojik bozulmalar, iklim değişiklikleri, biyolojik çeşitliliğin azalması, hava ve çevre kirliliği, yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenmesi gibi çevresel sorunlar ile birlikte, günümüz küresel dünyasında, hem rekabetçi koşullar ile başa çıkabilme hem de müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına organizasyonlar ölçek büyüklüklerinden ve yapılarından bağımsız olarak sürdürülebilirlik kavramına karşı bir ilgi duymaktadırlar. Elkington (1997) organizasyonların yalnızca kar amaçlı değil de sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik konularına da yöneldiği “Üçlü Bilanço Sistemi (Triple Bottom Line-TBL)” kavramını ortaya atmıştır. Aşağıda yer alan Şekil 1’de üçlü bilanço sistemini oluşturan gezegen, insan ve kar boyutları gösterilmiş ve bunların kısa açıklamalarına verilmiştir. Bununla birlikte, şekil kaynaktan uyarlanırken sürdürülebilirliğin bu üç boyut etrafında döndüğünü ve birinin bozulmasının diğerlerinin çalışmasını etkileyeceğini vurgulamak amacıyla dişli çark şekli tercih edilmiştir.



Şekil 1. Üçlü Bilanço Sistemi (Gillis, 2021)

Böylelikle üçlü bilanço sistemleri altında hem gezegen, hem insan hem de işletme karlılıklarına odaklanan yönetim süreç ve stratejileri geliştirilmiştir. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirlik ile ilgili stratejiler gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir gezegen bırakmaya odaklanır, diğer bir ifade ile enerji kaynaklarının verimli kullanılması, atık yönetimi, çevre kirliliği ile mücadele, geri dönüşüm, geri kullanım ve yeniden kazanım oranlarının artırılması, karbondioksit salınımı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ekolojik ayak izinin en aza indirilmesi gibi konular ile ilgilidir. Diğer bir yandan, sosyal sürdürülebilirliğe yönelik stratejiler insan ve insana dair konulara odaklanarak emeğe, beşeri sermayeye, sosyal refah ve kalkınmaya ve topluma faydalı ve adil uygulamaların yürütülmesi gerekliliğine yönelir. Bununla birlikte, sosyal sürdürülebilirlik şirket içinde uygulanan istihdam koşul ve haklarını, işçi ve işveren refahı ve sağlığı, iş yeri güvenliği gibi konuları da göz önünde bulundurmaktadır. Ayrıca tedarikçiler, müşteriler, şirketin mal ve hizmetinden etkilenen paydaşlar, rakip şirketler ile ilişkilerin düzey ve kalitesi de sosyal sürdürülebilirliğin kapsamına girmektedir. Son olarak ekonomik sürdürülebilirlik ile ilgili süreç ve stratejiler ise ekonomik değer yaratma, karlılık, finansal istikrar, maliyetlerde azalma, üretimde verimlilik, esneklik ve uyum gibi konulara odaklanarak işletmenin büyümesini ekonomisinin büyümesiyle ilişkilendirir (Arowoshegbe vd., 2016).

## B. OTONOM ROBOTLARA GENEL BİR BAKIŞ

Özerklik ya da otonomi, gerçek dünya ortamında uzun süreler boyunca dış kontrol mekanizması olmaksızın çalışabilme yetisine sahip sistemleri kapsar. Otonom sistemlerin dinamik bir ortamda hayatta kalabilecekleri, kendi içyapılarını ve süreçlerini geliştirebilecekleri, çeşitli davranışlar sergileyebilecekleri

ve hatta sınırlar dâhilinde çevresel değişikliklere uyum sağlayabilecekleri varsayılırken, otomatik sistemler otonom sistemlerden farklı olarak sensörden gelen bilgilerle yönetilen veya mekanik olarak hareket ettirilerek çalışan cihaz ve araçları içerir. Öte yandan, otomatik sistemlerde tekrarlayan mekanik ve/veya elektronik işlemler bulunmaktadır, otomatik çamaşır makinesi örneğinde olduğu gibi ne anlık karar gücü ne de makine öğrenmesi vardır (Yılmaz, 2018). Bundan dolayı otonom ve otomatik olarak adlandırılan iki kavram birbiriyle karıştırılmamalıdır.

İlk olarak, 1970'lerde dijital kontrol elektroniğinin ve ardından yapay zekânın da ortaya çıkmasıyla birlikte otomatik algılama ve biliş üzerine yoğun bir odaklanma gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, sensörler, aktüatörler ve işlemcilerin maliyetindeki düşüşler ile de otonom sistemlerin ve robotların gelişmesi ve çeşitli uygulamalarda kullanması söz konusu olmuştur (Watson & Scheidt, 2005).

Bilindiği üzere, sayısız fonksiyon ve işlem, manuel talimat yaklaşımlarıyla veya yarı özerk bir şekilde gerçekleştirilebilir ve bu yaklaşımlar sayesinde öngörülemeyen çalışma koşulları ve ortamlarında güvenilirlik ve kısmi esneklik sağlanabilir. Ancak, manuel talimat yaklaşımlarında ve yarı özerk sistemlerde duyuşsal veriyi kavramak ve ardından işlemek için operatör müdahalesi, diğer bir ifade ile insan bilişsel karar verme süreçlerinin iş yapış süreçlerine dâhil edilmesi gerekmektedir bu da verimlilik konusunda endişelere yol açmaktadır. Bundan dolayı, bu sistemlerin elverişli olmayan ve/veya öngörülemeyen çalışma koşullarında ideale yakın bir şekilde çalışabilmesi için daha belirgin zekâ ve daha gelişmiş özerklik derecelerine sahip olmaları gerekmektedir (Wong vd., 2018). Buna paralel olarak, endüstriyel robot manipülatörleri daha önce algılama ve/veya akıl yürütme özelliklerinden yoksundu ve yalnızca belirli görevleri yerine getirmek için önceden programlanmaktaydı. Yani robotlar üretim ortamlarında zaten kullanılıyor olsa dahi işlevleri ve yapıları oldukça sınırlıydı. Ancak, esnek, akıllı ve otonom robotik sistemlerin, operasyonel ve teknik yeteneklere sahip farklı sensörlerden gelen bilgileri etkin bir şekilde birleştirme ve diğer fabrika otomasyon bileşenleri ile iletişim arayüzlerini standartlaştırma ve böylece endüstriyel bilgisayarla bütünleşmiş bir üretim ortamına entegrasyon potansiyeline sahip olması beklenmektedir (Freund & Rossmann, 1994). Bununla birlikte, Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı ve beraberinde getirdiği teknolojiler ile birlikte, otonom robotlar ve sistemler gündemi her zamankinden daha fazla işgal ettiği görülmektedir. Operatör müdahalesi ile çalışmaktan ziyade adeta bir iş arkadaşı gibi operatör ile birlikte çalışma prensibi kavramı ortaya çıkarak (insan-robot işbirliği), çok daha esnek, işbirlikçi, verimli, kendi kendine öğrenen ve kendi kendini yapılandıran sistemler haline geldi. Bu robotlar ve sistemler ise üretim çevrelerinde imalat, montaj, bakım ve lojistik, depolama, malzeme taşıma, ofis yönetimi gibi çok farklı alanlarda kullanılmaya başlandı (Rüßmann vd., 2015, s. 3).

Daha sonrasında ise performans, dakiklik, çok yönlülük, esneklik ve donanımlardaki gelişmelerle birlikte yapay zekânın geliştirilmesi, otonom sistemlerin uygulama maliyetlerinin düşürülmesini ve otonom robotların yaşamın çeşitli yönlerinde konuşlandırılmasını sağlamıştır. Örneğin, tekerlekli mobil araçlar, insansız hava araçları, yılan robotlar, bacaklı robotlar, insansılar, ev robotları ve mobil robotlar gibi farklı özelliklere, işlevlere ve tasarımlara sahip robotlar, özerklik, zekâ, el becerisi ve hareketlilik değişkenlerinin derecelerine ve büyüklüklerine bağlı olarak dinamik, belirsiz, karmaşık ve öngörülemeyen ortamlarda çeşitli görevleri yerine getirmek için kullanılmaktadırlar (Bekey, 2005, s. 2).



Görüldüğü üzere otonom robotlar ve sistemler günlük hayattan üretim çevrelerine değin çok farklı alanlarda etkisini göstermektedir ancak otonom sistemler ve robotlarla ilgili çözümlenmesi gereken birtakım problemler mevcuttur. Bu sorunlardan en önemlisi olan otonom robotların insanlarla benzer hak ve sorumluluklara sahip olup olmadığı sorusuyla baş edebilmek ve hesap verebilirlik yükümlülüklerini belirleyebilmek için öncelikle kanunlar, hukuk sistemleri ve yönetmelikler yeniden tasarlanmalıdır (Schwab, 2016, s. 165). Bununla birlikte, güvenlik sorunları ve siber saldırılar gibi tehlikeler bu tür otonom sistemleri ve robotları kullanmanın diğer problemleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle organizasyon büyüklüğü ve yapısı ne olursa olsun otonom robot ve sistemleri kullanan kurum ve kuruluşlar avantajlarının yanı sıra bu problem ve tehditlerin farkında olmalı ve bunlara yönelik önlemler almalıdır.

## C. YÖNTEM

### 1. Araştırmanın Modeli

Bu çalışmada, 2005-2021 yılları arasında otonom robotlar ve sürdürülebilirliğe yönelik potansiyelleri hakkında yayınlanmış olan akademik çalışmaların değerlendirilmesi ve doküman analizi kullanılarak ortaya konulması amaçlanmıştır. Doküman analizinde Geray (2006)' ya göre dokümanları niteliğine ve buldukları ortama göre sınıflandırmak mümkündür. Bu çalışmada, veri tabanlarında yer alan ve yazılı olan dokümanlar kullanılmıştır. Çalışmaya derinlik katmak amacıyla çalışmanın bütününde yararlanılan akademik kaynaklar kullanılarak etiket bulutu oluşturulmuştur. Etiket bulutları belirli metinlere veya kavramlara görsel olarak derinlemesine bir bakış açısı sunmak için kullanılır. Bununla birlikte, etiket bulutları belirlenen bir konu ile ilgili farklı görüşleri görsel olarak bir araya getirmekle kalmaz aynı zamanda yazı tipi boyutlarını değiştirerek frekansları saptamak amacıyla da kullanılır (White, 2013).

### 2. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bu araştırmanın çalışma evrenini 2005-2021 tarihleri arasındaki ScienceDirect, Springer, Wiley Online Library ve Web of Science gibi farklı veri tabanlarındaki yayınlanan akademik çalışmalar oluşturmaktadır.

### 3. Verilerin Toplanması ve Analizi

Araştırma boyunca incelenen akademik çalışmalar "Endüstri 4.0", "Otonom Robotlar" ve "Sürdürülebilirlik" anahtar kelimeler kullanılarak derlenmiştir. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında incelenen akademik çalışmalardan yararlanılarak etiket bulutu oluşturulmuştur ve elde edilen verilerin görsel analizine yer verilmiştir.

## D. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 2005-2021 tarihleri arasında ScienceDirect, Springer, Wiley Online Library ve Web of Science veri tabanları Endüstri 4.0", "Otonom Robotlar" ve "Sürdürülebilirlik" anahtar kelimeleri vasıtasıyla taranmış ve toplam 466 çalışmaya ulaşılmıştır. Ancak bu çalışmalar Endüstri 4.0'ın içinde barındırdığı tüm alt teknolojileri içerdiği ve sürdürülebilirlik kavramı kapsamlı olarak tartışılmadığı için

elenerek 50 çalışmaya indirgenmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan otonom robotların sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına olan katkıları özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak bütünsel bir bakış açısı ile değerlendirilmiş ve aşağıda yer alan Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Otonom Robotların Sürdürülebilirlik Boyutları Üzerindeki Etkileri

Yazar	Açıklama
(Afolalu vd., 2021)	Otonom robotların nesnelerin interneti ve siber fiziksel sistemler gibi teknolojilerle entegre olarak üretim ortamlarında kullanılması insan kaynaklı hataların en aza indirgenerek yüksek kalitede ürünler üretilmesini sağlar. Bunun sonucu olarak yüksek ekonomik değer yaratması ve sürdürülebilirliğin ekonomik boyutuna katkı sağlaması beklenmektedir.
(Indoria vd., 2021)	Yüksek verimlilik ve kapasite ile çalışan otonom robotlar müşteri gereksinimlerini tam zamanında karşılamanın yanı sıra enerji tasarrufu, kaynak ve malzemelerin etkin bir şekilde kullanılması ve imalat süresince oluşan atıkların minimum seviyeye düşürülmesi gibi konulara da katkı sağlayarak sürdürülebilirliğin hem çevresel hem de ekonomik boyutlarına etki etmektedir.
(Bechtsis vd., 2017; Okwu vd., 2021)	Yapılan analizler doğrultusunda, Endüstri 4.0 bünyesindeki otonom robot ve sistemlerin etkin tedarik zincirleri oluşturulmasında rol oynadığı görülmektedir. Bununla birlikte, operasyonel faaliyetlerin optimizasyonunun sağlanması, işçilik ve bakım maliyetlerinin azaltılması, kaza risklerinin azaltılarak endüstriyel tesislerde daha güvenilir çalışma koşulları sağlanması ve tedarik zincirleri boyunca daha yeşil ve temiz dağıtım ağlarının oluşturulması konularında da etkilidir. Böylelikle otonom robot ve sistemlerin kullanımının sürdürülebilirliğin üç boyutuna da etki ettiği söylenebilir.
(Rose vd., 2021)	Otonom robotların karar verme süreçlerini iyileştirmesi, işçilik maliyetlerinin azaltılması, daha düşük sera gazı emisyonu ve daha az çevre kirliliği yaratması ve kaynak kullanım verimliliğinin artırılması gibi çeşitli fayda ve fırsatlar sunduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda ise otonom robot ve sistemlerin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıları olduğu sonucuna varılmaktadır.
(Mabkhot vd., 2021)	Yapılan çalışmada otonom robotların sürdürülebilir kalkınma amaçlarından üçüncüsü olan “Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam” ile dokuzuncusu olan “Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı” olan etkilerinin yüksek olduğu ve sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkıları olduğu görülmektedir.
(Sparrow & Howard, 2021)	Otonom robotlar, işçilik maliyetlerinin azaltılması, üretkenliğin artırılması ve etkin atık yönetimi sağlanması yolu ile ekonomik fırsatlar doğurmaktadır, uzun vadede ise ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasını sağlamaktadır.

Araştırma sürecinde belirlenen anahtar kelimeler vasıtasıyla incelenmiş olan akademik çalışmalarda ağırlıklı olarak nitel yöntemlerin tercih edildiği ve uygulamaya yönelik çalışmalarda eksiklikler olduğu görülmektedir. Bu eksikliğin en büyük nedenleri arasında ise uygulama yapılacak işletmelerin otonom robot ve sistemleri, teknolojik altyapı yetersizliği ve yüksek nakdi sermaye gerekliliği gibi sorunlardan dolayı bünyelerine bütünüyle katamamış olmaları gösterilebilir. Bunun yanı sıra otonom robotlar ve sistemlerin ekonomik sürdürülebilirliğe yönelik katkılarının sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal boyutlarına göre daha fazla ele alındığı söylenebilir.

Diğer bölümde ise incelenen çalışmalardan elde edilen bulgu ve tartışmalara sürdürülebilirliğin üç boyutunu da ayrı ayrı ele alarak değinilmiştir.

## 1. Otonom Robotların Çevresel Sürdürülebilirliğe Katkıları

Otonom robot ve sistemlerin, tarım ve bahçe işlerinden kaynaklı ekolojik ayak izinin ve üretim atıklarının azaltılması, mahsullerin verimli yollar ile sulanması, yetiştirilmesi ve hasat edilmesi ve uygun toprak koşullarının izlenmesi yoluyla tarım endüstrisine fayda sağlaması ve böylece çevresel sürdürülebilirlik açısından katkı sağlaması beklenmektedir (Ahmad vd., 2021; Saidani vd., 2020).

Bununla birlikte, otonom robotlar ve sistemlerden olan İnsansız Kara Araçları (İKA), arama kurtarma görevleri, işgücü otomasyonu, çevre araştırmaları ve harita oluşturma görevleri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İKA'lar dışında, sürücüsüz araçlar diğer bir ifade ile kendi kendini süren arabalar olarak kabul edilen ve özel olarak kişisel kullanım için geliştirilen otonom araçlar sürekli olarak sayıca ve özellik bakımından gelişmekte ve araç kullanamayan ve/veya kullanmak istemeyen bireyler için artırılmış güvenlik ve hareketlilik sağlamanın yanı sıra genel araç kullanımının artmasından kaynaklanan karbon ayak izinin artması, hava, çevre, gürültü kirliliğinin artması gibi sorunların önüne geçerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Bausys vd., 2019; Mitchell vd., 2010).

Çeşitli endüstriyel ortamlarda, otonom robotlar olarak tasarlanan mobil robotların, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) etkinliğinin kontrolü, hava kalitesi ve radyasyon hızı, tehlikeli çevresel değişikliklerin tespiti dâhil olmak üzere çevresel izleme ve denetim süreçleri gibi farklı uygulamaları vardır. Bu sayede üretimden taşımaya dek tedarik zincirleri boyunca çevresel değişiklikler izlenebilecek ve üretim süreçlerinde ya da sonrasında ortaya çıkabilecek olan çevreye zarar verme potansiyelleri önceden tespit edilip önlemler alınabilecektir, yine bu yolla otonom robot ve sistem kullanımının çevresel sürdürülebilirlik yaratma konusunda önemli katkıları olması öngörülmektedir (Fahimi, 2009, s. 7).

Sonuç olarak otonom robot ve sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik oluşturmada bünyesinde yer alan özellikler ve uzantılar sayesinde etkin bir rol oynadığı görülmektedir. Bu bağlamda, gelecek nesillere daha yaşanabilir çevre bırakma hedefini karşılama noktasında, özellikle çevreye daha çok zarar veren kâğıt, maden, demir ve çelik, metal ve kimya endüstrisi gibi sektörlerde otonom robot ve sistemlerden yararlanılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

## 2. Otonom Robotların Ekonomik Sürdürülebilirliğe Katkıları

Otonom robotların ekonomik sürdürülebilir kalkınmadaki rolü üzerine yapılan araştırmalara göre, yüksek hassasiyetli otonom sistemler önemli ölçüde işçilik maliyetlerini düşürebilir. Hammadde, fire ve atık miktarlarını azaltabilir ve birlikte çalıştığı operatörlerin hata paylarını düşürerek, üretimin kalitesini, verimliliğini ve esnekliğini artırabilir, dolayısıyla robotik ve yapay zeka alanındaki gelişmeler sürdürülebilir kalkınmayı iyileştirebilir, hızlandırabilir ve destekleyebilir (Bugmann vd., 2011).

Bununla birlikte otomotiv, elektrik, elektronik ve mekanik, inşaat gibi endüstrinin birçok alanında yararlanan otonom robotların:

- İşçilik maliyetlerini, hataları, yeniden işlemleri ve risk oranlarını azaltmak; daha esnek bir üretim sistemi sağlamak,

- Daha tutarlı bir kalite kontrolü sağlamak; çıktı miktarını ve verimliliği artırmak; nitelikli işgücü açığını karşılamak,
- Işıkların kapalı olduğu üretim ortamlarında (Lights-Out Manufacturing) bile sürekli çalışabilme kabiliyetine sahip olmak,
- İnsandan daha hızlı ve hatasız sonuca ulaşma yeteneğine sahip olmak,
- Mükemmel sipariş karşılama oranlarını, teslimat hızını ve nihayetinde müşteri memnuniyetini artırmak olarak sıralanan sayısız faydalarının nihayetinde yüksek kar getirilerine dönüşeceğini ve ekonomik sürdürülebilirlik sağlama konusunda faydaları olacağı söylenebilir (Fitzgerald & Quasne, 2017).

### 3. Otonom Robotların Sosyal Sürdürülebilirliğe Katkıları

Zorlu ve/veya tehlikeli çalışma koşulları karmaşık, dinamik, yapılandırılmamış ve öngörülemeyen koşulları kapsar ve yüksek radyasyon seviyeleri, yüksek patlama riski, aşırı sıcaklıklar veya basınçlar ve oksijen eksikliği gibi potansiyeller nedeniyle tehlikeli olarak adlandırılır (Fahrner vd., 2001). Bu bağlamda, petrol ve gaz denetimi, askeriye, güvenlik, gözetim ve izinsiz giriş tespiti, uzay araştırmaları ve derin deniz operasyonları gibi sektörlerde otonom robotların ve sistemlerin konuşlandırılması sağlık, güvenlik ve çevre konuları gibi hassasiyet, dikkat ve özen gerektiren konuları ele aldığı için önemli ve elzemdir (Wong vd., 2018). Otonom robot ve sistemlerden ayrıca lojistik, otomotiv, elektrik, elektronik, metal, makine endüstrileri, inşaat, kimya, kauçuk, plastik endüstrileri ve gıda sektörü gibi imalat sektörlerinde, bir insan gücü tarafından pratik olarak ele alınmayan belirsiz, karmaşık ve öngörülemeyen ortamlarda faydalanılarak üretim optimizasyonu elde edilir (Watson & Scheidt, 2005).

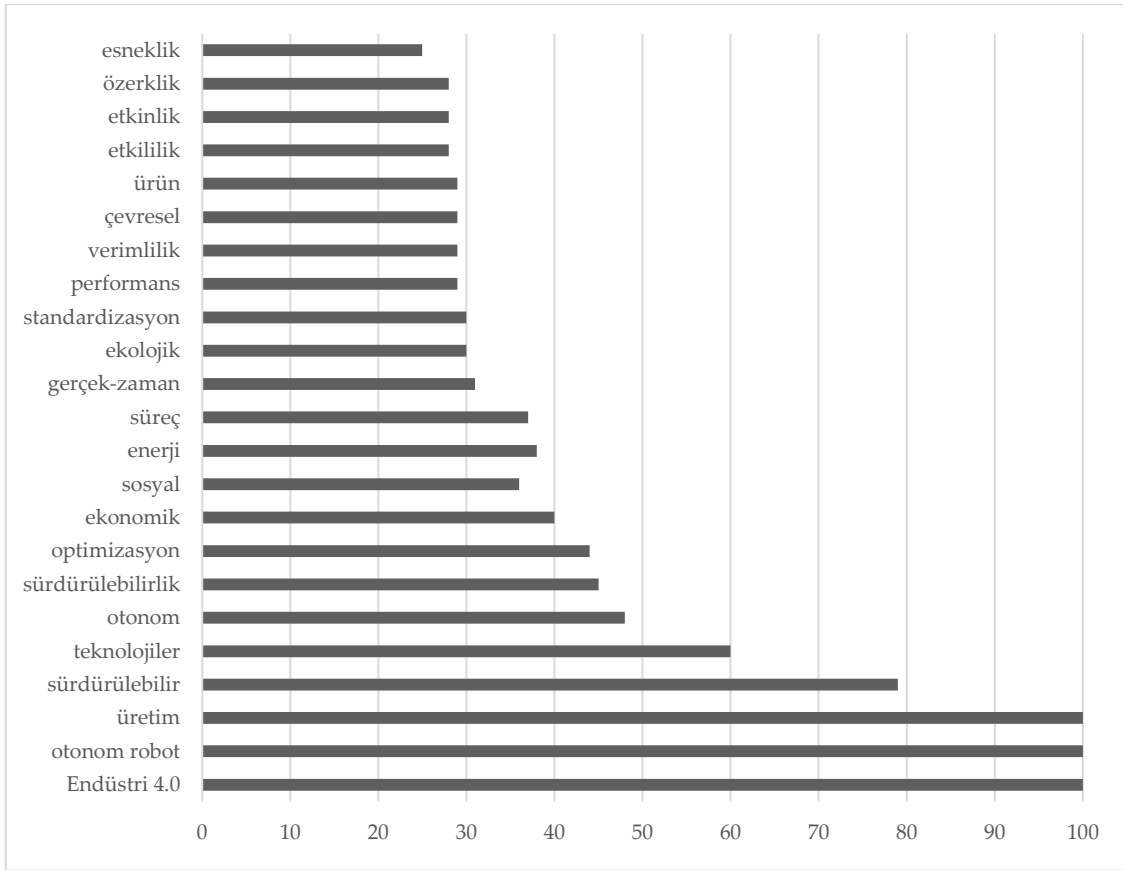
Yapılan bu çalışmalara dayanarak otonom robot ve sistemlerin:

- Tehlikeli, öngörülemeyen ve riskli çalışma ortamlarında operatörlerin yerine çalışması, böylece güvenlik ve sağlığın iyileştirilmesi,
- Monoton, sıkıcı ve tekrarlayan işlerde operatörlerin yerine çalışması, böylece operatörleri otomatikleştirilemeyen, kas gücünden ziyade stratejik çaba gerektiren işlere odaklanması söz konusu olabilir (Çengelci & Çimen, 2005). Otonom robot ve sistemlerin kullanılmasından doğan avantajların iş yapış biçimlerine pozitif yön vermesi ve daha güvenilir, risksiz ve elverişli çalışma koşulları sunması nedeniyle otonom robot ve sistemlerin sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlaması beklenmektedir.

Endüstrinin birçok dalında etkilerini gördüğümüz otonom robotlar ayrıca hizmet sektöründe ve gündelik hayatta insanın yaşam kalitesini artıracak dolayısıyla sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Bunun örneğine mobil robotlar olarak geliştirilen sistemlerde rastlamak mümkündür. Mobil robotların ev işleri uygulamaları, genel olarak, çevreyi uzaktan kumanda ile haritalama veya çalışma alanında rastgele dolaşabilme özelliğine bağlıdır ve gündelik yaşam kalitesinin geliştirilmesinde bireylerin sosyal faaliyetlere daha çok yönelip yaşam standartlarını geliştirmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Fahimi, 2009, s. 21). Bunun yanı sıra yaşlı bakımı, hemşirelik ve hata kabul etmeyen ameliyatlara gibi sağlık sektöründe de robotik kullanımdan doğan fırsatlar söz konusudur. Ancak Kohl vd. (2020) yaptığı araştırmaya göre işyerleri, kamu kurum ve kuruluşları da dâhil olmak üzere yerleşik sosyal ortamlarda kullanılan otonom robotlar bir takım sorunlara yol açmaktadırlar. Bunlar arasında, iş



Şekil 2’de görüldüğü üzere incelenen çalışmalarda en çok Endüstri 4.0, otonom robotlar, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir, teknolojiler, optimizasyon, standardizasyon, üretim, ekonomik, sosyal, çevresel, ekolojik gibi kavramlar ön plana çıkmıştır. Belirli anahtar kelimeler kullanılarak incelenen çalışmaların görsel analizinde bu kavramların ön plana çıkması beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte, esneklik, özerklik, enerji, performans, inovasyon, özerklik, etkinlik, işbirlikçilik, verimlilik, hassasiyet, yönetim, geri dönüşüm, emisyon, karbon salınımı gibi çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlayan sözcükler de göze çarpmaktadır. Diğer bir ifade ile Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan otonom robotların sürdürülebilirliğe yönelik katkı ve faydalarını ele alan ilgili literatür taramasından elde edilen bulgular bu görsel aracı destekler niteliktedir. Veri setinde en çok yer alan kelimelerin kullanım ağırlıklarına bakıldığında ise incelenen tüm makalelerde Endüstri 4.0, otonom robot ve üretim kelimelerinin kullandığı ve bunu sırasıyla %79 oranında sürdürülebilir ve %60 oranında teknolojiler kelimelerinin takip ettiği görülmektedir. En az kullanılan kelimelerin ise %25 oranında esneklik ve %28 oranında özerklik olduğu söylenebilir. Aşağıda yer alan Grafik 1’de incelenen makalelerde en çok bahsi geçen 23 kelimenin dağılım oranlarına yer verilmiştir.



**Grafik 1.** Otonom Robotların Sürdürülebilirlikle İlişkilerinde İncelenen Makalelerde En Çok Yer Alan Kelimelerin Dağılımları

Grafikte yer alan dağılıma göre incelenen çalışmalarda %40 oranla ekonomik, onu takiben %36 oranında sosyal ve sırasıyla %30 ve %29 oranında birbiri yerine kullanılabilen ekolojik ve çevresel

sürdürülebilirlik boyutlarına değinilmiştir. Bu oran incelenen akademik çalışmalarda en çok ekonomik sürdürülebilirlik boyutuna yer verildiğini doğrulamaktadır.

Bu çalışmada, otonom robotların sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmaların bütünsel olarak değerlendirilmesinin yanı sıra etiket bulutu oluşturularak incelenen bu çalışmaların çıktıları desteklenmiştir.

### **Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışma kapsamında Endüstri 4.0 bünyesindeki otonom robotların sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına yaptığı katkılar değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada otonom robotların yeri, önemi ve sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkilerinin neler olacağı ilgili yazın taraması katkılarıyla ortaya konmuştur. Buna göre, otomasyon ve robotik kullanımı sürdürülebilirliğin çevresel ayağında malzeme tüketiminin, enerji tüketiminin, hava kirliliğinin, sera gazı emisyonlarının, karbon salınımının, atıklarının azaltılmasında, doğal kaynakların korunmasında, geri dönüşüm, geri kullanım ve yeniden kazanım oranlarının artırılmasında, kaliteli iş ve yaşam ortamı oluşturulmasında; sürdürülebilirliğin ekonomik ayağında kalite, esneklik ve rekabet gücünün artırılmasında, işçilik, kaynak, işletme, bakım ve atık yönetimi maliyetlerinde azaltılmasında ve süreç iyileştirmelerinde optimizasyon sağlanmasında; sürdürülebilirliğin sosyal ayağında ise işyeri güvenliği ve iş refahı oluşturma, gelişmiş iş tatmini yaratma, yaralanma ve ölümlerin, ağır işlerin, çalışma saatlerinin azaltılması gibi etkiler sağlaması beklenmektedir (Benotmane vd., 2019; Hong vd., 2015; Linner & Bock, 2012; Pan vd., 2018).

Endüstri 4.0 teknolojileri arasında yer alan otonom robotların çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik kazanımlarının farklı sektör ve uygulama alanları ile çok yönlü olacağı ve sürdürülebilirliğe her yönüyle katkılar sağlayacağı sonucuna hem otonom robotların sürdürülebilirlik boyutları hakkında yapılan çalışmaların bütünsel olarak değerlendirilerek hem de etiket bulutu oluşturularak varılmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmanın ilgili yazına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, yapılan bu çalışmanın günümüz rekabet-yoğun küresel iş dünyasında hem sürdürülebilirlik kavramına hem de güncel teknolojilere olan ilginin artmasından dolayı sürdürülebilir çalışma koşulları oluşturmayı ve otonom robot ve sistemleri bünyesine dâhil etmeyi hedefleyen organizasyonlar için yol gösterici nitelikte olacağı varsayılmaktadır. Elde edilen sonuçlar ve çalışmanın kısıtları doğrultusunda ileride yapılacak olan çalışmalarda farklı veri tabanları ve zaman periyotlarının incelenmesi önerilmektedir. Endüstri 4.0'ın bünyesinde barındırdığı eklemeli üretim, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, büyük veri ve analitiği, siber fiziksel sistemler ve siber güvenlik, yatay ve dikey entegrasyon, nesnelerin interneti ve simülasyon gibi diğer teknolojilerin sürdürülebilirliğe yönelik katkıları bakımından karşılaştırmalı analizler yapılmasının ilgili yazına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### **Etik Kurul İzni**

Bu makale etik kurul izni gerektiren bir çalışma grubunda yer almamaktadır.

### **Katkı Oranı Beyanı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.





**Kaynakça**

- Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Soetan, S. B., Emetere, M. E., & Ongbali, S. O. (2021). Enviabile roles of manufacturing processes in sustainable fourth industrial revolution–A case study of mechatronics. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2895-2901.
- Agostini, L., & Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*, 22(3), 406-421.
- Ahmad, A., Ordoñez, J., Cartujo, P., & Martos, V. (2021). Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. *Agronomy*, 11(1), 7.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16-21.
- Arowoshegbe, A. O., Emmanuel, U., & Gina, A. (2016). Sustainability and triple bottom line: An overview of two interrelated concepts. *Igbinedion University Journal of Accounting*, 2(16), 88-126.
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13), 137-143.
- Bausys, R., Cavallaro, F., & Semenas, R. (2019). Application of sustainability principles for harsh environment exploration by autonomous robot. *Sustainability*, 11(9), 2518.
- Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2017). Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of automated guided vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3970-3984.
- Bekey, G. A. (2005). *Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control*. MIT Press.
- Benotsmene, R., Kovács, G., & Dudás, L. (2019). Economic, social impacts and operation of smart factories in Industry 4.0 focusing on simulation and artificial intelligence of collaborating robots. *Social Sciences*, 8(5), 143.
- Brundtland, G.H. (1987). *The United Nations World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford University Press.
- Bugmann, G., Siegel, M., & Burcin, R. (2011). A role for robotics in sustainable development?. In *IEEE Africon'11* (pp. 1-4). IEEE.
- Çengelci, B., & Çimen, H. (2005). Endüstriyel robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 69-78.
- Dinwiddy, J. (1979). Luddism and politics in the northern counties. *Social History*, 4(1), 33-63.
- Elkington, J. (1997). Cannibals with forks. *The triple bottom line of 21st century*, 73.
- Esmailian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79-100.
- 1550 | Fahimi, F. (2009). Autonomous robots. In *Autonomous robots*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09538-7>
- Fahrner, W. R., Werner, M., & Job, R. (2001). Sensors and smart electronics in harsh environment applications. *Microsystem Technologies*, 7(4), 138-144.
- Fırat, O. Z., & Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223.

- Fitzgerald, J., & Quasney, E. (2017). Using autonomous robots to drive supply chain innovation. *Deloitte Perspectives*.
- Freund, E., & Rossmann, J. (1994). Intelligent autonomous robots for industrial and space applications. In *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'94)* (Vol. 2, pp. 1072-1079). IEEE.
- Geray, H. (2006). *Toplumsal araştırmalarda nicel ve nitel yöntemlere giriş: İletişim alanından örneklerle*. Siyasal Kitabevi.
- Gillis, A. (2021, Eylül). *What is triple bottom line?* <https://whatis.techtarget.com/definition/triple-bottom-line-3BL>
- Gümüőođlu, Ő. (2018). Bilimsel yaklaşımlarla değişim, dönüşüm ve kalite 4.0. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(2), 543-568.
- Hong, J., Shen, G. Q., Feng, Y., Lau, W. S.-t., Mao, C. (2015). Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China. *J. Clean. Prod.*103, 249-259.
- Indoria, M., Kumar, P., Panwar, Y., & Sharma, T. (2021). Implementation of industry 4.0 to achieve sustainable manufacturing in steel industry: A case study. *Systematic Literature Review and Meta-Analysis Journal*, 2(1), 1-9.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*.
- Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740015.
- Kohl, J. L., van der Schoor, M. J., Syré, A. M., & Göhlich, D. (2020). Social sustainability in the development of service robots. In *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference* (Vol. 1, pp. 1949-1958). Cambridge University Press.
- Linner, T., & Bock, T. (2012). Evolution of large-scale industrialization and service-innovation in Japanese prefabrication industry. *J. Construct. Innov. Inf. Process Manag.*, 12, 156-178.
- Mabkhot, M. M., Ferreira, P., Maffei, A., Podrřaj, P., Mađziel, M., Antonelli, D., ... & Lohse, N. (2021). Mapping Industry 4.0 Enabling Technologies into United Nations Sustainability Development Goals. *Sustainability*, 13(5), 2560.
- McKinsey & Company (2017, Ağustos 21). *Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation*. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/mgi-jobs-lost-jobs-gained-executive-summary-december-6-2017.pdf>
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C. E., & Burns, L. D. (2010). *Reinventing the automobile: Personal urban mobility for the 21st century*. MIT Press.
- Morrar, R., Arman, H., & Mousa, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. *Technology Innovation Management Review*, 7(11), 12-20.

- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, 10(1), 247.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- Okwu, Modestus & Tartibu, Lagouge & Machesa, Mosa. (2021). Fourth industrial revolution and sustainable impact in autonomous fleets for effective supply chain network in manufacturing systems. *Conference: Proceedings of the 31st Annual South African Institute for Industrial Engineering, South Africa*.
- Öztuna, B. (2017). Endüstri 4.0: Dördüncü sanayi devrimi ile çalışma yaşamının geleceği. *Gece Kitaplığı*.
- Pan, M., Linner, T., Pan, W., Cheng, H., & Bock, T. (2018). A framework of indicators for assessing construction automation and robotics in the sustainability context. *Journal of Cleaner Production*, 182, 82-95.
- Prause, G. (2015). Sustainable business models and structures for Industry 4.0. *Journal of Security & Sustainability Issues*, 5(2), 159-169.
- Rose, D. C., Lyon, J., de Boon, A., Hanheide, M., & Pearson, S. (2021). Responsible development of autonomous robotics in agriculture. *Nature Food*, 2(5), 306-309.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.
- Saidani, M., Pan, E., Kim, H., Greenlee, A., Wattonville, J., Yannou, B., Leroy, Y. & Cluzel, F. (2020). Assessing the environmental and economic sustainability of autonomous systems: A case study in the agricultural industry. *Procedia CIRP*, 90, 209-214.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22(3), 818-833.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536-541.
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 344-358.
- TÜSİAD (2016, Mart 24). *Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olarak sanayi 4.0 – gelişmekte olan ekonomi*. <http://tusiad.org/tr/tum/item/8671-turkiyenin-sanayi-40-donusumu>
- UNDP (2021, Eylül 10). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları*. <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html>
- Watson, D. P., & Scheidt, D. H. (2005). Autonomous systems. *Johns Hopkins APL technical digest*, 26(4), 368-376.
- White, M. A. (2013). Sustainability: I know it when I see it. *Ecological Economics*, 86, 213-217.

- Wong, C., Yang, E., Yan, X.-T., & Gu, D. (2018). Autonomous robots for harsh environments: A holistic overview of current solutions and ongoing challenges. *Systems Science & Control Engineering*, 6(1), 213–219.
- WordClouds (2021). <https://www.wordclouds.com/>
- Yazıcı, A. (2016). Endüstri 4.0 ve otonom robotlar. *Elektrik Mühendisliği Odası Aralık Sayı 459*. [https://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e\\_ek.pdf?dergi=1069](https://www.emo.org.tr/ekler/91f2bb2a057879e_ek.pdf?dergi=1069)
- Yılmaz, F. (2018). Robotlar hayatımızda. *FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, (12), 109-120.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616-630.

