

## Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Getirileri ve Önündeki Engeller Üzerine Kavramsal Bir Çerçeve Önerisi

Sayı SAÇAK DÜZGÜN, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, MSc, s\_sacak@yahoo.com, 0000-0002-2890-2917

Üstün ÖZEN, Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Prof. Dr., uozen@atauni.edu.tr, 0000-0002-7595-4306

Derya FINDIK, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Prof. Dr. dfindik@ybu.edu.tr 0000-0002-3002-4391

### ÖZ

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışından bu yana on yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen, hala bu devrimin getirileri, riskleri ve geçişi kolaylaştıran ya da zorlaştıran faktörlerin anlaşılmasına yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin getirileri, zorlaştırıcı, kolaylaştırıcı etkenler ve riskler literatür taraması ve içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Bu amaçla 26 adet makale çalışmaya dâhil edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre; belirtilen birçok farklı faktörün yanı sıra bazı başlıklar getiriler ve engeller noktasında ön plana çıkmıştır. Endüstri 4.0'ın mevcut getirilerinden başlıcası verimlilik artışı, kitlesel özelleştirme ve maliyetlerdeki azalıştır. Temel engeller ise; standartların ve referans mimarinin eksikliğidir. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak bu çalışmada Endüstri 4.0 teknolojilerinin getirileri, zorlaştırıcı ve kolaylaştırıcı etkenler ve riskler ekseninde kavramsal bir çerçeve önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Endüstri 4.0, Getiriler, Engeller, Riskler

## A Conceptual Framework Proposal on the Benefits and Barriers of Industry 4.0 Technologies

### ABSTRACT

Although more than a decade has passed since the emergence of Industry 4.0, there is still a need for studies to understand the benefits, risks, and factors that facilitate or hinder its adoption. In this study, the benefits, barriers, facilitating factors, and risks of Industry 4.0 technologies were examined through a literature review and content analysis. For this purpose, 26 articles were included in the study. According to the study's results, several different factors were highlighted, with some standing out in terms of benefits and barriers. The main benefits of Industry 4.0 are increased efficiency, mass customization, and reduced costs. The primary barriers are the lack



*of standards and reference architecture. Based on these results, this study proposes a conceptual framework for Industry 4.0 technologies, focusing on their benefits, facilitating and hindering factors, and risks.*

**Keywords** : Industry 4.0, Benefits, Barriers, Risks

## GİRİŞ

Endüstri 4.0 kavramı Avrupa'nın ekonomik açıdan en gelişmiş ülkesi olan Almanya'da ortaya çıkmış bir kavramdır. Almanya, Endüstri 4.0 kapsamında akıllı fabrikalarda siber fiziksel sistemler, IoT cihazları, büyük veri analitiği, bulut bilişim sistemleri ve siber güvenlik uygulamaları gibi alt bileşenlerden faydalanarak üretimi tedarik zincirinden başlamak üzere dijitalleştirmeyi ve bunun sonucunda yüksek verimliliğe ulaşarak global ekonomide rekabet gücünü arttırmayı hedeflemiştir. Endüstri 4.0 olgusu ilk olarak Almanya'da ortaya çıksa da dünya çapında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından hızla kabul görmüştür. Akademik alanda Endüstri 4.0'a gösterilen yoğun ilgi ile hükümetler ve endüstri kuruluşları büyük çaplı organizasyonlar da konuya büyük önem vermeye başlamışlardır.

Literatürde sıklıkla Endüstri 4.0 ismi ile karşımıza çıkan 4. endüstri devrimi, üretimin ve tedarik zincirinin insanlar, makineler, nesnelere, sistemler ve sanal ve fiziksel eş zamanlı iş süreçlerinin bilgi ve iletişim teknolojileri vasıtası ile kurulan akıllı ağ iletişimi sayesinde dijitalleşmesi olarak tanımlanabilir (Guzman Mora, 2019; Lim ve diğerleri, 2021, s. 87). Yüksel (2020, s. 63), Endüstri 4.0'ı iş gücüne ve nüfusun geneline olan etkileri nedeni ile teknolojik olduğu kadar sosyoekonomik bir fenomen olarak tanımlamıştır.

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışından bu yana on yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen, hala bu devrimin getirileri, riskleri ve geçişi kolaylaştıran ya da zorlaştıran faktörlerin anlaşılmasına yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle çalışmanın yöntemi açıklanacaktır. Sonrasında Endüstri 4.0 ve önceki endüstri devrimleri kısaca ele alınacaktır. Daha sonra çalışmanın bulguları incelenecektir. Son olarak, tartışma bölümünde içerik analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan Endüstri 4.0 Getirileri, Riskleri, Kolaylaştırıcı ve Zorlaştırıcı Etkenler göz önünde bulundurularak bir kavramsal çerçeve önerilecektir.

## Yöntem

Bu çalışmada "Endüstri 4.0 nedir?", "Hangi tarihsel koşullarda ortaya çıkmıştır?", "Endüstri 4.0'ın getirileri nelerdir?", "Endüstri 4.0'ın getirdiği riskler nelerdir?", "Endüstri 4.0'a geçişi kolaylaştıran ve zorlaştıran etkenler nelerdir?" sorularına cevap aramak için Scopus ve Web of Science veri tabanlarında "Endüstri 4.0 + Drivers", "Endüstri 4.0 + Barriers", "Endüstri 4.0 + Effects" anahtar kelimeleri ile literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Veri

tabanlarında İngilizce dilinde 2017 ve 2022 yılları arasında yazılmış ve sadece makale türünde olan yayınlar taranmıştır. Ulaşılan 60 adet makaleden 26 tanesi çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın ilk iki araştırma sorusu olan kavramın tanımı ve ortaya çıktığı tarihsel koşullara dair yapılan çalışmaların bir derlemesi bir sonraki bölümde ele alınmıştır. Diğer araştırma sorularına yönelik olarak da erişilen çalışmalar alanında uzman iki araştırmacı tarafından içerik analizi yöntemi ile incelenerek Endüstri 4.0 teknolojisinin Getirileri, Riskleri, Kolaylaştırıcı ve Zorlaştırıcı Etkenler Kavramsal Çerçevesi oluşturulmuştur. İçerik analizi “birbirine benzeyen verileri belirli kavramlar ve temalar çerçevesinde bir araya getirmek ve bunları okuyucunun anlayabileceği bir biçimde düzenleyerek yorumlamaktır” (Çeliker,2021). Bu yöntemle öncelikle Endüstri 4.0’ın sağladığı avantajlara yönelik olarak incelenen makalelerin içeriklerinden kodlamalar oluşturulmuş daha sonra birbirine benzeyen kodlardan temalar ortaya çıkarılmıştır. Aynı yöntem Endüstri 4.0’ın getirdiği riskleri ve Endüstri 4.0’a geçişi kolaylaştıran ve zorlaştıran etkenleri ortaya koymak için de uygulanmıştır. Daha sonra elde edilen temalar kullanılarak bir çerçeve oluşturulmuştur.

### **Endüstri Devrimlerine Tarihsel Bir Bakış: Çarklardan Robotlara**

Geçmişten bu yana sanayide yaşanan ve teknolojik gelişmelerin birer sonucu olan paradigma kaymaları sonradan endüstri devrimleri olarak adlandırılmışlardır (Lasi ve diğerleri, 2014, s. 239). Yıkıcı teknolojilerin yarattığı etkiler üzerine bina edilen verimlilik artışı ve üretkenlik endüstri devrimlerinin temelini oluşturur (Pereira ve Romero, 2017, s. 1206; Türkeş ve diğerleri, 2019). Üretim sektörünün gelişimi her zaman teknolojinin gelişimine paralel şekilde ilerlemiştir (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535). İmalat sanayinin temel kaygısı arz ve talep arasında ortaya çıkabilecek uyumsuzluktur. Üretim hacmi, çeşitlilik, zaman, kalite, fiyat, marka ve tasarım gibi birçok faktör arz-talep ilişkilerini etkiler (Yin ve diğerleri, 2018, s. 848). Sonuç olarak endüstride yaşanan her devrim öncüllerin üzerine bina edilir (Ghobakhloo ve diğerleri, 2021, s. 302).

İlk Endüstri devriminin yaşandığı dönemde ürün arzı talebi karşılamak konusunda oldukça yetersizdi. Arz talep arasındaki ilişkiyi belirleyen yegâne boyut ürün hacmiydi. Ürün çeşitliliği azdı ve ekonomik ürünlerin çoğunu tarım ürünleri oluşturmaktaydı. Üretim aileler ya da küçük zanaat toplulukları tarafından gerçekleştirilmekteydi. (Yin ve diğerleri, 2018, s. 848). Birinci endüstri devrimini tetikleyen en önemli etkenin işte bu üretim ortamını tamamen değiştiren makineleşme süreci olduğu söylenebilir (Lasi ve diğerleri, 2014, s. 239). Daha önce su çarkları ve su tribünleri endüstriyel amaçlarla kullanılmakta iken (Tsaramirsis ve diğerleri, 2022) 18 yy. ortalarında İngiltere’de buhar motorunun icadı ile (Pereira ve Romero, 2017, s. 1206) üretim sürecinde buharla çalışan makineler kullanılmaya başlandı. Üretimde el işçiliğinden makine kullanımına geçiş verimliliği arttırıp (Türkeş ve diğerleri, 2019) maliyetleri düşürürken ürün miktarının artmasına yol açarak İngiltere ve Avrupa’yı ticarete hâkim konuma taşımıştır. Ayrıca bu dönemde buhar enerjisi, ilk trenlerle birlikte ulaşımda da

kullanılmaya başlanmıştır. Dönemin simge isminin buhar motorunun mucidi olan James Watt olduğu söylenebilir (Tsaramirsis ve diğerleri, 2022).

İkinci endüstri devrimini tetikleyen en önemli etken elektrik enerjisinin üretimde yoğun şekilde kullanılmasıdır (Lasi ve diğerleri, 2014, s. 239). İnsanlığın alet kullanmayı öğrenerek ilk endüstri devrimini gerçekleştirmesi binlerce yıl alırken ikinci endüstri devrimi bundan çok daha kısa sürede gerçekleşmiştir (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535). 1800'lü yılların sonlarına doğru (Tsaramirsis ve diğerleri, 2022) Amerika Birleşik Devletleri ile eşzamanlı olarak Avrupa'da elektrik enerjisi ve kimyasal enerji sanayi üretiminde kullanılmaya başlanmış ve buhar enerjisinin yerini almıştır (Pereira ve Romero, 2017, s. 1206). İkinci endüstri devriminin en karakteristik özelliği, kitlesel üretime geçiştir. Ayrıca arabalar bu dönemde ticari olarak üretilmeye başlanmış ve ulaşımda kullanılmıştır (Tsaramirsis ve diğerleri, 2022). İkinci endüstri devrimi döneminde arz talep ilişkisinin hacim ve çeşitlilik olarak iki boyutu olduğu söylenebilir. İkinci endüstri devrimi ilk endüstri devriminin arz eksikliği sorununu ele almış ve seri üretimle bu sorun çözülmüştür (Yin ve diğerleri, 2018, s. 848). Bu dönemin icatları günümüzde de hala yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir. Dönemin simge isimlerinden Henry Ford seri üretim montaj hattının mucididir. Seri üretim hattının kullanımı ile birlikte arz talep ilişkisi arz lehine değişmeye başlamıştır. Seri üretim düşük maliyet ile yüksek hacimde üretim yapmayı sağlamıştır. Bu yöntemde her ürün çeşidi için bir üretim hattı gerekmektedir. Dolayısı ile bu üretim modeli tek başına çeşitlilik boyutuna maliyet etkin bir çözüm sunmamaktadır. Dönemin ikinci simge ismi olan Taiichi Ohno'nun Toyota üretim hattı ile ise ürün çeşitliliğini kaynak israf etmeden müşteri taleplerine göre arttırmak mümkün olmuştur (Yin ve diğerleri, 2018, s. 848).

Üçüncü endüstri devrimini tetikleyen en önemli etken ise üretimdeki dijitalleşmedir (Lasi ve diğerleri, 2014, s. 239). Bu devrimin gerçekleşmesi için geçen süre bir öncekinden de daha kısa olmuştur (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535). 1960'larda (Tsaramirsis ve diğerleri, 2022) Dijitalleşme bilginin işlenmesini kolaylaştırarak operasyon verimliliğinin (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213), küresel olarak birbirine bağlılığın ve entegrasyonun (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535) artmasına sebep olmuştur. Mikroçiplerin icadı ile birlikte çeşitli elektronik araçların ve bilgi sistemlerinin üretimde kullanılması üretimin otomasyonunu sağlamış ve yeni bir endüstri devriminin kapılarını aralamıştır (Pereira ve Romero, 2017, s. 1206). Bu dönemde teknolojik yeniliklerle birlikte analogdan dijitale doğru bir geçiş olmuş ve ürün yaşam döngülerinin süresi kısalmıştır. Arz ve talep arasındaki ilişki üç boyutlu hale gelmiştir: hacim, çeşitlilik ve teslim süresi (Yin ve diğerleri, 2018, s. 848).

4'üncü Endüstri Devrimi terimi ilk defa 2011 yılında yani üçüncü endüstri devriminin gerçekleşmesinden yaklaşık bir çeyrek yüzyıl sonra (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535) Hannover Fuarı sırasında Almanya'da ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 kavramının özünde 5G,

Siber Fiziksel Sistemler, Yapay Zekâ, Robotik, Makine Öğrenmesi, Nanoteknoloji, Bio teknoloji, Kuantum Bilgisayarlar, Blokzincir, Nesnelerin İnterneti (IoT), 3 Boyutlu Yazıcılar ve buna benzer diğer yıkıcı teknolojiler yer almaktadır (Kamble ve diğerleri, 2018, s. 107; Tsaramirsis ve diğerleri, 2022). Sung (2018, s. 40)'e göre 4. endüstri devrimi dört etken tarafından tetiklenmiştir. Bunlar; bağlantı hızı ve kalitesindeki artışla birlikte veri ve hesaplama gücünde yaşanan büyük artışlar; artan veri üzerinde bilgisayarların yüksek hesaplama gücünü etkin şekilde kullanmayı sağlayan yeni iş zekâsı yetenekleri; insan makine etkileşimini geliştiren dokunmatik yüzeyler ve artırılmış gerçeklik sistemleri ve son olarak dijital tasarımların fiziksel dünyaya aktarılmasını sağlayan robotik ve 3 boyutlu baskı teknolojileridir. Lasi ve diğerlerine (2014, s. 239) göre, 4. Endüstri Devrimi'nin ortaya çıkışında iki ana etki vardır. Bir yanda, değişen operasyonel çerçeve koşulları çekim etkisi yaratmaktadır. Bu koşullar arasında kısa geliştirme dönemleri, talebe göre kişiselleştirme, esneklik, otonomi ve kaynak verimliliği ihtiyacı bulunmaktadır. Diğer yanda, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve artan otomasyon itme etkisi yaratmaktadır. 4. endüstri devriminin vizyonu ürünlerin kendi üretim süreçlerini kontrol ederek üretimde modülerliği ve verimliliği artırması ve kişiselleştirilmiş ürünlerin kitlesel boyutlarda seri halde üretilmesi üzerine kuruludur. Endüstri 4.0'ın kurumsal dünyayı yatay ve dikey değer zincirlerinin entegrasyonu ve dijitalleşmesi, ürün ve hizmetlerin dijitalleşmesi, dijital iş modelinin oluşturulması ve müşteri ilişkileri bakımından dönüştürmesi beklenmektedir (Gubán, & Kovács, 2017).

Her ne kadar literatürde bazı yazarlar son endüstri devrimini yeni bir dönem olmaktan ziyade üçüncü endüstri devrimi zamanında başlayan dijitalleşmenin bir devamı olarak görseler de bu iki dönem Endüstri 4.0'a zemin hazırlayan yıkıcı teknolojik gelişmelerin varlığı ile birbirinden ayrılmaktadır (Corò ve Volpe, 2020, s. 112). Endüstri 4.0'ın ileride yüksek derecede dijitalleşme, otomasyon, sanallaştırma ve otonomi ile öncüllerinden ayrılan bir devir olarak anılacağı öngörülmektedir. Endüstri 4.0 temel aldığı yıkıcı teknolojilerle birlikte rekabet kurallarını, değer yaratma biçimlerini, eğitim önceliklerini, sosyal ve çevresel normları değiştirebilecek güçte bir devrimdir (Ghobakhloo ve diğerleri, 2021, s. 302). 4. Endüstri Devrimi ile üreticilerin odağı ürün yapıp satmaktan ziyade müşterilerine çözüm sağlamaya yönelmiştir (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213). Yeniçağda müşteriler, tedarikçilerden ürünleri yüksek hizmet kalitesiyle birleştirmelerini ve hem tüketiciye yönelik riskleri hem de maliyetleri azaltmalarını giderek daha fazla beklemektedir. Ayrıca yeni yaratılan ürün, hizmetler ve yeni teknolojik gelişmeler sektörler ve pazarlar arasında var olan geleneksel sınırları gitgide bulanıklaştırmaktadır. (Coreynen ve diğerleri, 2020, s. 265). 4. endüstri devriminin de tıpkı öncülleri gibi endüstri üretimini dönüştürmesinin yanında toplumu da ekonomik, ekolojik ve sosyal açılardan dönüştürmesi beklenmektedir (Müller ve diğerleri, 2018). Endüstri 4.0 sanayi üretiminde kullanılan yöntemleri iyileştirmesi bakımından bir evrim niteliğinde olmakla birlikte üreticilerin değer yaratma ve iş yapma biçimlerini kökten değiştirmesi bakımından ise gerçek bir devrim niteliğindedir fakat yapılan çalışmalar

üreticilerin Endüstri 4.0'ın evrimsel yaklaşımını benimsemekle birlikte devrimci niteliğinden korktuklarını ortaya koymaktadır (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213).

Endüstri 4.0 kavramını örgütsel performansı artırmak için birlikte çalışan farklı etkinleştirme teknolojilerinin bir koleksiyonu olarak ifade etmek mümkündür (Gadekar ve diğerleri, 2022, s. 670). Endüstri 4.0, akıllı üretimin uyum sağladığı endüstriyel pazarların dijital dönüşümü olarak da tanımlanabilir (Ghobakhloo, 2020, s. 2384). Literatürde Endüstri 4.0 ve 4. endüstri devrimi kavramları birbirinin yerine kullanılmakla birlikte 4. endüstri devrimi ekonomik ve üretim ile ilgili dönüşümlere ek olarak toplum, yönetim yapıları ve insan kimliği üzerindeki dönüşüme atıfta bulunan bir kavramdır (Sung, 2018, s. 40). Ayrıca Endüstri 4.0 literatürde "Gelişmiş Üretim", "Entegre Endüstri", "Akıllı Endüstri" veya "Akıllı Üretim" kavramları ile yakın ilişki içerisinde kullanılmaktadır (Corò ve Volpe, 2020, s. 112). Bu çalışmada Endüstri 4.0 ve 4. endüstri devrimi kavramları eş anlamlı olarak kullanılmıştır

Rekabet ettiği ülkelerin önüne geçmek için Almanya'nın 2011 yılında Endüstri 4.0 kavramını ortaya atmasından sonra diğer gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler de kendi stratejilerini ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda başlatılan dönüşümlerin bazıları şöyledir: ABD'de "Akıllı Üretim", Çin'de "Çin Malı 2025", Birleşik Krallık'ta "Üretimin Geleceği", Hindistan'da "Akıllı Gelişmiş Üretim ve Hızlı Dönüşüm Merkezi (SAMARTH)- Udyog Bharat 4.0" 'dır. (Sony ve diğerleri, 2021). Bunların dışında Çin ve Almanya, Endüstri 4.0'ı teşvik etmek konusunda ikili iş birliğini güçlendirmeyi amaçlayan "İnovasyonu birlikte şekillendirmek" temalı ortak bir eylem planı başlatmıştır (Lin ve diğerleri 2019, s. 1). Ayrıca Avrupa'da pek çok ülke araştırma enstitüleri, üniversiteler, endüstriler, yerel yönetimler ve merkezi hükümetlerin katkıları ile Endüstri 4.0 ile ilgili orta ve uzun vadeli yol haritaları hazırlamaktadır (Sung, 2018, s. 40). Örneğin İtalyan hükümeti, 2016 yılında firmaların makine stoklarının yükseltilmesini desteklemek için "Piano Industria 4.0" adını verdikleri ulusal bir plan başlatmıştır (Corò ve Volpe, 2020, s. 112).

Endüstri 4.0'ın alametifarikası insan etkeninin düşük olduğu ya da hiç olmadığı 5G ağlar üzerinden birbiri ile haberleşen IoT cihazlar ve siber fiziksel sistemlerden oluşan akıllı fabrikalardır (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535). Bu fabrikalarda üretilen ürünlerin BT desteği ile kitlesel özelleştirmesi sağlanır; üretim zinciri otomatik ve esnek, üretilen ürünler kendi üretim aşamalarının farkındadırlar ve ürünler ile makineler bu süreçte iletişim halindedirler; insan-makine etkileşimi üst seviyede uygulanır; nesnelere interneti sayesinde yüksek üretim optimizasyonuna ulaşılır ve değer zincirine yeni hizmet türleri ve iş modelleri eklenir (Sony ve diğerleri, 2021). 4. endüstri devrimi ile sınırları belli olan tekil fabrikalar dönemi kapanmakta birbirine etkileşimle bağlı farklı coğrafyalara yayılmış fabrika ağları, üretimi devralmaktadır. 4. endüstri devriminin akıllı fabrikaları sahip olduğu öz farkındalık ve öz tahmin yeteneği ile yöneticilere bileşen ve sistemlerin durumu hakkında zamanında ve kesin



bilgi sağlayarak hata ve arıza oranını düşürmektedir (Sung, 2018, s. 40). Bu noktada, Endüstri 4.0'ı tanımlayan üç paradigmayı belirtmek mümkündür. İlk olarak, kendi durumunun farkında olan ve hangi aşamada olduğunu, ne zaman hangi malzemeye ihtiyaç duyduğunu bilen akıllı ürünler bulunmaktadır. İkinci olarak, bir üretim ağı içinde kendi kendini organize edebilen akıllı makineler vardır. Üçüncü olarak, klasik işçi tanımının ötesine geçerek otonom olarak organize edilmiş bir üretim sistemine manuel müdahale edebilen artırılmış operatörler bulunmaktadır (Türkeş ve diğerleri, 2019).

Akademik alanda Endüstri 4.0'a gösterilen yoğun ilgi ile hükümetler, sanayi kuruluşları büyük çaplı organizasyonlar da konuya ilgi göstermeye başlamışlardır (Liao ve diğerleri, 2017, s. 3609). Akademik literatür, politika oluşturma, ülke rekabet gücü ve küresel değer zincirlerinin entegrasyonu konuları ile büyük ölçüde ilgiliyken Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü, Dünya Ekonomik Forumu, Dünya Bankası vb. uluslar üstü kurumların konuyla ilgili olarak yayımladıkları raporlarda da küresel kalkınma endişelerinin daraltılması, ülke ve bölgesel rekabet gücünün yanı sıra kalkınma, mevcut teknolojik değişimlerden değer yaratma, teknolojik değişim, ve bunun iş gücü üzerindeki etkileri ile ilgili konular üst sıralarında yer almaktadır (Nazarov ve Klarin, 2020, s. 535).

### **Endüstri 4.0'ın Getirileri ve Riskleri**

Çalışmada izlenen yöntem çerçevesinde dâhil edilen bilimsel makaleler detaylı bir şekilde incelenerek içinde bulunduğumuz bu son endüstri devrimi olan Endüstri 4.0'ın ne gibi getiriler ve riskler barındırdığı tespit edilmiştir. Buna göre. Endüstri 4.0'ın beklenen en önemli getirileri üretkenlik ve verimliliğin yanı sıra daha yüksek düzeyde otomasyondur (Corò ve Volpe, 2020, s. 112). Öte yandan bu getirilere ulaşmak, kitlesel özelleştirme, hızlı adaptasyon, yenilikçi değer zinciri yapıları, yeni iş ve hizmet modelleri ile mümkündür.

Endüstri 4.0 teknolojileri giderek artan küresel rekabet, değişken pazarlar ve talepler neticesinde ortaya çıkan bir gerekliliktir (Müller ve diğerleri, 2018). Bu teknolojiler sayesinde ürün kişiselleştirme ve azalan yenilik ve ürün yaşam döngüleri gibi firmaların yaşadığı zorluklar çözümlenmektedir. Bunlara ek olarak Endüstri 4.0'ın iyileştirilmiş ürün yaşam döngüleri, tedarik zinciri üzerinde gerçek zamanlı bir control vb. birçok diğer getirisi sayılabilir.

Benzer olarak; Endüstri 4.0 firmalar için kısalan ürün yaşam döngüleri, değişen ticari koşullara uyum, karmaşık müşteri talepleri ve daha büyük miktarlarda benzersiz ürünlere yönelik çözüm önerileri getirmektedir (Gubán ve Kovács, 2017). Türkeş ve diğerleri, (2019)'nin çalışmasına göre Endüstri 4.0'ın getirileri ürünlerin ve tedarik zincirlerinin artan karmaşıklığını ele alma sorunlarına yönelik olarak sunduğu cevaplardır.

Herceg ve diğerleri (2020, s. 1) de Endüstri 4.0'ın getirileri olarak maliyet düşüşü, pazar rekabeti, hata oranının azaltılması, müşteri tatmini, verimlilik artışı, esneklik geliştirme, harcamaları azaltmak gibi pek çok etken saymışlardır.

Ayrıca Endüstri 4.0 firmalara çeviklik kazandırmakta, özelleştirme imkânları getirmekte, alınacak kararlarda daha kesin verilere dayanma imkânı sunmakta, verimliliği arttırmaktadır. (Ghadge ve diğerleri, 2020, s. 669). Üreticilere maliyet azaltmanın yanı sıra ürünleri pazara sürme süresini de düşürme imkânı sunmaktadır (Stentoft ve diğerleri, 2021, s. 646). Endüstri 4.0 teknolojilerinin tüm üretim süreçlerine uyarlanmasıyla birlikte üretim süresinin kısalması ve bu sayede üretkenlik ve kârlılığın artması mümkün olmaktadır (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213). Bu teknolojiler sürekli bir bilgi akışı sağlayarak piyasaya dönük yeni ihtiyaçların anlık olarak takip edilmesini sağladığından firmalar için de rekabet avantajı getirmektedir (Sony ve diğerleri, 2021). Henüz adaptasyon sürecinde olmayan ya da bu konuda niyeti olan firmaların da beklentisi bu teknolojilerin firmaya entegre edilmesiyle firma performansında iyileşme ve tedarik zincirinde rekabet üstünlüğü sağlamaktır (Ralston ve Blackhurst, 2020, s. 5006). Örgüte sağladığı bu finansal getirilerin yanısıra çalışanların da bu teknolojiler sayesinde yeni beceriler kazanması temel beklentiler arasındadır. Böylece iş gücü piyasası yeniden yapılanacak, çalışma ortamı değişecek ve yeni iş modelleri de ortaya çıkacaktır (Pereira ve Romero, 2017, s. 1206).

Bu çalışmada incelenen bir diğer araştırma sorusu olan “Endüstri 4.0’ın getirdiği riskler nelerdir?” ‘e karşılık literatürdeki çalışmalar incelenerek elde edilen bulgulara göre, firmaların Endüstri 4.0 teknolojileriyle ilgili temel kaygısı birçok alanda “yeniden düzenleme”yi getiriyor olmasıdır. Buna göre, Endüstri 4.0’a geçiş ile çalışanların yeniden organize olması, fabrikaların yeniden düzenlenmesi, yüksek tutarlarda yatırım yapılması gerekmekte ve karmaşık sistem yönetimi ihtiyacı, bilgi yönetimi ihtiyacı, bilgiden para kazanma zorluğu, ürün kişiselleştirme zorluğu, müşteri odaklılığın sağlanması zorlukları ortaya çıkmaktadır (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213). Ek olarak, bu teknolojilere geçişin gerektirdiği büyük yatırım miktarları, kârlılık konusundaki belirsizlikler ve müşterilerin ekstra maliyetler konusunda ödeme yapmadaki isteksizlikleri anılan diğer riskler arasındadır (Sony ve diğerleri, 2021). Endüstri 4.0 teknolojilerinin iş süreçlerine uyarlanmasıyla birlikte emeğin yaşayacağı dönüşüm bir başka risk faktörüdür. Buna göre, emeğe dayalı işlerin önemi azalırken, karar verme ve planlama gibi görevlerin otonom sistemler aracılığıyla yürütülmesi mümkün olacaktır (Müller ve diğerleri, 2018; Kamble ve diğerleri, 2018, s. 107).

Endüstri 4.0 teknolojileri konusunda belirtilen risklerin yanısıra insani boyutta da bu teknolojilerin birtakım zorluklar getireceği akademik yazın tarafından vurgulanmıştır. Bunlar arasında; çalışanları insan yakınlığından mahrum bırakma, robotlara bağımlılık geliştirme, insanlarda kayıtsızlık, içe dönüklük, üzgünlük, bağımlılık yaratma gibi riskler bulunmaktadır (Türkeş ve diğerleri, 2019). Ayrıca makinaların yapabileceklerinin limitleri olması, uzmanlık eksikliği, mevzuat eksikliği, veri güvenliği standartlarının eksikliği, siber güvenlik eksikliği (Ghobakhloo ve diğerleri, 2021) de risk yaratan diğer unsurlardır. Bu teknolojilerin



benimsenmesiyle birlikte makineler arası iletişimin de üretimin bütünlüğünü koruyacak şekilde sağlanması bu teknolojilere dair diğer kaygılardan biridir (Sung, 2018, s. 40).

### **Endüstri 4.0'a Geçiş Kolaylaştırıcı ve Zorlaştırıcı Etkenler**

Yeni teknolojilere geçişte bazı örgütler diğerlerine göre daha az zorlukla muhatap olur ve bu geçişin maliyetlerini minimum seviyede yaşar. Bu örgütleri diğerlerinden farklı kılan unsur; örgüt olarak hazır oluşlarıdır. Bu durum, firmanın sahip olduğu fiziksel altyapının yanısıra güçlü bir liderlik yaklaşımı ve çalışanların becerileri ve uyum kabiliyetleri ile yakından bağlantılıdır. Çalışmanın bu bölümünde "Endüstri 4.0'a geçiş kolaylaştırıcı etkenler nelerdir?" sorusuna odaklanılarak mevcut çalışmalarda hangi faktörlerin vurgulandığı tespit edilmiştir. Buna göre; firmada yeni teknolojilere uyarlanabilecek örgütsel stratejiler varsa, bu konuda planlanan finansal yatırımlar mevcutsa ve çalışanlarla müşteriler bu teknolojileri kullanmaya hazırsa Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenme süreci hızlanacaktır (Gadekar ve diğerleri, 2022, s.670). Ek olarak, iyi tasarlanmış bir IT altyapısı, iletişime açıklık ve ağ oluşturma, uygun ortak BT ve iş stratejisi, sosyal ve örgütsel sermaye, birden çok bilgi türünü toplama ve yönetme yeteneği, insan sermayesi içeren yatırımlar ve uluslararası pazarlara açıklık Endüstri 4.0'dan beklenen faydalara ulaşmayı kolaylaştırıcı etkenlerdir (Corò ve Volpe, 2020, s. 112). Bazı çalışmalarda ise Endüstri 4.0'a geçiş kolaylaştırıcı daha spesifik unsurlar üzerinde durulmuş ve bu yeni üretim paradigmasına geçişte firmada bütünleşmiş ve akıllı bir üretim anlayışının yer almasının önemi vurgulanmıştır (Türkeş ve diğerleri, 2019). Buna örnek olarak; üretim hattı teknolojileri, akıllı çalışan teknolojileri, akıllı ekipman teknolojileri, hesaplama teknolojileri, akıllı ürün teknolojileri, veri analizi teknolojileri, ağ teknolojileri ve siber güvenlik teknolojileri verilebilir (Calabrese ve diğerleri, 2021, s.213).

Yeni teknolojilere uyum firma içi faktörlerin yanısıra firma çevresindeki koşulların hazır oluşunu da gerekli kılmaktadır. Buna göre; ülke ve bölge düzeyinde düzenleyici politikaların varlığı ve milli eğitim sisteminin yeni teknolojilere uyum noktasında yenilenmesi de önem taşımaktadır (Maisiri ve diğerleri, 2021). Firma içi ve dışı bu hazırlıkların yapılmasıyla ancak bilinçli bir Endüstri 4.0 stratejisi yürütüp hayata geçirmek mümkün olacaktır (Stentoft ve diğerleri, 2021, s. 646; Kostakis ve Kargas, 2021).

Endüstri 4.0'a geçiş kolaylaştırıcı etmenler kadar bu geçiş yavaşlatan ya da zorlaştırıcı durumlar da sözkonusudur. Buna göre; kültürel yapı, yapısal eşitsizlikler, yüksek genç işsizliği oranları, parçalanmış görev ortamı ve eğitim sistemindeki eksiklikler Endüstri 4.0'a geçiş zorlaştırıcı en önemli etkenlerdir (Maisiri ve diğerleri, 2021). Ayrıca, makineler arası iletişim ile ilgili standartların yokluğu, veri güvenliğinin sağlanması ile ilgili sorunlar, ağ alt yapısı, yasal çerçeve ve yetenek eksikliği de Endüstri 4.0'a geçiş zorlaştırıcı etkenlerdir (Calabrese ve diğerleri, 2021, s. 213). Benzer şekilde, bilgi yönetim sistemlerinin eksikliği, IoT hakkında net bir anlayış eksikliği, standartların ve referans mimarilerin eksikliği, internet

kapsama alanı ve BT tesislerinin olmayışı Endüstri 4.0'ın benimsenmesini zorlaştırabilmektedir (Kamble ve diğerleri, 2018, s. 107).

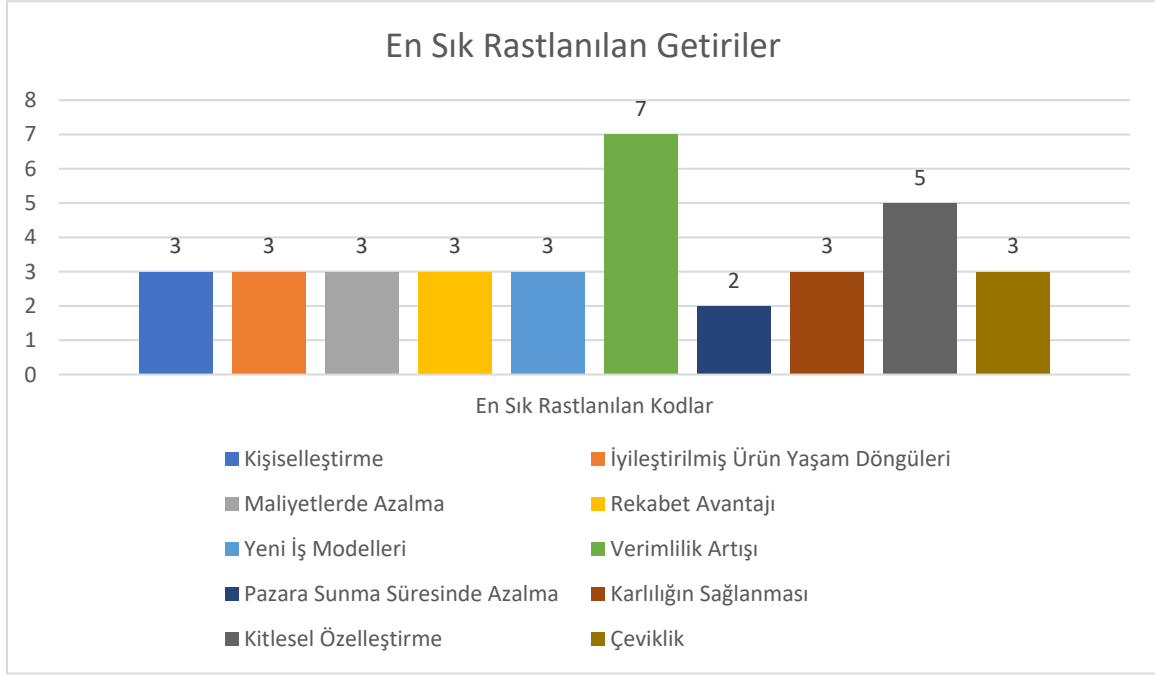
Herceg ve diğerleri (2020, s. 1) yetkinlik eksikliği ve mali kaynak eksikliği, yetişmiş iş gücü eksikliği ve uygun yetkinliklere sahip yöneticilerin eksikliği gibi etkenleri Endüstri 4.0 adaptasyonunu başarısız kılacak etkenler arasında saymaktadır.

Ghadge ve diğerleri (2020, s. 669)'nin çalışmasının sonuçlarına göre Endüstri 4.0'ı uygulanmasında dört grup bariyer bulunabilir. Bunlar örgütsel doğa, yasal ve etik konular, stratejik bakış açısı ve teknolojik boyuttur. En sık karşılaşılan bariyerler ise finansal kısıtlar, yönetim desteğinin olmayışı, değişime direnç, uzmanlık eksikliği, yasal konular, politika ve destek eksikliği, yetersiz araştırma ve geliştirme uygulamaları, altyapı eksikliği, düşük kaliteli veri, dijital kültür eksikliği ve ortaklar arası güven eksikliğidir.

Endüstri 4.0'a geçişi zorlaştırabilecek etkenler arasında Endüstri 4.0'ın stratejik öneminin anlaşılması, teknoloji ve insan arasındaki etkileşimin anlaşılması ve çalışanların sürekli eğitim gerekliliği de sayılabilir (Stentoft ve diğerleri, 2021, s. 646). Bu teknolojilerin firmaya uyumlanması belirli bir seviyede uzmanlık bilgi ve tecrübesi gerektirdiği için bu konudaki uzmanlık eksikliği ve düzenlemelerin ve çalışma prosedürlerinin eksikliği geçişi zorlaştıracak etkenlerdir (Türkeş ve diğerleri, 2019).

## **Tartışma**

İncelenen makalelerin on üç tanesinde 4. endüstri devriminin getirilerine yönelik içeriğe rastlanmıştır. Bu on dört makaleden içerik analizi yöntemi ile yüz beş adet farklı kod oluşturulmuştur. Ortaya çıkarılan kodların makalelerde geçiş sıklığına bakıldığında en sık rastlanılan içeriklere ait kodlar ve sıklıkları Grafik 1 de verilmiştir. Verimlilik artışı Endüstri 4.0'ın incelenen çalışmalarda en sık bahsedilen getirisidir. İkinci en sık bahsedilen getiri Endüstri 4.0'ın sağladığı kitlesel özelleştirme gücüdür. Bunların dışında; maliyetlerde azalma, ürün kişiselleştirme, iyileştirilmiş ürün yaşam döngüleri, rekabet avantajı, yeni iş modelleri, pazara sunma süresinde azalma, kârlılığın sağlanması ve çeviklik Endüstri 4.0'ın diğer sık sayılan getirileri arasındadır.



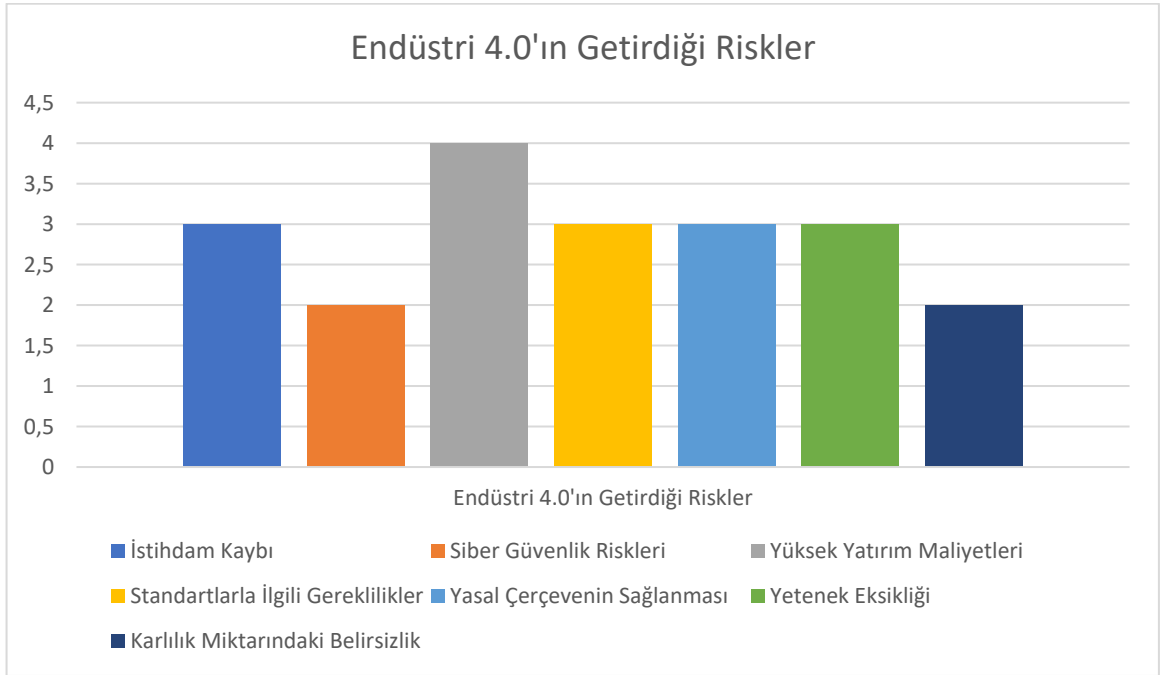
Grafik 1: En Sık İşlenen Getiriler

Çalışma sonucu Endüstri 4.0'ın getirileri ile ilgili olarak içerik analizi sonucu tespit edilen kodlar daha sonra müşteri tatmini, yenilikçilik, değişen ortama uyum, üretkenlik, rekabetçilik, ürün kişiselleştirme, ürün/süreç/tedarik zinciri iyileştirme, doğruluk/tutarlılık/netlik, verimlilik/ kârlılık, değer yaratma, kalite, işgücü bağlantılı sorunlarda iyileşme, imaj iyileştirme, entegrasyon, iş gücüne olumlu etkiler, toplum üzerinde olumlu etki, ve ekolojik fayda olmak üzere on yedi alt kategori altında toplanmıştır. Bu alt kategoriler ise Örgütsel Faydalar, Toplumsal/Beşerî Faydalar ve Ekolojik Faydalar olmak üzere üç ana kategori altında toplanmıştır.

Kategori bazında değerlendirildiğinde verimliliğin ve kârlılığın artması konusu makalelerde en çok değinilen Endüstri 4.0 getirisidir. Yine ürünlerde, süreçlerde ve tedarik zincirinde iyileşme Endüstri 4.0'a geçişten güçlü şekilde beklenen bir diğer fayda olarak öne çıkmaktadır. Değişen ortama uyumu kolaylaştırması, rekabetçiliği arttırması ve ürün kişiselleştirme ile değer yaratma ile ilgili getirilerle ilgili ortak bir düşünce olduğu söylenebilir. İncelenen makalelerde müşteri tatmininde artış, yenilikçilik, üretkenlik, doğruluk, tutarlılık ve netlik sağlama, değer yaratma, kalite, iş gücüne bağlı sorunlarda iyileşme sağlama, imaj iyileştirme, entegrasyon ile ilgili getirilerin nispeten daha az işlendiği görülmektedir. Ana kategori bazında bakıldığında ise incelenen yayınlarda daha çok Endüstri 4.0'ın organizasyonel getirilerine yer verildiği görülmektedir. Toplum ve bireylere yönelik getiriler ve ekolojik faydalardan ise daha az söz edilmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen makalelerin yedisinde 4. endüstri devriminin beraberinde getirdiği risklere ilişkin içeriğe rastlanılmıştır. Bu içeriklerin analizi sonucu kırk

iki adet kod oluşturulmuştur. Ortaya çıkarılan kodların makalelerde geçiş sıklığına bakıldığında birden fazla makalede geçen kodlar ve sıklıkları Grafik 2’de verilmiştir. İncelenen çalışmalarda en sık bahsedilen risk, yüksek yatırım maliyetleridir. Altı makaleden dördünde bu riskten bahsedilmiştir. Üçer makalede istihdam kaybı, yasal çerçevenin sağlanması, standartların eksikliği ile ilgili riskler ve yetenek eksikliğinin yarattığı risklerden söz edilmiştir. Siber güvenlik riskleri ve kârlılık miktarının belirsizliğinin yarattığı risklerde yine birden fazla makalede bahsedilen risklerdir.

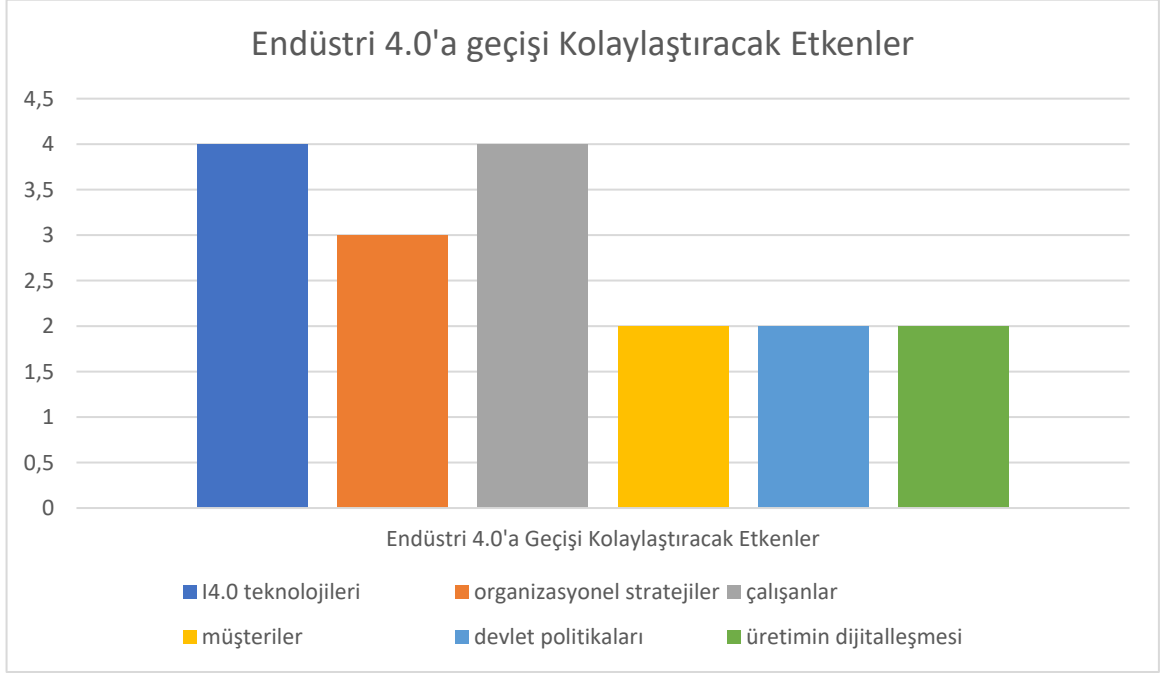


**Grafik 2:** En Sık İşlenen Riskler

Endüstri 4.0'in risklerine ilişkin kırk iki kod, çalışma kapsamında on sekiz kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler daha sonra dört ana kategoriye ayrılmıştır. Kategori bazında incelendiğinde, Endüstri 4.0'in getirdiği mali risklerin ve çalışanlara ilişkin risklerin daha ön plana çıktığı görülmektedir. Yasal mevzuata ilişkin riskler, toplumsal riskler, güvenlikle ilişkili riskler, yönetsel riskler, standartlara ilişkin riskler ve teknolojik riskler ise daha az ele alınmıştır. Ekolojik riskler, müşteri ilişkilerine yönelik riskler, iş süreçlerine ilişkin riskler, paydaş desteği ile ilgili riskler, alt yapı ile ilgili riskler, rekabet ile ilgili riskler, organizasyon değişikliği ile ilgili riskler, entegrasyonla ilgili riskler, üretimle ilgili riskler ve bilgi birikimi ile ilgili riskler ise sadece bir ya da iki makalede bahsedilmiştir.

İncelenen makalelerin sekizinde Endüstri 4.0'a geçişi kolaylaştıracak etkenlere dair içerik tespit edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde bu içeriğe dair yirmi dokuz adet kod oluşturulmuştur. Birden fazla makale tarafından ele alınan kodlar Grafik 3'de gösterilmiştir. Yapılan analize göre eğitilmiş ve gerekli yeteneklerle donatılmış çalışanlar ve Endüstri 4.0 ile

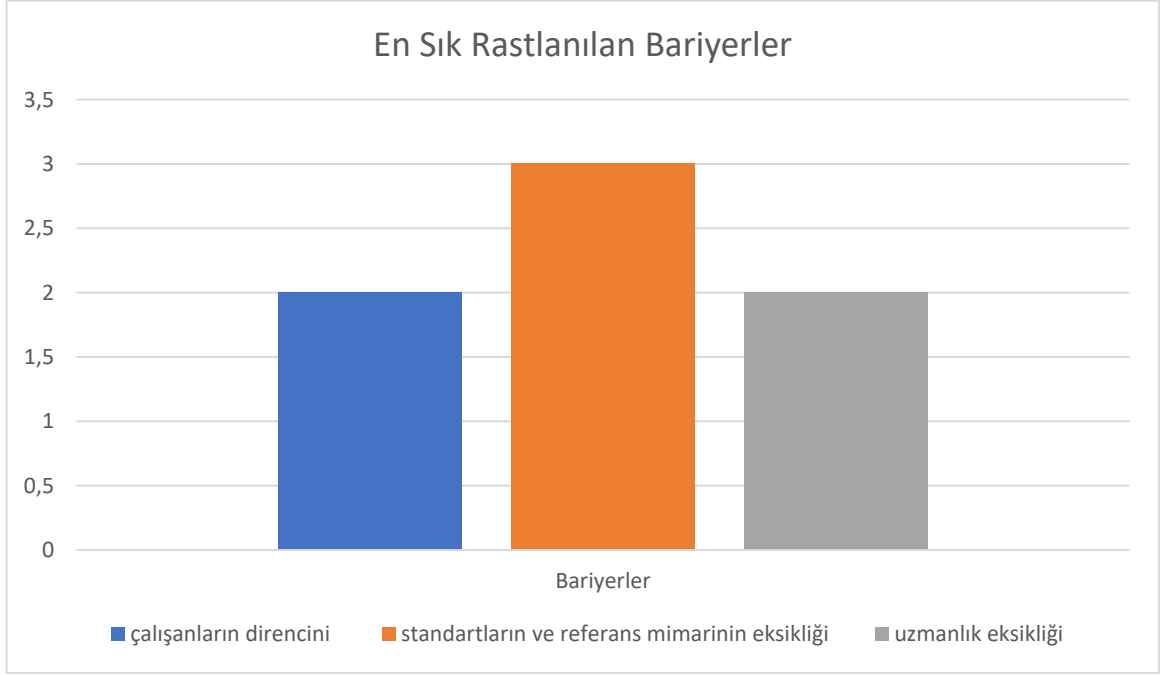
bağlantılı teknolojiler 4. endüstri devrimine adaptasyonu kolaylaştıracak etkenlerin başında gelmektedir. Bu etmenler dört çalışma tarafından işlenmiştir. Endüstri 4.0'a geçişi kolaylaştıracak bir diğer önemli etken bir geçiş ve uygulama stratejisinin varlığıdır. Bu etken üç çalışma tarafından işlenmiştir. Müşteri desteği ve talebi, devlet politikalarının varlığı ve üretimin dijitalleşmesi ikiye çalışmada kolaylaştırıcı etken olarak sayılmıştır.



**Grafik 3:** En Sık İşlenen Kolaylaştırıcılar

Analiz sonucu oluşturulan yirmi dokuz kod öncelikle on altı farklı kategoriye ayrılmıştır. Daha sonra bu kategoriler de beş farklı ana kategori altında gruplandırılmıştır. Kategori bazında incelendiğinde teknolojik kolaylaştırıcıların ve üretim ile ilgili kolaylaştırıcıların makalelerde en sık işlenen kolaylaştırıcılar olduğu görülmektedir. Bunlar dışında politik kolaylaştırıcılar, stratejik kolaylaştırıcılar, firma varlıkları ve iş gücünün genel kabul görmüş diğer kolaylaştırıcı faktörler olduğu söylenebilir. Standartlar, eğitim, finansal kolaylaştırıcılar, müşteri ilişkileri, firma yapısı, yönetsel yetenekler, iletişim ve insana yönelik yatırımlar ise bir veya iki makalede bahsi geçen diğer kolaylaştırıcı etkenlerdir.

Çalışmada incelenen makalelerin sekizinde Endüstri 4.0'a adaptasyonu zorlaştıracak faktörlere ilişkin içerik vardır. Bu içeriğin analizi sonucu kırk sekiz adet kod oluşturulmuştur. Bu kodlardan standartların ve referansların eksikliği üç çalışma tarafından belirtilirken, çalışanların direnci ve uzmanlık eksikliği ikiye çalışmada belirtilmiştir.



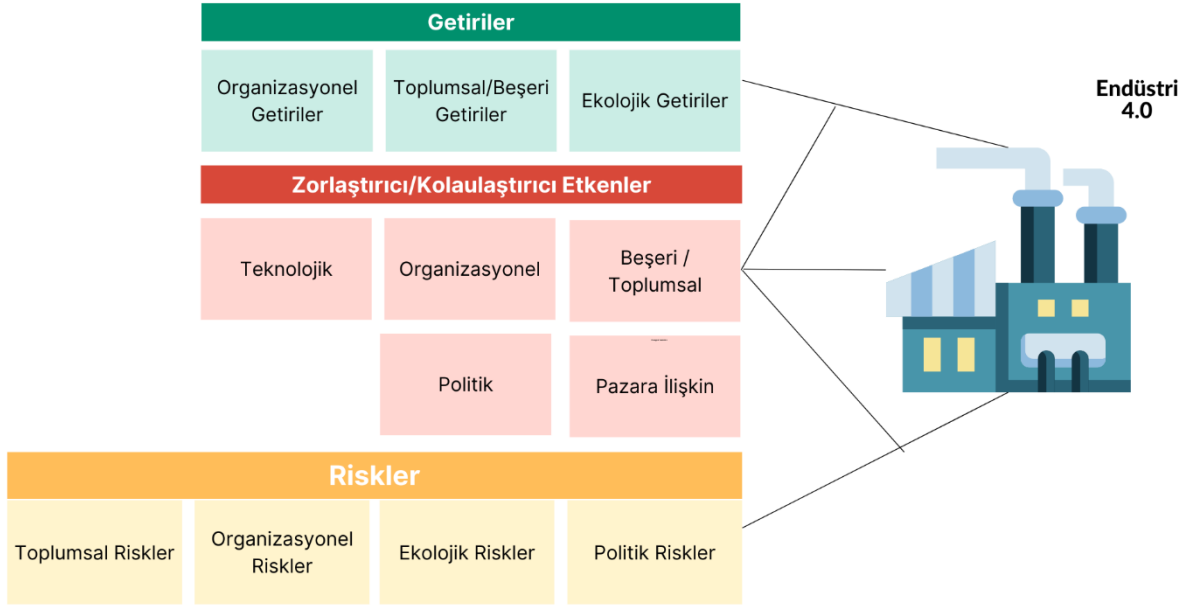
**Grafik 4:** En Sık İşlenen Zorlaştırıcı Etkenler

Analiz sonucu oluşturulan 48 kod öncelikle 14 farklı kategoriye ayrılmıştır. Daha sonra bu kategoriler de üç farklı ana kategori altında gruplandırılmıştır.

Kategori bazında incelendiğinde iş gücü ile ilgili etkenler, teknolojik etkenler ve organizasyonel etkenlerin Endüstri 4.0'a geçişi zorlaştırabileceği ile ilgili daha çok veri bulunmaktadır. Mali etkenler, yönetsel etkenler, politik etkenler, siber güvenlikle ilişkili etkenler ve standartların eksikliğinin de Endüstri 4.0'a geçişi zorlaştırdığı genel kabul görmüş bulunmaktadır. Stratejik etkenler, kültürel etkenler, toplumsal etkenler, eğitim ve veri eksikliği ise incelenen makalelerde daha az bahsi geçen etkenlerdir.

Çalışma sonucunda Endüstri 4.0'ın getirileri, riskleri ve Endüstri 4.0'a geçişi kolaylaştırıcı ve zorlaştırıcı etkenlerin içerik analizi ile ortaya konulan ana kategorilerin oluşturulması sonucunda Şekil 1.'de yer alan çerçeve oluşturulmuştur.





Şekil 1: Endüstri 4.0'ın Getirileri, Riskleri ve Etki Eden Etmenler Kavramsal Çerçevesi

İncelenen makalelerden oluşturulan kodların kategorize edilmesi ve daha sonra elde edilen kategorilerin de ana kategorilere ayrılması ile birlikte 4. Endüstri Devriminin Organizasyonel, Toplumsal/Beşerî ve Ekolojik getirilerin yanısıra bir takım Toplumsal, Organizasyonel, Ekolojik ve Politik riskleri de beraberinde getirdiği görülmüştür.

Zorlaştırıcı ve kolaylaştırıcı etmenlere baktığımızda, bir faktörün bazı durumlarda geçişi kolaylaştırdığı ancak diğer durumlarda zorlaştırabileceği gözlemlenmiştir. Örneğin, uygun becerilere sahip çalışanlar bazı işlerde geçişi kolaylaştırabilirken (Türkeş ve diğerleri, 2019; Gadekar ve diğerleri, 2022, s. 670, s. 40; Sung, 2018; Corò ve Volpe, 2020, s. 112), bu becerilere sahip olmayan çalışanlar geçişi zorlaştırıcı bir risk olarak kabul edilmiştir (Herceg ve diğerleri, 2020, s. 1). Bir başka durumda ise Endüstri 4.0'a geçişi destekleyecek organizasyonel stratejiler geçişi kolaylaştıracak bir etken olarak ele alınırken (Stentoft ve diğerleri, 2021, s. 646; Gadekar ve diğerleri, 2022, s. 670; Kostakis ve Kargas, 2021) stratejik bir bakış açısının noksanlığı ise bir risk faktörü olarak değerlendirilmiştir (Herceg ve diğerleri, 2020, s. 1). Bu bulgu (Ghobakhloo ve diğerleri, 2021) çalışmasının bulgularını destekler niteliktedir. Bu nedenle oluşturulan çerçevede zorlaştırıcı ve kolaylaştırıcı etmenlere birlikte yer verilmiştir.

## SONUÇ

Teknolojik ilerlemeler sonucu sanayide yaşanan son paradigma kayması 2011 yılında Almanya'da ortaya çıkmasından bu yana literatürde Endüstri 4,0 olarak anılmaktadır. Endüstri 4.0'a akademik camianın dışında devletler ve büyük kuruluşlar da büyük ilgi

göstermektedir. Peki nedir bu Endüstri 4.0, hangi koşullarda ortaya çıkmıştır, sağladığı getiriler, beraberinde getirdiği riskler nelerdir, geçiş kolaylaştırarak ya da zorlaştıracak faktörler nelerdir? Çalışma bu soruya odaklanarak kavramsal bir çerçeve oluşturmayı amaçlamıştır.

Yapılan literatür taraması ve içerik analizinin sonuçlarına göre, verimlilik artışı Endüstri 4.0'ın en sık bahsedilen getirisidir. Bunun dışında, kitlesel özelleştirme ve maliyetlerde azalma da ilgili akademik yazında sıkça işlenen diğer getirilerdir. Ayrıca, ürün kişiselleştirme, iyileştirilmiş ürün yaşam döngüleri, rekabet avantajı, yeni iş modelleri, pazara sunma süresinde azalma, kârlılığın sağlanması ve çeviklik de Endüstri 4.0'ın literatürde yüksek sıklıkla görülen getirileridir.

İncelenen çalışmalarda en sık bahsedilen risk, yüksek yatırım maliyetleridir. Ayrıca, istihdam kaybı, yasal çerçevenin sağlanması, standartların eksikliği ve yetenek eksikliğinin yarattığı risklerden de literatürde sıklıkla bahsedilmektedir. Zorlaştırıcı ve kolaylaştırıcı etkenlere bakıldığında ise bir etkenin varlığının ya da yokluğunun bazı durumlarda geçişi kolaylaştırıcı, diğer durumlarda ise zorlaştırıcı etki oluşturabileceği görülmüştür. Bu sonuç, incelenen önceki araştırma sonuçları ile uyumludur.

Çalışmada literatür taraması ve içerik analizi yöntemi ile elde edilen bilgiler kavramsal bir çerçeve oluşturacak şekilde sentezlenmiştir. Makale Endüstri 4.0'ı olumlu ve olumsuz tüm yönleri ile irdeliyerek ve mevcut bilgilere dayanan yeni bir kavramsal çerçeve ortaya koyarak akademik literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın kısıtlarından biri, genel nitelikte bir literatür taraması yönteminin izlenmiş olmasıdır. Bununla birlikte, veri toplama sürecinde kullanılan veritabanları, akademik yazında sıklıkla başvurulan ve geniş kapsamlı kaynaklardır.

Makalenin sonuçların geliştirmek amacı ile gelişmiş ve gelişmekte olan olan ülkelerde Endüstri 4.0'ın olumlu ve olumsuz yönlerini ayrı ayrı ya da karşılaştırmalı olarak inceleyen farklı çalışmalar yapmak mümkündür.

## KAYNAKÇA

- Calabrese, A., Levialdi Ghiron, N., & Tiburzi, L. (2021). 'Evolutions' and 'revolutions' in manufacturers' implementation of industry 4.0: A literature review, a multiple case study, and a conceptual framework. *Production Planning & Control*, 32(3), 213-227.
- Çeliker, O. (2021). *Ticaret kanalları arasındaki değişim temel alınarak tüketicilerin davranış değiştirme niyetleri üzerinde etkili olan faktörlerin itme çekme bağlama kuramı perspektifinden incelenmesi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Coreynen, W., Matthyssens, P., Vanderstraeten, J., & van Witteloostuijn, A. (2020). Unravelling the internal and external drivers of digital servitization: A dynamic capabilities and contingency perspective on firm strategy. *Industrial Marketing Management*, 89, 265-277.
- Corò, G., & Volpe, M. (2020). Driving factors in the adoption of Industry 4.0 technologies: An investigation of SMEs. In *Industry 4.0 and regional transformations* (pp. 112-132). Routledge.
- Gadekar, R., Sarkar, B., & Gadekar, A. (2022). Investigating the relationship among Industry 4.0 drivers, adoption, risks reduction, and sustainable organizational performance in manufacturing industries: An empirical study. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 670-692.
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686.
- Ghobakhloo, M. (2020). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384-2405.
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. E. (2021). Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, Article 127052.
- Gubán, M., & Kovács, G. (2017). Industry 4.0 conception. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 10(1).
- Guzman Mora, L. A. (2019). *Industry 4.0 in developing countries: The case of Colombia* [Doctoral dissertation, Politecnico di Torino].
- Herceg, I., Kuč, V., Mijušković, V., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for Industry 4.0 implementation. *Sustainability*, 12(10), 1-22.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119.
- Kostakis, P., & Kargas, A. (2021). Big-data management: A driver for digital transformation? *Information*, 12(10), Article 411.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.

- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629.
- Lim, C., Lee, J. H., Sonthikorn, P., & Vongbunyong, S. (2021). Frugal innovation and leapfrogging innovation approach to the Industry 4.0 challenge for a developing country. *Asian Journal of Technology Innovation*, 29(1), 87-108.
- Lin, B., Wu, W., & Song, M. (2023). Industry 4.0: Driving factors and impacts on firm's performance: An empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*, 1-21.
- Maisiri, W., van Dyk, L., & Coetzee, R. (2021). Factors that inhibit sustainable adoption of Industry 4.0 in the South African manufacturing industry. *Sustainability*, 13(3), Article 1013.
- 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), Article 247.
- Nazarov, D., & Klarin, A. (2020). Taxonomy of Industry 4.0 research: Mapping scholarship and industry insights. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 535-556.
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Ralston, P., & Blackhurst, J. (2020). Industry 4.0 and resilience in the supply chain: A driver of capability enhancement or capability loss? *International Journal of Production Research*, 58(16), 5006-5019.
- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., & Garza-Reyes, J. A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*, 67, Article 101754.
- Stentoft, J., Wickstrøm, K. A., Haug, A., & Philipsen, K. (2021). Cost-driven motives to relocate manufacturing abroad among small-and medium-sized manufacturers: The influence of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 646-666.
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 40-45.
- Tsaramiris, G., Kantaros, A., Al-Darraj, I., Piromalis, D., Apostolopoulos, C., Pavlopoulou, A., ... & Khan, F. Q. (2022). A modern approach towards an industry 4.0 model: From driving technologies to management. *Journal of Sensors*, 2022(1), Article 5023011.
- Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), Article 153.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.

Yüksel, H. (2020). An empirical evaluation of industry 4.0 applications of companies in Turkey: The case of a developing country. *Technology in Society*, 63, Article 101364.