

DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

ENDÜSTRİ 4.0 VE İLKELERİ,
DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE KRİTERLERİ,
DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİ VE
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ



Dr. Gökhan EĞİLMEZ

DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

**Endüstri 4.0 ve İlkeleri,
Dijital Dönüşüm ve Kriterleri,
Dijital Tedarik Zinciri ve
Karakteristik Özellikleri**

Dr. Gökhan EĞİLMEZ

Dijital Tedarik Zinciri Yönetimi
Endüstri 4.0 ve İlkeleri, Dijital Dönüşüm ve Kriterleri, Dijital Tedarik
Zinciri ve Karakteristik Özellikleri
Dr. Gökhan EĞİLMEZ

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Yayın Tarihi: Aralık 2023
Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-6585-59-1

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

ÖNSÖZ

İşletmeler, Endüstri 4.0'ı pazar lideri olabilmek veya mevcut pazarlarını koruyup güçlendirerek rekabet avantajı elde edebilme fırsatı olarak görmektedirler. Endüstri 4.0 teknolojilerinin yardımı ile tedarik zinciri süreçlerini iyileştirmek için birçok işletme dijital değişim ve dönüşüm girişiminde bulunmaktadır. Ancak, gerçekleştirilmesi düşünülen bu dijital dönüşümün amacına ulaşabilmesi için işletmelerin cevabını bulması gereken birçok soru ve sorun vardır. Aşılması güç bu engellerden başlıcaları;

- Yüksek maliyetli yatırım veya uzun vadeli yatırım getirisi,
- Değişim ve dönüşüne nereden ve nasıl başlanacağı,
- Artan güvenlik endişeleri,
- Değişime direnebilecek yerleşik şirket kültürü,
- Personel beceri ve yetenek eksiklikleri,
- Değişen iş modellerine uyum ve beceri uyumsuzlukları,
- Dönüşüme yeterince öncülük edemeyen liderler,
- Devlet desteğinin yetersiz oluşu ve düzenlemelerdeki kısıtlamalardır.

Bu sorunlara bir de kurumsal hedeflere yeterince katkıda bulunamayan dijital stratejiler veya kuruluşların bireysel teknolojilere çok fazla odaklanarak kurumsal kültürü ikinci planda düşünmeleri gibi sebepler de eklenince dijital dönüşüm projelerinin büyük bir kısmı başarısız olmaktadır (Acatech, 2020; DHL, 2020b; EPRS, 2015; IDC, 2020). Ayrıca iş süreçlerinin ve işletmenin nasıl dijitalleşmesi gerektiği ve dijital süreçte stratejik ve ölçümleyici bir model ile hareket edilmemesi bu süreci oldukça karmaşık hale dönüştürmektedir.

Hazırlanmış olduğumuz bu çalışmada, dijital bir Tedarik Zinciri için gerekli temel teknolojiler, dijital teknolojilerle aşılana bu tedarik zincirlerinin işletmeye katkı sunabileceği temel iş süreçleri ve dijitalleşme aşamasında takip edilebilecek adımlar ve süreçlerin yönetimi ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Dijital dönüşümün işletmelere sunduğu fırsatlar, yeni iş modelleri ve karşılaşılabilecek temel zorluklar ve çözüm önerileri de ayrıca yer almaktadır. Bu çalışmanın, işletmelerin teknoloji destekli dijital bir tedarik zinciri ağı kurgulamalarına rehberlik edebileceği ve küresel bir rekabet avantajı elde etmelerine katkı sunabileceği düşünülmektedir.

Bu kitap Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme anabilimdalında Prof. Dr. Mehmet Selami Yıldız'ın danışmanlığında Dr. Gökhan Eğilmez tarafından hazırlanan "Dijital Tedarik Zinciri Olgunluk Modelinin Tasarımı: Ölçek Geliştirme ve Vaka Uygulaması" başlığını taşıyan doktora tezinden üretilmiştir.

Dr. Gökhan EĞİLMEZ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	viii
1.ENDÜSTRİ 4.0	1
1.1. Endüstri 4.0 ve Temel Özellikleri	3
1.2. Endüstri 4.0 Teknoloji Bileşenleri	7
1.2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT).....	10
1.2.2. Akıllı Sensörler	10
1.2.3. RFID	11
1.2.4. Büyük Veri (Big Data).....	11
1.2.5. Bulut Bilişim.....	12
1.2.6. Siber-Fiziksel Sistemler.....	13
1.2.7. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi	14
1.2.8. Otonom/Özerk Araçlar	15
1.2.9. Robotik ve Otomasyon	15
1.2.10. Platform Mimarisi.....	16
1.2.11. Simülasyon ve Dijital İkizler	16
1.2.12. Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik	17
1.2.13. Blockchain / Blok Zincir	18
1.2.14. Akıllı Mobil Cihazlar ve Giyilebilirler Teknolojiler	19
1.2.15. Eklemeli Üretim (3D).....	19
1.2.16. Yeni Nesil Wifi	19
1.3. Endüstri 4.0 İçin Hedef Ve Beklentiler	20
1.4. Endüstri 4.0 Tasarım İlkeleri: Yetenek 4.0.....	24
2.DİJİTALLEŞME VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM	29
2.1. Dijital Dönüşüm Amaç Faktörleri.....	32
2.2. Dijital Dönüşümün Süreç ve Boyutları.....	36
2.3. Dijital Dönüşümün Önündeki Zorluklar.....	39
3.DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİ	42
3.1. Dijital Tedarik Zincirinin Karakteristik Özellikleri	47
3.1.1. Takip-İzleme ve Görünürlük.....	48
3.1.2. Öngörü ve Karar Destek Sistemleri.....	49
3.1.3. Uzaktan Kontrol ve Proaktif Müdahale.....	50

3.1.4. Özerklik ve Akıllı Süreç Yönetimi	50
3.1.5. Güvenli ve Şeffaf Bilgi Paylaşımı	51
3.1.6. İşbirliği ve Birlikte Çalışabilirlik.....	51
3.2. Dijital Tedarik Zinciri Süreçleri.....	52
3.2.1. Akıllı Planlama	54
3.2.2. Akıllı Tedarik.....	56
3.2.3. Akıllı Üretim.....	57
3.2.4. Akıllı Dağıtım.....	63
3.2.5. Akıllı Müşteri Hizmetleri ve İade Yönetimi.....	66
3.3. Dijital Tedarik Zinciri Beklenti Ve Faydalar	68
3.4. Tedarik Zinciri İle Dijital Tedarik Zincirinin Karşılaştırılması.....	77
4.KAYNAKLAR.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Gartner teknoloji ilerleme döngüsü.....	9
Şekil 2.2. Sayısallaşma, dijitalleşme ve dijital dönüşüm.....	30
Şekil 2.3. Dijital dönüşüm döngüsü.....	39
Şekil 3.1. Dijital Tedarik Zinciri.....	45
Şekil 3.2. Dijital tedarik zinciri sarmalı.....	46
Şekil 3.3. Dijital tedarik zinciri amaç fonksiyonu.....	48

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Endüstri 4.0'a giden uzun yol, işin her yönünün dijitalleştirilmesi.....	5
Tablo 1.2. Endüstri 4.0 için hedef ve beklentiler.....	22
Tablo 1.3. Endüstri 4.0'ın sunduğu yetenek ve fayda.	26
Tablo 2.1. Dijital dönüşüm amaç faktörleri.....	33
Tablo 2.2. Dijital dönüşüm süreç ve boyutları.	37
Tablo 3.1. Dijital işletmenin merkezindeki dijital tedarik zinciri.....	53
Tablo 3.2. 3D Baskı ile yedek parça değer zincirini dönüşümü.....	62
Tablo 3.3. Dijital Tedarik Zincirinden Elde Edilebilecek Beklenti ve Faydalar	69
Tablo 3.4. Tedarik zinciri ile dijital tedarik zinciri'nin karşılaştırılması	78

KISALTMALAR

AI	Yapay zekâ
AR	Artırılmış gerçeklik
BT	Bilgi teknolojisi
CPS	Siber fiziksel sistem
CRM	Müşteri ilişkileri yönetimi
DD	Dijital dönüşüm
DTZ	Dijital tedarik zinciri
DTZOM	Dijital tedarik zinciri olgunluk modeli
ERP	Kurumsal kaynak planlama
E4.0	Endüstri 4.0
H2M	İnsandan makineye
IoT	Nesnelerin interneti
MIS	Üretim bilgi sistemleri
MES	Üretim yürütme sistemleri
ML	Makine öğrenimi
M2M	Makineden makineye
OM	Olgunluk modeli
RFID	Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi
RPA	Robotik süreç otomasyonu
TZY	Tedarik zinciri yönetimi
VR	Sanal gerçeklik
3D/3B	Eklemeli üretim

1. ENDÜSTRİ 4.0

Endüstri 4.0, Alman hükümeti tarafından uygulamaya konan stratejik bir girişimdir. Girişimin amacı, dijital üretim ve yeni teknolojilerin potansiyellerinin kullanılması yoluyla endüstriyel üretimin dönüştürülmesidir. Böylece işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanarak esnek üretim sistemi ve kişilere göre özelleştirilmiş ürünler elde etme sürecini hızlandırmaktır (EPRS, 2015). Bu anlamda Endüstri 4.0, Almanya'nın makine ve otomotiv üretiminde en etkili ülkelerden biri olma konumunu sürdürmeye yönelik bir eylem olarak da görülebilir (Rojko, 2017). Endüstri 4.0, "Süreçlerin ve ilgili fiziksel varlıkların uçtan uca dijitalleştirilmesi" ni elde etmek için otomasyon, bağlantı ve veri alışverişini kullanan Sanayi Devrimi'nin güncel sürümüdür. Bununla eşanlamlı diğer terimler arasında "Dijital İşletme", "Mükemmel Üretim", "Dijital Tedarik Zinciri", "Endüstriyel internet" bulunmaktadır (Ambrosio, 2019).

Temel konsept ilk olarak 2011 yılında ortaya konmuş olup ana fikir yeni teknolojilerin potansiyelinden istifade etmektir. Bu gelişmeyi yorumlamak için iki bakış açısı vardır. **İlki**; Teknik ve bilgilendirici araçların ve bunların tam bağlantılarının daha iyi gerçekleştirilmesiyle geleneksel süreçlerdeki maliyetleri azaltmaktır. **İkincisi**; Veri ve bilgilerin dijitalleştirilmesi, sayısallaştırılması ve ağa bağlanmasıyla yeni iş modelleri ve süreçleri oluşturmaktır. Endüstri 4.0'ı en iyi tanımlayan içeriklerden biri siber-fiziksel sistemlerin (CPS) kullanılmasıdır (Glistau ve Machado, 2018). Siber-Fiziksel Sistem (CPS) altında bilgi teknolojileri, yazılım teknolojisi ve cihazların birbirleriyle iletişim kurduğu mekanik ve elektronik elemanların entegrasyonu kastedilmektedir. Siber-fiziksel sistemler, kablolu ve giderek kablosuz iletişim yoluyla gömülü sistemlerin ağa bağlanmasıyla oluşturulan ağlardır. Bu sistemler hesaplama, ağ oluşturma ve gerçek, fiziksel süreçlerin entegrasyonu anlamına gelir ve aynı zamanda yeni iş modelleri ve iş çözümleri için temel oluşturur (Nagy ve diğ., 2018; Glistau ve Machado, 2018). Yenilikçi teknolojilerin uygulanması, şirketlerin maliyetleri azaltmasına, esnekliği artırmasına ve ürünü özelleştirmesine olanak tanır (Deloitte, 2014).

Endüstri 4.0 teknolojileri, temelde üretimde kullanılan makine ve ekipmanların görevlerini değiştirmez, makine ve operatör arasındaki etkileşimleri değiştirip çalışma ve kontrol edilme biçimlerinde birtakım gelişmeleri yansıtır. Sistem hiyerarşik olarak organize edilmiş bir sistemden merkezi olmayan ve yarı özerk bir kolektife doğru kayar ve akıllı telefonlar ve mobil cihazlar gibi yeni iletişim yolları tedarik zincirine entegre edilir. Yenilikçi uygulamalar sayesinde çalışanlar için gerçek zamanlı olarak daha büyük miktarda bilgi elde edilebilir. Ek olarak akıllı nesnelere ve her yerde bulunan

akıllı sensörler ve diğer veri üreticileri tarafından desteklenerek artan bu önemli yüksek veri hacmi, toplanma ve analiz için uygun bir altyapı gerektirir. Ancak bu şekilde şirketler üretilen ham verileri tedarik zincirine gerçek zamanlı monte edebilir ve karar süreçlerinde kullanabilirler (Schröder ve diğ., 2014). Bu faydaları elde etmek için işletmelerin, küresel değer zinciri boyunca veri akışlarının entegrasyonunun yanı sıra ekipman, bilgi ve iletişim teknolojileri ve veri analizine yatırım yapmaları gerekecektir (EPRS, 2015).

Son beş yılda Endüstri 4.0 gibi muazzam potansiyelden nasıl faydalanılacağı ile ilgili birçok soruya cevap aranmaktadır. Bu sorulardan bazıları (Göhner, 2017);

- Gelecekte rekabet üstünlüğü sağlayacak teknolojiler hangileridir?
- Bu teknolojiler, mevcut sistemlere nasıl entegre edilebilir?
- Hangi işlerin bir geleceği var?
- Hangi iş modelleri yeniliğe öncülük edebilir?
- Veri ve analitiğinin iş modelleri için anlamı nedir?

Bu soruların cevabını bulmak için birçok çalışma yapılmış ve amaçlanan faydaları elde edebilmek için dijital dönüşüm hamleleri başlatılmıştır. Tüm bu teknolojik olanaklar işletmeleri dijitalleşmeye, inovatif çözümlerden faydalanarak maliyetleri azaltmaya, yüksek verimlilik ile rekabet gücünü artırmaya ve müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı cevap verecek şekilde değer oluşturma yarışına itmektedir.

Günümüzde endüstriyel üretim, küresel rekabet ve üretimin sürekli değişen pazar taleplerine hızlı bir şekilde uyarlanması ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu gereksinimler ancak mevcut üretim teknolojisindeki radikal gelişmelerle karşılanabilir (Rojko, 2017). Ürünlerin giderek daha akıllı-bağlı cihazlara dönüşmesi şirketleri ve rekabeti kökten ve yeniden şekillendirmektedir. Akıllı, ağa bağlı endüstriyel makineler, işi özerk bir şekilde koordine ve optimize eder. Ürünler hizmete girdikten çok sonra dahi gelişmeye devam etmektedir. Otomobiller, konum ve ortamlarına ilişkin verileri üreticilerine aktarmaktadır ve performanslarını arttıran veya sorunları ortaya çıkmadan önce gideren yazılım yükseltmeleri almaktadır (Porter ve Heppelmann, 2015).

Akıllı ürünler çevrelerini öğrenebilir ve ezberleyebilir, kendi hizmet ihtiyaçlarını teşhis edebilir ve kullanıcılarının ihtiyaçlarına uyum sağlayabilir. İnsanlar için zor veya tehlikeli yerlerde çalışabilirler. Ürünlere ek olarak süreçler de değişir. Ürünün benzersizliği artarken, üretim süreçlerinin esnekliği de artar. Müşteri ve diğer iş ortaklarıyla birlikte hareket eden şirket yüksek kaliteli ürün ve hizmet vermeye zorlanır. Üründeki ve üretim sürecindeki yenilikler, üretimi optimize etmeyi, verimliliği artırmayı ve arıza sürelerini ve

hataları önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılar. Tüm bu koşullar bizi ürünlerin çevreleriyle iletişim kurduğu ve üretim sisteminin ayarlarını etkilediği akıllı ürün ve hizmetlere götürmektedir (Abonyi ve Miszlivetz, 2016).

Dijitalleşme süreci sağlıktan eğitime, tarımdan sanayiye sosyal ve iktisadi hayatın tüm alanlarını etkilemektedir. Siber-fiziksel sistemlerde yaşanan gelişmelerle ortaya çıkan dördüncü sanayi devrimi ile özellikle üretim, ulaşım ve hizmetler gibi birçok alanı kapsayan yeni bir dijital ekonomi kavramından bahsedilmeye başlanmıştır (Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018). Dijital dönüşüm işletmeleri daha çevik hale dönüştürmenin yanı sıra, daha esnek, riskleri öngörebilen, bilgi paylaşımı şeffaf ve müşteri etkileşimi yüksek hale dönüştürmeyi hedefler (Siegel ve Booth, 2020). Dijital çağda işletmelerin ayakta kalabilmesi için dijitalleşme gereklidir. Belgeleri iş arkadaşlarıyla ve paydaşlarla paylaşabilmek, projeler üzerinde işbirliği yapabilmek, hizmetleri müşterileri için daha rahat ve erişilebilir hale getirmek önemlidir. Çünkü tüm bu çabalar teknoloji değerli verimlilikler oluşturmaya yardımcı oluyor; ancak verimlilik meydana getirmek tek başına Dijital Dönüşüme yol açmaz. Diğer taraftan son teknolojiyi benimsemek belki rekabet avantajı oluştursa da Dijital dönüşüm ile sonuçlanmaz (Solis, 2017).

Dijital dönüşüm, yenilikçi fikirleri olanları hızlı bir şekilde test etmeleri, başarıları veya başarısızlıkları hakkında hızlı bir karar vermeleri ve daha sonra bir sonraki fikre hızla geçmeleri için yetki veren bir kültür gerektirir. Yetenekli ve akıllıca risk alabilen lider ve çalışanların uyum içinde çalıştığı, veri ve analize dayalı işbirlikçi bir çalışma prensibi ile müşteri ihtiyaçlarını belirleyip çözen bir organik yapı olmalıdır. Bir işletmenin çevik olması gerekiyorsa, kendi bölgelerini korumaya çalışmak yerine müşteri ihtiyaçlarını belirlemek ve çözmek için farklı işlevler ve iş kolları ile işbirliği yapmalıdır. Kuruluşlar ayrıca veri standartlarını ve teknoloji sistemlerini işletme genelinde uyumlu hale getirmelidir (Siegel ve Booth, 2020).

1.1. Endüstri 4.0 ve Temel Özellikleri

“Endüstri 4.0” terimi ilk kez 2011 yılında Almanya'daki Hannover Fuarı'nda kullanılmıştır. Bir dizi çağdaş otomasyon, veri alışverişi ve üretim teknolojilerini kapsayan Endüstri 4.0: “Nesnelerin ve hizmetlerin internetiyle siber-fiziksel sistemleri bir araya getiren, değer zinciri organizasyonlarının teknolojileri ve kavramları için ortak bir terim” olarak tanımlanmıştır. “Endüstri 4.0” terimi Alman hükümetince yüksek teknoloji stratejisi projesinde kullanılmış olup terim, yazılımın adlandırılmasına dayanmaktadır. Yazılım sürümleri karakterize edilmiştir. Her sürüm, önceki sürümle karşılaştırıldığında büyük bir değişikliği işaret eder. “Endüstri 4.0” terimindeki “4” 4. sanayi devrimi olarak yeni bir

yazılım versiyonu anlamına gelir. “0” ise, yeni versiyonun başlangıç noktasını dördüncü sanayi devriminin başlangıç noktası olarak işaretler. Yani “Endüstri 4.0” 4. Sanayi devriminin başlangıcıdır (Glistau ve Machado, 2018). Endüstri 4.0 konseptinin Almanya'dan gelmesi şaşırtıcı değildir, çünkü Almanya dünyanın en rekabetçi üretim endüstrilerinden birine sahiptir ve hatta üretim ekipmanları sektöründe küresel bir liderdir. Endüstri 4.0, geleneksel olarak endüstriyel sektörün gelişimini destekleyen Alman hükümetinin stratejik bir girişimidir. Bu anlamda Endüstri 4.0, Almanya'nın makine ve otomotiv üretiminde en etkili ülkelerden biri olma konumunu sürdürmeye yönelik bir eylem olarak da görülebilir (Rojko, 2017).

Endüstri 4.0, hem iş ve üretim süreçlerinin entegrasyonu hem de şirketin değer zincirindeki tüm aktörlerin (tedarikçiler ve müşteriler) entegrasyonuna dayanan umut verici bir yaklaşımdır (Rojko, 2017). Endüstri 4.0 ilk olarak, ürün geliştirme ve satın alma, üretim, lojistik ve servis gibi süreçleri kuruluşun tamamında dikey hale getirir ve bütünleştirir. Operasyon süreçleri, süreç verimliliği ve kalite yönetimi ile operasyon planlaması hakkındaki tüm veriler gerçek zamanlı olarak mevcuttur, artırılmış gerçeklik ile desteklenir ve entegre bir ağda optimize edilir. Yatay entegrasyon, rakip firma ve diğer kuruluşlarla birlikte çalışabilmeyi ifade eder. Dikey bütünleşmedeki tedarikçilerden müşterilere ve tüm önemli değer zinciri ortaklarına kadar dâhili operasyonların ötesine uzanır. İzleme cihazlarından, gerçek zamanlı entegre planlamaya ve yürütme teknolojilerine kadar izleme teknolojilerini içerir (Pwc, 2016). Tedarik zinciri entegrasyonu, bölgesel tedarik zincirlerini, küresel bir tedarik ağına entegre etmek satış büyümesini ve tedarik zinciri görünürlüğünü artırmak ve esnek bir yanıt yönetimi sağlamak anlamına gelir (Agrawal ve Narain, 2018).

İşletmeler, Endüstri 3.0 ile bilgisayar ve otomasyonla iş süreçlerini kolaylaştırırken, Endüstri 4.0 ile uzaktan denetlenebilen, veriye dayalı kararların alındığı, otonom ve özerk bir sistem tasarlamak çabasındadırlar. Buhar enerjisi ile başlayan endüstri devrimleri ve süreçlerin temel yetkinlikleri Tablo 1.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1.1. Endüstri 4.0'a giden uzun yol, işin her yönünün dijitalleştirilmesi

1800+ Endüstri 1.0	Su ve buharla çalışan mekanik üretimin icadı ilk sanayi devrimini başlatmıştır.
1900+ Endüstri 2.0	Elektrikli ve yanmalı motorlar sayesinde seri üretime geçiş ve montaj hattının devreye girmesi bu süreci başlatmıştır.
1970+ Endüstri 3.0	Üretim süreçlerinin ileri otomasyonu için elektronik bilgi teknolojileri (BT), endüstriyel robotlar, elektronik, bilgisayar ve internet bu bilgi çağının başlangıcını oluşturmuştur.
2015+ Endüstri 4.0	Dijital tedarik zinciri, akıllı üretim, akıllı ürün ve hizmetler, dijital iş modelleri, temel bir yetkinlik olarak veri analizi kullanımı bu süreci başlatmaktadır.
2030+ Dijital Ekosistem	Esnek ve entegre değer zinciri ağları, sanallaştırılmış süreçler, müşteri arayüzleri ve anahtar bir itici güç olan endüstri işbirliği de bu süreci başlatacaktır.

Kaynak: Schrauf ve Bertram (2016)

Endüstri 3.0, makinelerin ve süreçlerin otomasyonuna odaklanırken, Endüstri 4.0 tüm fiziksel varlıkların uçtan uca dijitalleştirilmesine ve değer zinciri ortaklarıyla dijital ekosistemlere entegrasyonuna odaklanmaktadır. Kısacası, üretim operasyonunun içindeki ve etrafındaki her şey (tedarikçiler, tesis, distribütörler, hatta ürünün kendisi bile) dijital olarak birbirine bağlıdır ve son derece entegre bir değer zinciri sağlar (EPRS, 2015).

Endüstri 4.0'ın temel özellikleri bazı araştırmacı kişi ve kuruluşlara göre şu şekilde sıralanmaktadır.

Deloitte (2014)' göre, Endüstri 4.0 teriminin dört ana özelliği vardır:

- Akıllı üretim sistemlerinin dikey ağ bağlantısı
- Yeni nesil küresel değer zinciri ağları aracılığıyla yatay entegrasyon
- Tüm değer zincirinde ömür boyu mühendislik desteği
- Üstel teknolojilerle hızlanmadır.

Bitkom, (2015), raporlarında Vdma ve Zvei Endüstri 4.0'ın temellerini:

- Değer oluşturmada yer alan tüm unsurların ağa bağlanmasıyla ilgili bilgilerin gerçek zamanlı olarak erişilebilir olması,
- En uygun katma değerli süreçleri her zaman bilgi ve verilerden sapma yeteneği,
- Bilgiye entegre bir katma değer sürecinin gerçekleştirilmesi olarak ifade etmektedirler.

Rojko (2017)'ya göre, Endüstri 4.0'ın ana fikri aşağıdaki gibi yeni teknolojilerin ve kavramların potansiyelini kullanmaktır:

- İnternet ve IoT'nin kullanılabilirliği ve kullanımı,
- Teknik süreçlerin ve iş süreçlerinin şirketlere entegrasyonu,
- Gerçek dünyayı dijital haritalama ve sanallaştırma,
- 'Akıllı' endüstriyel üretim ve 'akıllı' ürünleri içeren 'akıllı' fabrikadır.

PwC (2016), Global Industry 4.0 Survey, araştırmasında Endüstri 4.0'ı üç bölümde ele almaktadırlar:

- Değer zincirlerinin dijitalleştirilmesi ve yatay-dikey entegrasyonu
- Ürün ve hizmetlerin dijitalleştirilmesi
- Dijital iş modelleri ve müşteri erişimidir.

Bir diğer Endüstri 4.0 teması ise akıllı ürün ve hizmetlerin geliştirilmesidir. Ürünlerin giderek daha geniş sistemlere yerleştirilen akıllı, bağlı cihazlara dönüşmesi şirketleri ve rekabeti kökten şekillendirmiştir. Akıllı termostatlar, giderek artan sayıda ev cihazını kontrol ederek kullanımları hakkında verileri üreticilere iletir. Akıllı, ağa bağlı endüstriyel makineler, işi özerk bir şekilde koordine eder ve optimize eder. Araçlar, işletmelerine konumlarına ve ortamlarına ilişkin verileri üreticilerine aktarır ve performanslarını arttıran veya sorunları ortaya çıkmadan önce gideren yazılım yükseltmeleri alır. Ürünler hizmete girdikten çok sonra dahi geliştirilmeye devam eder. Bir firmanın ürünleri ve müşterileri ile olan ilişkisi sürekli ve açık uçlu hale gelmektedir (Porter ve Heppelmann, 2014). Akıllı ürünler çevrelerini öğrenebilir ve ezberleyebilir, kendi hizmet ihtiyaçlarını teşhis edebilir ve kullanıcılarının ihtiyaçlarına uyum sağlayabilir. İnsanlar için zor veya tehlikeli yerlerde çalışabilirler. Ürünlere ek olarak süreçler de değişir. Üründeki ve üretim sürecindeki yenilikler, üretimi optimize etmeyi, verimliliği artırmayı, arıza sürelerini kısaltmayı, hataları ve kaynak kullanımını önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılar. Tüm bu koşullar bizi ürünlerin çevreleriyle iletişim kurduğu ve üretim sisteminin ayarlarını etkilediği akıllı sistemlere götürür (Abonyi ve Miszlivetz, 2016).

Endüstri 4.0, iş modellerinde de değişikliklere neden olmuştur. Dijital iş modeli, bir iş ağı kurmayı ve kilit iş ortaklarını kolay bir etkileşim noktası oluşturmayı hedefleyen bir platformda buluşturma ortak vizyona sahip olmayı öneriyor. Müşteri davranışlarını çözümleyen akıllı sistemler hizmet sunumunu kolaylaştırmış ve ürünleri özelleştirme fırsatı vermiştir. Akıllı sistemler satış kalıplarının ve satın alma davranışının analizi, talep algılama ve güncel satış bilgileri yoluyla müşterilerin gereksinimlerinin daha iyi anlaşılmasını sağladığı için tüm endüstriler için çok çekicidir (Agrawal ve Narain, 2018). Ayrıca

müşterilerin, tasarım sürecine daha fazla dahil olabildiği (Merch by Amazon gibi) sistemler kurulmakta ve tasarımdan üretime hızlı geçişi sağlayan 3D imkânı ile yeni iş modelleri oluşmaktadır.

Teknoloji geliştikçe, karar verme ve insan-makine etkileşimleri (M2H) daha uygulanabilir hale gelmektedir. Bu da işletmelerin operasyonlarında hız kazanmalarına yardımcı olmakta, karmaşıklıkları kolaylıkla idare etmekte ve sonuçlara değer katmaktadır. IoT, blockchain (blok zinciri), yapay zekâ ve yapay sinir ağları gibi son teknolojiler, akıllı sistemler oluşturmakta ve tüm iş süreçlerinde ve ilgili paydaşlara uçtan uca görünürlük vermektedir. Karar vermeyi otomatikleştiren bu teknoloji tabanlı hizmet çözümleri işletmeleri kârlı, benzersiz ve müşteriler için daha değerli hale getirmektedir. Bu çözümler, sağlık hizmetleri, otomotiv, üretim, bankacılık, lojistik, depo yönetimi, tedarik zinciri yönetimi ve altyapı gibi çok çeşitli endüstrileri etkilediği için her yerde bulunmaktadır. Kısacası, iş dünyasının geleceği merkezi bir otoriteye bağlı olmayan, dijital, işbirlikçi bir hal almaktadır (Pundir ve diğ., 2019). Ürüne dahil edilen teknoloji elemanları, müşterilere giderek daha karmaşık hizmetler sunmalarını mümkün kılar. Dört ürün tabanlı hizmet seviyesi ayırt edilebilir: izleme, kontrol, optimizasyon ve özerklidir (Porter ve Heppelmann, 2014).

Endüstri 4.0 otonom/özerk olmak için otomasyon çözümlerine ihtiyaç duymaktadır. Yapay zekâ, ileri robotik ve sensör teknolojisindeki potansiyel, tedarik zincirlerinde vaatlere uymayı, kişiye özel hizmet vermeyi kolaylaştırmakta, esnekliği hızlandırmaktadır. Yapay zekâ sadece fabrikalarda ve depolarda daha fazla sürücü odaklı araç yolu tasarlamaya yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda Tedarik Zinciri Yönetimi'nde (SCM) zaman ve maliyetten tasarruf etmeye, üretimde güvenilirliği artırmaya veya yeni tasarım çözümleri bulmak için büyük veri hacimlerini analiz etmeye yardımcı olur. İnsan ve makine arasındaki iş birliğini güçlendirir (Nagy ve diğ., 2018).

1.2. Endüstri 4.0 Teknoloji Bileşenleri

Endüstri 4.0, akıllı sensörler, bulut, blockchain, 3D yazıcılar (eklemeli üretim), yapay zekâ, makine öğrenimi, artırılmış ve sanal gerçeklik, robotlar, bilişsel robotik süreçler, otonom araçlar, giyilebilir teknolojiler ve özelleştirme, esneklik ve hızlı üretim sağlayan siber fiziksel sistemleri gibi çeşitli girdilerden oluşan otomatik sistemleri içermektedir (Deloitte, 2014). Bu “teknoloji yığını”, ürün ve kullanıcı arasında veri alışverişi için bir ağ geçidi sağlayarak dış kaynaklar ve diğer ilgili ürünlerden gelen verileri sistemlere entegre etmektedir. Teknoloji yığını ayrıca veri depolama ve analitik için platform görevi görmekte, uygulamaları çalıştırmakta ve ürünlere ve bunlardan akan verilere erişimi korumaktadır (Porter ve Heppelmann, 2015).

IFS (2017), Digital Change Survey araştırmasına göre; Dijital dönüşümü tetikleyen teknolojilerden, yatırım için aranan teknolojilerin başında büyük veri ve analitik gelmektedir (%47). İleri analitik, birçok veri odaklı sistemi yakalamakla birlikte eski teknolojilerin sağlayamadığı veriler etrafında esneklik ihtiyacını geniş ölçüde yansıtmaktadır. Katılımcıların %38'inin en yüksek yatırım kabiliyeti olarak değerlendirdiği kurumsal kaynak planlaması (ERP), bir işte öz farkındalık oluşturmada ve değişim kapasitesini ayarlamaktadır. Bir firmanın mevcut yetenekleri konusundaki farkındalığı artırarak ve yapısını daha etkin bir şekilde haritalayarak değişim sürecini destekleyen verimlilikleri ve üretkenliği artırmaktadır.

Tüketici teknolojisinin hangi yönde geliştiğini göstermek için yıllık olarak IFA'nın bir parçası olarak yayınlanan "Tüketici Teknolojisinin Geleceği-2019" araştırmasına göre; Tüketici teknolojileri şu anda görünmez bir devrim geçirmektedir. Sadece endüstriyel alanda değil bu devrim tüketicilerin kullandıkları ve mobil cihazlarla kontrol ve izleme yapabildikleri sistemler ile toplumsal yaşamda her geçen gün etkisini artırmaktadır. Giyilebilir teknolojiler, akıllı evlerdeki cihazlar sadece birbirleriyle ağa bağlanmakla kalmamakta, aynı zamanda buluttaki veri platformlarına da erişerek özerk veya uzaktan kontrol edilebilmektedir (Deloitte, 2019).

Gartner (2021), Top Strategic Technology Trends for 2021 araştırmasına göre; Önümüzdeki beş yıl içinde kuruluşlara rehberlik edecek kurumsal esnekliği sağlayacak teknoloji trendleri üç temaya denk gelmektedir:

- *İnsan merkezli*; Davranışların İnterneti (IoB), çoklu müşteri deneyimi ve güvenli veri işleme,
- *Konumdan bağımsız*; Dağıtılmış/edge bulut, her yerden yönetilebilen operasyonlar,
- *Esnek teslimat*; Siber güvenlik ağı, akıllı şekillendirilebilir iş süreçleri ve hiper otomasyondur.

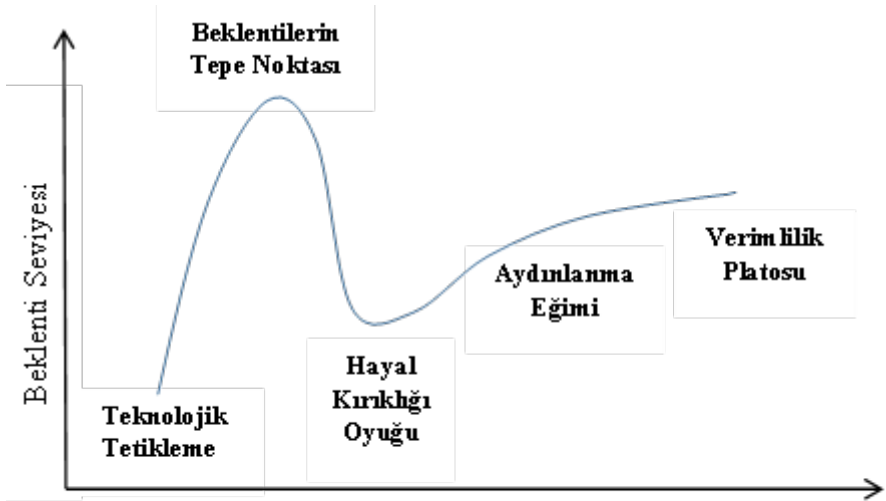
Ayrıca strateji, danışmanlık, dijital teknoloji ve operasyon hizmetleri sunan Accenture (2020) teknoloji trendlerini ise şu şekilde sıralamaktadır:

- *Müşteri Deneyimi*; Platformlar, müşteri uygulamaları ile iş birliğine odaklanılmaktadır.
- *Yapay Zekâ*; İşletmeler, insanlar ve makineler arasındaki bağlamsal anlayışı geliştirecek yeni yetenekler (otomatik faturalama, kazanma olasılığı, anomali tespiti ve genel muhasebe önerisi vb.) geliştirmelidir.
- *Akıllı Ürünler*; Şirketler müşterilerle “ortak mülkiyet” i benimsemekte ve ürünlerini ve ekosistemlerini devam eden değişime uyum sağlayacak

şekilde tasarlanmaktadır. Akıllı evler, akıllı ev eşyaları, akıllı giyilebilir teknolojiler ve uzaktan bağlantıyla sorunları ve performansları kontrol edilebilen akıllı makine ve akıllı araçlar ortak mülkiyet fikrini güçlendirmektedir.

- *Robotlar*; Otonom araçlar, dronlar, teslimat uçağı ve daha fazlası dünyaya girmekte ve böylece işletmelerin akıllı işletmeyi fiziksel dünyaya genişletmelerine izin vermektedir. Bu da işletmelerin yeni yetenekler geliştirmesini gerektirmektedir.
- *İnovasyon DNA'sı*; Gelişen inovasyon ve dijital teknolojinin olgunlaşması, işletmenin parçalarını dönüştürmeyi veya araçlarla başkalarıyla paylaşmada yeni bir değer bulmayı hiç olmadığı kadar kolaylaştırmaktadır.

Yeni teknolojiler hayatımıza katıldıkça bunların ticari ürüne dönüşme süreci ve olgunlaşma sürecinden kabul aşamasına kadar olan dönüşüm, Şekil 1.1'de görüldüğü üzere Gartner (2020), "Teknoloji İlerleme Döngüsü" adı altında, beş aşamalı olarak değerlendirilmektedir.



Gartner Teknoloji İlerleme Döngüsü

Şekil 1.1. Gartner teknoloji ilerleme döngüsü

Teknolojik tetikleme: Teknolojik olgunun ilk çıkış aşamasıdır. Bu aşamada, teknolojinin nereye gideceğinin lansmanı yapılmaktadır ancak henüz ticari bir ürün olma göstergesi bulunmamaktadır.

Beklentilerin tepe noktası: Erken lansman aşamasıdır. Bir dizi başarısız ürün geliştirme hikayeleri de bulunmaktadır. Bazı şirketler teknoloji ile ilgili aksiyonlar almaya başlamıştır.

Hayal kırıklığı oyuğu: Birkaç başarısız deneme ile bazı teknoloji şirketlerinin silkelendiği aşamadır. Kalan şirketler ar-ge çalışmalarına ve yatırımlarına devam etmektedirler.

Aydınlanma eğimi: Teknolojinin gerçek hayata faydasının daha anlaşılır olduğu aşamadır. İkinci ve üçüncü nesil ürünlerin temelleri oluşturulmaktadır. Bazı temkinli müşterilerde pilot uygulamalara başlanmıştır.

Verimlilik platosu: Aralıksız adaptasyon sürecinin başladığı aşamadır. Ürün sağlayıcısı için kriterler netleşmiştir, teknolojinin ürün haline dönüştüğü noktadır. Teknoloji üreten firma için yatırım geri dönüşü, müşteriler için fayda sağlama aşaması başlamıştır (Kurumsal BT Stratejisi, 2014).

Bu teknolojiler ve genel özelliklerine dair temel bilgiler ve tedarik zincirleri için sundukları imkânlar aşağıda açıklanmıştır:

1.2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT), genellikle insan müdahalesi olmadan verilerin toplanmasını, değiş tokuş edilmelerini ve bunlar üzerinde işlem yapılmasına imkân sağlamaktadır (PwC, 2020). Uzak cihazların akıllı telefon veya tabletler aracılığıyla tesis yöneticileri veya haneler tarafından kolayca izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. Arz tarafında, birçok IoT platformu için önemli bir uygulama, güvenilirliği optimize etmek, kullanılabilirliği artırmak ve işletme maliyetlerini azaltmak için sensör ve makine verilerini analitik yazılımla birlikte kullanmaktadır. IoT, büyük veri ve bulut bilişim ile yakından ilgilidir. IoT veri toplamakta, belirli kurallara göre işlem yaparak bulut bilişim ile verileri depolamaktadır ve büyük veri analiz işleme, yorumlama ve karar vermeye imkân sağlamaktadır. Birlikte fiziksel ve sanal dünyaları birleştirerek akıllı ortamlar oluşturmaktadır (Lyons, 2019).

1.2.2. Akıllı Sensörler

Ortamdaki ışık, nem, sıcaklık, mesafe, darbe gibi birçok etkeni ölçebilen ve bu verilerle ürünleri koruma, güven altında tutma ve riskler karşısında önlemler almaya yarayan bağlantılı cihazlardır.

Yeni nesil kablosuz teknolojiler, tedarik zincirleri için tam görünürlük, büyük ölçekli özerklik ve öngörülebilirlik sağlamaktadır. Bununla birlikte, çok çeşitli kablosuz iletişim teknolojilerindeki ilerlemenin artık endüstri için görünürlüğü iyileştirmesi, operasyonel verimliliği artırması ve otomasyonu hızlandırması için yeni fırsatlar vermektedir. Bu yeni nesil kablosuz

teknolojiler, bugünün herkesi, her şeyin, her yerde bağlanabileceği yeni bir dünyaya bağlama hedefinin ötesine geçerek iletişim devriminde bir sonraki adımı mümkün kılabilmektedir (DHL, 2020a).

1.2.3. RFID

Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi (RFID) teknolojileri, küçük miktarlarda verinin düşük maliyetli, kısa menzilli paylaşımını sağlamak için tasarlanmıştır. Bu teknoloji tipik olarak nesnelere tanımlamak için kullanılmaktadır. RFID, iki yönlü bir iletişim protokolüdür. Bir etiket hem okuyucuya bilgi gönderebilmekte hem de ondan bilgi alabilmektedir. RFID, QR etiketinden taranan verilere bağlanarak kodu okur ve tam yaşam döngüsünü vermek için birlikte çalışmaktadır. Çoğu RFID sistemi pasiftir. RFID çipi ve antenini içeren etiket veya kartın kendine ait bir güç kaynağı yoktur. Bunun yerine, enerjisini okuma cihazı tarafından iletilen radyo dalgalarından toplamaktadır. Kendi pillerini içeren aktif etiketler, daha yüksek veri hızları ve daha uzun iletim aralıkları sunmakta, ancak bu durum cihaz başına maliyeti artırmaktadır. Dijital bir şirketin sayısallaştırılmış tedarik zinciri için en önemli araçlardan biri uçtan uca RFID izlemedir. RFID sistemleri her ürünü tedarik zinciri üzerinden takip ederler. RFID verileri doğrudan veya dolaylı olarak arka uç kurumsal kaynak planlamasına (ERP), etkileşim yönetim sistemlerine (EMS) veya müşteri ilişkileri yönetimine (CRM) bağlanabilmektedir. Bu sistemler sayesinde RFID, operasyonları, müşteri etkileşimlerini ve ağ oluşturmayı ve stratejik analiz ve planlamayı desteklemede çok önemli bir rol oynamaktadır. Sahte ürünlerle mücadele etmenin yanı sıra RFID artık tedarik zinciri lojistiğini geliştirmek, mağaza içi alışveriş yapmak, pazarlama örneklerini izlemek, perakende etkinlikleri düzenlemek, envanteri kontrol etmek ve ikmali otomatikleştirmek için de kullanılmaktadır (DHL, 2020a; Crawford, 2019; Dutzler ve diğ., 2016).

1.2.4. Büyük Veri (Big Data)

Büyük veri analizi, sürdürülebilir değer sunmak, performansı ölçmek ve rekabet avantajı için eyleme geçirilebilir öngörüler oluşturmak amacıyla veriyle ilgili 5V olarak ifade edilen (volume, variety, velocity, veracity and value yani; hacim, çeşitlilik, hız, doğruluk ve değer) 5 boyutu yönetmek, işlemek ve analiz etmek için bütünsel bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Wamba ve diğ. (2015)'deki çalışmalarında büyük veri kullanmanın boyutlarını aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

- Şeffaflık oluşturma,
- İhtiyaçları keşfetmek, değişkenliği ortaya çıkarmak ve performansı

- iyileştirmek için denemeleri etkinleştirme,
- İnsan merkezli karar verme mekanizmasını destekleme veya otomatik algoritmalarla değiştirme,
 - Yeni iş modelleri, ürünler ve hizmetler sunma.

McKinsey (2011), “Global Institute” raporunda, büyük verinin potansiyelini beş ana başlıkta belirlemiştir:

- *Üretim*: gelişmiş talep tahmini, tedarik zinciri planlaması, satış desteği, gelişmiş üretim işlemleri, web araştırması tabanlı uygulamalar.
- *Perakende*: mağaza davranış analizi, çeşitlilik ve fiyat optimizasyonu, ürün yerleştirme tasarımı, performansı iyileştirme, işgücü girdileri optimizasyonu, dağıtım ve lojistik optimizasyonu ve web tabanlı pazarlama.
- *Kamu sektörü*: erişilebilir ilgili verilerle şeffaflık oluşturma, ihtiyaçları keşfetme, performansı iyileştirme, uygun ürün ve hizmetler için eylemleri özelleştirme, riskleri azaltmak için otomatik sistemlerle karar verme, yeni ürün ve hizmetler yenilik yapma.
- *Sağlık*: klinik karar destek sistemleri, hasta profili için uygulanan bireysel analitik, kişiselleştirilmiş ilaç, personel için performansa dayalı fiyatlandırma, hastalık modellerini analiz etme, halk sağlığını iyileştirme.
- *Kişisel konum verileri*: akıllı yönlendirme, coğrafi hedefli reklamcılık veya acil durum müdahalesi, şehir planlama ve yeni iş modelleri.

1.2.5. Bulut Bilişim

Bulut, dijital hazırlığa ulaşmayı ve yeni ekonomide başarılı olmak için stratejik olarak kendini dönüştürmeyi isteyen her işletme için BT mimarisinin temelini oluşturur (IDC, 2020). Veri depolama süreçlerinde bulut bilişim yönünde bir eğilim görülmektedir. Bu ise, verilerin artık yerel masa üstlerinde veya sunucularda değil, farklı konumlardaki sanal platformlarda depolandığı anlamına gelmektedir. Endüstri 4.0'da üretim öğeleri, fiziksel bulutlarının yanı sıra veri bulutunda depolanan bir veri nesnesi olan sanal kimliğe de sahiptir. Bu sanal kimlik, belgelerden 3-B modellerine, bireysel tanımlayıcılara, mevcut durum verilerine, geçmiş bilgilerine ve ölçüm / test verilerine kadar ürün hakkında çeşitli veri ve bilgiler içerebilmektedir. Ayrıca, uygulamalar yerel bilgisayarlara kurulum gerektirmez, bunun yerine tüm cihazlarda buluttan çalıştırılabilmektedir. İşletmeler, her zaman ve her yerde kullanılabilir oldukları için bulut hizmetlerinden faydalanmaktadırlar (Schröder ve diğ., 2014; Rojko, 2017).

Endüstri analisti Gartner (2020)'ın en iyi 10 stratejik teknoloji trendinden biri Dağıtılmış Bulut'tur. Son kullanıcıya daha yakın olan dağıtılmış bulut, hesaplama, depolama ve ağ oluşturma'nın merkezi bulutun dışında bulunan bir mikro bulutta olduğu anlamına gelmektedir. Dağıtılmış bulut bilişim, bulut bilgi işlem modelini, performans, yedeklilik ve yönetmelik gereksinimlerini karşılamak için coğrafi olarak dağıtılmış sitelerdeki verileri ve uygulamaları konumlandırmak, işlemek ve sunmak için geliştirilmektedir. Bölgelerdeki sitenin yedeğini, bulutun çalışır durumda kalmasını ve bulut kullanıcılarına şeffaf olmasını sağlamanın tüm izleme ve yönetim yönleriyle birlikte kesintilerden ve felaketlerden kurtarma hizmetlerini sağlamaktadır (Gartner, 2020; Gartner, 2019; Stackpath, 2023).

Dağıtılmış Bulut Çeşitleri:

- Şirket İçi Genel Bulut: Bu popüler bir satıcı teklifidir, ancak sağlayıcının tam paketinin yalnızca bir kısmını sunar ve nispeten olgunlaşmamış olarak kalmaktadır.
- Nesnelerin İnterneti (IoT) Uç Bulutu: Uç cihazlarla doğrudan etkileşime giren dağıtılmış hizmetlerdir.
- Metro-Alan Topluluk Bulutu: Bulut hizmetlerinin, birden çok müşteriye bağlanan bir şehir veya metropol alanındaki düğümlere dağıtılmasıdır.
- 5G Mobil Uç Bulut: Bir 5G telekomünikasyon / taşıyıcı ağının parçası olarak dağıtılmış bulut hizmetlerinin sağlanmasıdır.
- Küresel Ağ Uç Bulutu: Baz istasyonları, hub'lar ve yönlendiriciler gibi küresel ağ altyapısıyla entegre olacak şekilde tasarlanmış bulut hizmetlerinin sağlanmasıdır (Gartner, 2019).

1.2.6. Siber-Fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistem (CPS) altında bilgi teknolojisi, yazılım teknolojisi ve elementlerin birbirleriyle iletişim kurduğu mekanik ve elektronik elemanların entegrasyonu kastedilmektedir. Siber-fiziksel sistemler, kablolu ve giderek kablosuz iletişim yoluyla gömülü sistemlerin ağa bağlanmasıyla oluşturulan ağlardır (Nagy ve diğ., 2018). Siber-Fiziksel Sistem akıllı sensörler vasıtasıyla üretim sisteminden bilgi temin eden ve aldığı bu bilgilere verdiği geribildirimler sayesinde sistemde kesintisiz kontrol döngüleri gerçekleştiren gömülü sistemlerdir.

Endüstri 4.0'ı en iyi tanımlayan içeriklerden biri siber-fiziksel sistemlerin kullanılmasıdır. Bu, hesaplama, ağ oluşturma ve gerçek, fiziksel süreçlerin entegrasyonu anlamına gelmektedir ve yeni iş modelleri ve iş çözümleri için temel oluşturmaktadır. Yüksek düzeyde esneklik sağlayan CPS' nin uygulanması ile şirketler daha hızlı yanıt verme yeteneği kazanmaktadırlar.

Değer zinciri içindeki şeffaflık, üreticinin müşteri gereksinimlerindeki değişiklikleri belirlemesine ve bunları geliştirme aşamasından dağıtım aşamasına kadar tüm üretim aşamalarında yansıtmasına olanak tanımaktadır. Bu Akıllı ve bağlı sistemler, kaynak robotları, konveyör bantlar veya nakliye robotları gibi üretim makineleri birbirleriyle “konuşur” ve tedarik zincirine entegre çalışabilmektedirler (Glistau ve Machado, 2018a; Deloitte, 2014).

Siber-Fiziksel Sistemler, Endüstri 4.0 fabrikasındaki makineler ve bileşenleri ile entegre çalışmaktadırlar. CPS’ler üretim süreçlerini belirleme, bulma, izleme ve optimize etme amacıyla gerçek zamanlı bilgi toplama ve alışveriş yapan, merkezi olmayan kontrol ve gelişmiş bağlantıya sahip gömülü sistemlerdir. Makine öğrenme algoritmaları ve gerçek zamanlı veri yakalama, analiz sonuçları ve kaydedilmiş başarılı geçmiş davranışlardan içgörüler oluşturan, kendi kararlarını verebilen özerk sistemlerdir. Genellikle, programlanabilir makineler, mobil ajanlar ve robotların büyük bir kısmıyla, kendi kendini örgütlenme ve kendi kendini optimize etme yeteneğine sahiptirler (Rojko, 2017).

1.2.7. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi

Yapay zekâ, makine ve sistemlerin bilgi edinme ve uygulama ve akıllı davranma becerisidir. Bu yazılım algoritmaları, insan düşünce süreçlerini ve algılarını taklit etmek için karmaşık karar verme görevlerini otomatikleştirmektedir. Yapay zekâ monolitik bir teknoloji değildir. Yapay zekânın bir alt kümesi olan makine öğrenimi verilerle harmanlandığında öğrenmeyi, anlamayı, akıl yürütmeyi, planlamayı ve harekete geçmeyi kendilerine öğretebilen bilgisayar programlarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Makine öğrenimi, anlamlı ürün ve hizmetlerin oluşturulması için muazzam bir potansiyel taşımaktadır (Pwc, 2020). Yapay zekâ, büyük hacimlerdeki veriyi analitik olarak işleme gücü hem de müşteri ihtiyaçları ve gereksinimleri hakkında içgörü edinmek için analitikten faydalanma olanağı sağlamaktadır (IDC, 2020).

Yapay zekâyı mevcut iş akışlarına bağlamak, insanlar ve makineler arasındaki bağlamsal anlayışı geliştirecek yeni yetenekler geliştirmesine yol açar. Örneğin; Otomatik faturalama, kazanma olasılığı, anomali tespiti ve genel muhasebe önerisi dahil yapay zekâ özellikli sistemlerle şirketler kendilerini dönüştürülebilmektedir (Accenture, 2020).

Yapay zekâ (AI) projeleri genellikle sürdürülebilirlik, ölçeklenebilirlik ve yönetim sorunları nedeniyle başarısız olmaktadır ancak sağlam bir yapay zekâ mühendisliği stratejisi, yapay zekâ yatırımlarının tam değerini sunarak, yapay zekâ modellerinin performansını, ölçeklenebilirliğini, yorumlanabilirliğini ve güvenilirliğini kolaylaştırmaktadır. Yapay zekâ mühendisliği olmadan çoğu

kuruluş, yapay zekâ projelerini kavram kanıtlarının ve prototiplerin ötesine (tam ölçekli üretime) taşımada başarısız olacaktırlar. Yapay zekâ mühendisliği üç temel direğe dayanır: DataOps, ModelOps ve DevOps. Sorumlu AI, beyanlar ve ilkelerden organizasyonel ve toplumsal düzeylerde hesap verebilirliğinin operasyonel hale getirilmesine geçişi ifade eder. Bunlar arasında AI değeri, risk, güven, şeffaflık, etik, adalet, yorumlanabilirlik, hesap verebilirlik, güvenlik ve uyumluluk bulunmaktadır (Gartner, 2019).

1.2.8. Otonom/Özerk Araçlar

Otonom nesnelere, daha önce insanlar tarafından gerçekleştirilen işlevleri otomatikleştirmek için yapay zekâ kullanan fiziksel cihazlardır. Küçük insansız hava araçlarından otonom gemilere kadar büyüklük ve karmaşıklık gösterirler ve birçok farklı ortamda (yani kara, deniz ve hava) çalışmaktadırlar. Otonom nesnelere yarı otomatik cihazlardan tamamen otonom arabalara kadar bir spektrumda çalışmaktadır. Ayrıca, özerk şeylerin sayısı arttıkça, tek başına çalışan şeylerden işbirlikçi zeki şeylerin sürüsüne doğru bir kayma olacaktır. Örneğin, bir grup robot eşgüdümlü bir montaj işlemi gerçekleştirebilmektedir. Honda'nın birbirini takip eden güvenli araç konvoy sistemi, araçların yakınlardaki diğer araçlara bilgi aktarmasına izin vermek için araç-araç iletişimini kullanmaktadır. Örneğin, yoldaki bir kaza miliyle ilgili uyarılar, birkaç kilometre geriye giden araçlara iletilebilir, böylece kazaları önlemek ve trafiği azaltmak için birlikte ve akıllıca çalışabilmektedirler (Gardner, 2020).

Tedarik zincirinde ve lojistikte otonom araçlar ve dronlar gelecekte daha da yaygın olarak kullanılması beklenmektedir (Pwc, 2020). İnsansız otonom hava araçlarının tasarımlarına bağlı olarak büyük ölçüde kapasiteleri de değişmektedir. İnsansız hava araçlarından dronlar, yarı özerk (uzaktan kumanda ile) veya tamamen özerk (yerleşik bilgisayarlar aracılığıyla) çalışabilmekte ve gezinebilmektedirler. Şirketler dronları gözetleme, sinematografi, teslimat ve spor dahil olmak üzere çok çeşitli nedenlerle kullanmaktadır (Pwc, 2020).

1.2.9. Robotik ve Otomasyon

Robotlar, insan faaliyetlerini otomatikleştirmek, artırmak veya yardımcı olmak için kullanılan gelişmiş algılama, kontrol ve zekâyâ sahip makinelerdir. Üretim operasyonları korunduktan sonra, gelişmiş robotik ve otomasyon teknolojileri, daha düşük maliyetler, gelişmiş yetenekler ve endüstrinin benzersiz ihtiyaçlarına göre uyarlanmış ürünlerin bulunabilirliği sayesinde giderek daha yaygın hale gelmektedir. Makine öğrenimi ve değişen ortamlara hızla adapte olmaları ve lojistik personeliyle birlikte güvenli bir şekilde çalışmalarını sağlayan güçlü sensörler tarafından desteklenen robotların entegre

edilmesi de daha kolay hale gelmektedir (DHL, 2020).

Bir ticaret kurumu olan Uluslararası Robotik Federasyonu'na göre, dünya fabrikalarında şu anda 2,7 milyon robot bulunmaktadır. 2017 yılında, lojistik uygulamalarında yıllık robot pazarı 69.000 adet olmuştur. Bununla birlikte, robotik için en hızlı büyüme alanı geleneksel üretim rollerinin dışındadır. Önümüzdeki yıllarda yıllık birim satışların sırasıyla %40 ve %50 artması ile birlikte satılan birimler açısından çok daha küçük uygulamalar olan tıp ve tarımın da hızla genişlemesi beklenmektedir (DHL, 2020b).

1.2.10. Platform Mimarisi

Bir platform, çok çeşitli satıcıların ve müşterilerin sorunsuz bir şekilde etkileşime girmesini sağlayan bir değişim ve birlikte çalışabilirlik teknolojisidir. Müşterilere yakın olmak için her işletme bir platform yaklaşımı geliştirmelidir. Entegre çözümler veya değerli hizmetler, önemli ölçüde daha yüksek müşteri avantajlarıyla karakterize edilmekte ve mevcut ürün portföylerinde ve performans ilişkilerinde devrim meydana getirmektedir. Bunların başında platform yaklaşımı gelmektedir (Pwc, 2016). Bağlantı, neredeyse tüm cihaz kategorileri için vazgeçilmez bir özellik haline gelmiştir. Bazı şirketler donanımdan çok bir servis şirketine geçme eğilimindedir. Çünkü akıllı telefonlar ve bilgisayarlar için pazar büyük ölçüde doymuş olsa da, bağlı eğlence hizmetleri çok büyük büyüme oranları ile tüm yaş gruplarında yüksek oranda kullanılmakta ve bu da tüketici teknolojisi endüstrisine karşılık gelmektedir (Deloitte, 2019).

Accenture, (2020b) araştırmasında, tedarik zinciri ve operasyon liderleri içerisinde, dijital hizmet platformlarını devreye sokanlar, 360 derece verileri gerçek zamanlı olarak analiz ederek, dijital yatırımdan % 27'lik bir geri dönüş elde ederken; bunu yapmayanlar için % 21,8'lik bir geri dönüş elde edildiğini tespit etmiştir. Dijital platformlara sahip yöneticiler yakın gelecekte %37'lik bir getiri elde etmeyi beklerken; böyle bir platformu kullanmayan yöneticiler için bu oran % 28'dir. Böyle bir platform, pazarda etkin bir şekilde rekabet edebilmek için bir gereklilik haline gelmektedir.

1.2.11. Simülasyon ve Dijital İkizler

Dijital ikizler, ürün özelliklerini ve yaşam sürelerini daha iyi anlamak için fiziksel varlıkları simüle eden sanal modellerdir. Şirketlerin, dijital ikizler sistemi ile izlemelerine, tasarımları iyileştirmelerine, olası sorunları öğrenip düzeltmelerine ve üretim kesintilerini oluşmadan önce önlemelerine imkân tanımaktadır (Pwc, 2019a). Bu dijital dünya, yeni içgörüler ortaya çıkarılmasına ve senaryoların test edilmesine yardımcı olmak için insan müdahalesi olmadan

imkân tanımaktadır. Fiziksel bir nesnenin sanal bir kopyasını oluşturarak, anlık bir sonucu tahmin etmek veya iş kararlarını bilgilendirmek için eylemler gerçek zamanlı senaryolara göre test edilebilmektedir (Pwc, 2020).

Akıllı tedarik zincirinin önemli bir unsuru dijital ikizlerdir. Üreticiler ve varlık operatörleri perspektifinden bakıldığında, tedarik zincirindeki dijital ikizler tasarlandıkları, yapılandırıldıkları, tedarik ettikleri, inşa ettikleri, kuruldukları ve işletildikleri için ürünlere ve ekipmanlara görünürlük kazandırmaktadırlar. Böylece, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca gerçek zamanlı veriler toplanarak işlemlerden mühendisliğe geçiş hızlanmaktadır (Ambrosio, 2019).

1.2.12. Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve karma gerçeklik (MR) gibi farklı deneyimsel teknoloji türlerini kapsamaktadır. AR, fiziksel dünyayı doğru zamanda doğru yerde bulunan tamamen görsel dijital ekranlar veya kaplamalarla zenginleştirir; VR, özel kulaklıklar gerektiren tamamen sürükleyici bir dijital deneyimdir ve MR, etkileşimli sanal içeriği fiziksel dünyaya aşılıyarak her ikisinin kesişim noktasındadır. Dijital ve fiziksel dünyalar arasındaki çizgileri bulanıklaştıran artırılmış gerçeklik, lojistik planlama, süreç yürütme ve ulaştırma konularında yeni perspektifler sağlamaktadır. AR, akıllı gözlüklerle bağlamsal bilgileri kendi görüş alanlarına entegre ederek kullanıcılarının çevrelerini akıllıca anlamalarını sağlamaktadır. “Vision picking” (depo operasyonlarında akıllı gözlük kullanarak sipariş toplama), karmaşık lojistik faaliyetlerinde süreç verimliliğini ve kalitesini artırmak için cazip bir araç haline gelmektedir (DHL, 2022).

Sanal gerçeklik (VR) lojistik sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır. Üç boyutlu bir görüntünün veya ortamın bilgisayarla oluşturulmuş bir simülasyonudurlar. İzleyiciler simülasyonla gerçekçi şekillerde etkileşim kurmak için özel ekipman kullanabilmektedir. Oyun ve eğlence endüstrileri, VR için bariz kanıtlayıcı zeminlerdir. Bununla birlikte, VR, özellikle çalışanların fiziksel dünyada bu faaliyetlerle ilişkili yoğun riskler olmadan tehlikeli, zor veya maliyetli durumlarda simüle edilmiş ortamlarda deneyimsel eğitim alanında kullanılma potansiyeline sahiptirler (Pwc, 2020).

Gerçek ortamın sanal içerikle zenginleştirildiği artırılmış gerçeklik uygulamalarını kullanmak için bir akıllı telefon veya tablet yeterlidir. Hem ARKit'li Apple hem de ARCore'li Google bunun için uygun platformlar oluşturmuştur. WebAR ve WebVR, artırılmış ve sanal gerçekliği doğrudan tarayıcıdan başlatmayı mümkün kılmaktadır. Kullanıcılar artık geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler (Deloitte, 2019). Örneğin; Swatchbook'un

yakalama uygulaması ve artırılmış gerçeklik (AR), bir akıllı telefon kullanıcısının herhangi bir görüntüyü fotoğraflamasına ve bunu gerçek zamanlı olarak bir 3D nesneye uygulamasına olanak tanımaktadır. Swatchbook'un kurucusu ve CEO'su Yazan Malkosh, "Artık her marka ilhamdan AR Ürününe, 3D simülasyonuna, pazarlamaya ve üretime geçebilmektedirler. Temel oyun değiştirici budur" şeklinde açıklamaktadır (Crawford, 2019).

1.2.13. Blockchain / Blok Zincir

Blockchain, daha yalın, daha hızlı ve daha şeffaf ve güvenli tedarik zincirleri için potansiyel olarak oyunun kurallarını değiştiren faydalara sahiptir (DHL, 2020). Blockchain, bir ağdaki tüm katılımcılar tarafından paylaşılan kriptografik olarak imzalanmış, değiştirilemez, dağıtılmış bir defterdir. Bu, birbirini tanımayan iki veya daha fazla partinin merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan değer alışverişi yapmasını sağlar. Defteri, bireysel uygulamalardan ve katılımcılardan bağımsız hale getirerek ve önemli olayların yetkili bir kaydını oluşturmak için defteri dağıtılmış bir ağ üzerinden çoğaltarak kuruluşlar özel blok zincirleri oluşturur. İzin verilen ve erişime sahip herkes aynı bilgileri görebilir. Komple blok zinciri beş element içerir: Dağıtılmış veri, değişmezlik, ademi merkezilik, şifreleme ve belirleme (Gardner, 2020a).

Küresel ticaretteki uyuşmazlıkları kaldıracak şeffaf süreçler getirmeyi hedefleyen blockchain, Accenture (2019) raporu için, 13 sektörden 550 kişinin oluşturduğu küresel bir anket yapmıştır. Kamu sektörü liderleri ve özel sektör genel müdürleri ile onlarca mülakat ve 79 blok zinciri projesinin analizine dayanan ankette projeler üç ana değer etrafında birleşmiştir:

1. Verimliliği ve kaliteyi arttırmak,
2. Taraflar arasında şeffaflığın artırılması ve
3. Ürünleri ve süreçleri yeniden şekillendirmektir.

Bu ankete göre; blockchain teknolojisine yatırım yapan katılımcıların %57'si, organizasyonlarının rekabetçi kalabilmek için blockchain teknolojisini benimsemesi gerektiğini düşünmektedir.

OECD (2018) raporunda ise, blockchain'in birbiriyle ilişkili temel hedefleri şu şekilde verilmiştir:

- Merkezi otorite ihtiyacını azaltmak veya ortadan kaldırmak (örneğin; bankalar, noterler),
- Merkezi arıza noktalarını ortadan kaldırmak (bilgi değişikliği/eksikliği gibi),
- Güveni etkinleştirmektir.

1.2.14. Akıllı Mobil Cihazlar ve Giyilebilirler Teknolojiler

Akıllı telefonun yanı sıra, dijital ses asistanları kendilerini akıllı ev için kontrol merkezi olarak belirlemişlerdir. Giderek daha fazla sayıda ev aletleri ve bina teknolojisi üreticisi, ürünlerinde ses asistanlarına arayüzler entegre ettiğinden, daha önce birbirleriyle uyumlu olmayan cihazlar artık merkezi bir cihaz olan ses asistanları tarafından çalıştırılabilmektedir. Giyilebilirler cihazlar hafif, bağlı ve teknoloji dolu saatler, bilezikler, kulaklıklar, aksesuarlar veya doğrudan kıyafetlerde vücutta giyilen mini bilgisayarlardır (Deloitte, 2019).

1.2.15. Eklemeli Üretim (3D)

Üretim esnekliğini artırmak, daha kısa teslim süreleri elde etmek, kişiselleştirilmiş ürünleri artırmak ve envanteri azaltmak için tedarik zincirinin farklı aşamalarda 3D yazıcılar kullanılmaktadır (Ivanov ve diğ., 2019). 3D baskı, ardışık malzeme katmanlarını katmanlayarak veya "yazdırarak" dijital modellere dayalı üç boyutlu nesnelere oluşturmaktadırlar. 3D baskı, plastik, metal ve son zamanlarda cam ve ahşap dahil olmak üzere yenilikçi "mürekkeplere" dayanmaktadır. 3D baskı, her büyük işletmeyi, küçük işletmeyi ve oturma odasını bir fabrikaya dönüştürme potansiyeline sahiptirler (Pwc, 2020).

3D baskı endüstri 4.0 üretim teknolojileri arasında kilit teknolojilerden biri olarak belirtilmektedir. 3D modelleme de dâhil olmak üzere hızlı prototipleme yöntemleriyle birlikte, tasarımdan üretime doğrudan dijital bir bağ kurulabilir ve fikirden ürüne daha kısa bir sürede dönüşüm sağlamaktadır (Rojko, 2017). Dünya, kişisel koruyucu ekipman ve kritik tıbbi cihazların kıtlığı ile karşı karşıya kalırken, 3D baskı teknolojileri önemli bir ek tedarik kaynağı sağlamıştır. Birden fazla sektörden şirketler, yüz siperliklerinden ventilatör valflerine kadar çaresizce ihtiyaç duyulan bir dizi öğeyi yapmak için 3D yazıcılarını ve katmanlı üretim makinelerini kullanmışlardır (DHL, 2020).

1.2.16. Yeni Nesil Wifi

Yeni nesil wifi son kullanıcılar, işletmeler ve telekomünikasyon sistemi operatörleri için daha yüksek hızlar, daha yüksek kapasite ve yeni nesil akıllı bağlantılı cihazlar için özel hizmetler dâhil olmak üzere bir dizi avantaj vaat etmektedir (DHL, 2020a). 5G, uç cihazları birbiriyle ve arka uç hizmetleriyle bağlamaktadır ve IoT'nin temel bir yönü ve akıllı alanların bir sağlayıcısıdır. 5G standardının birbirini takip eden yinelemeleri, düşük güç ve düşük verim gereksinimleri olan cihazlara yönelik NarrowBand Nesnelere İnterneti (NB-IoT) desteğini de içermektedir. 5G, her biri farklı yeni hizmetleri ve

muhtemelen yeni iş modellerini destekleyen üç temel teknoloji iletişim yönünü ele almaktadır:

- Çoğu sağlayıcının önce uygulayacağı gelişmiş mobil geniş bant,
- Güvenilirlik ve gecikme gereksinimlerinin bant genişliği gereksinimlerini aştığı dron ve nakliye gereksinimlerini karşılayan ultra güvenilir ve düşük gecikmeli iletişim,
- IoT edge computing'in ölçek gereksinimlerini karşılayan devasa makine tipi iletişim.

Bu, işletmelerin kamu ağlarının kapsama alanı oluşturmasını beklemeden 5G teknolojisinin avantajlarından faydalanmasını sağlayacaktır. Edge computing ihtiyaçları için kesinlikle üst düzey performans, düşük gecikme süresi veya daha yüksek 5G yoğunluğu gerektiren kullanım durumlarını tanımlanmalıdır (Weissberger, 2019).

1.3. Endüstri 4.0 İçin Hedef ve Beklentiler

Dijitalleştirilmiş üretim, üretim süreçlerinde ve iş modellerinde çok çeşitli değişikliklerle sonuçlanmaktadır. Akıllı fabrikalar, üretimde daha fazla esneklik sağlamaktadır. Üretim sürecinin otomasyonu, bir ürünle ilgili verilerin üretim zincirinden geçerken iletilmesi ve yapılandırılabilir robotların kullanılması, aynı üretim tesisinde çeşitli farklı ürünlerin üretilebileceği anlamına gelmektedir. Bu kitlesel özelleştirme, makinelerin müşteri tarafından sağlanan şartnamelere ve katkı maddeli üretime (3D) uyum sağlamak için hızlı bir şekilde yapılandırılabilmesi nedeniyle küçük partilerin üretilmesine izin vermektedir. Prototipler veya yeni ürünler, karmaşık yeniden işleme veya yeni üretim hatlarının kurulumu olmadan hızlı bir şekilde üretilbildiğinden, bu esneklik aynı zamanda yeniliği de teşvik etmektedir (EPRS, 2015).

Geleneksel ürünlerde, değişkenlik maliyetlidir çünkü fiziksel parçalarda değişiklik gerektirmektedir. Ancak akıllı, bağlı ürünlerdeki yazılım değişkenliği çok daha ucuz hale getirebilir. Örneğin, John Deere, her biri farklı bir beygir gücü seviyesi sağlayan motorların birden fazla versiyonunu üretirken artık sadece yazılım kullanarak standart bir fiziksel motorun beygir gücünü değiştirmektedir. Akıllı, bağlı bir ürünün dijital kullanıcı arayüzü, bir tablet veya akıllı telefon uygulamasına yerleştirilir, böylece uzaktan çalışma sağlanır ve hatta ürünün kendisinde kontrol ihtiyacını ortadan kaldırır. Belirtildiği gibi, bu arayüzlerin uygulanması daha düşük maliyetlidir ve fiziksel kontrollerden daha kolay değiştirilebilir ve daha fazla operatör hareketliliği sağlar. Üretim, fiziksel nesnenin üretimini ötesine geçmektedir. Müşterinin donanım ihtiyacını değil, yazılım aracılığıyla değişkenlik ihtiyaçlarını karşılamak yeni ve kritik bir

tasarım disiplini (Porter ve Heppelmann, 2015).

Dijital tasarımlar ve üretim sürecinin sanal modellemesi, bir ürünün tasarımı ile teslimatı arasındaki süreyi azaltabilmektedir. Dolayısı ile ürünün üretilebileceği hız da artacaktır. Veriye dayalı tedarik zincirleri, üretim sürecini siparişleri teslim etmek için gereken süre açısından tahmini %120 ve ürünleri pazara sürmek için %70 oranında hızlandırabilirler (EPRS, 2015). Endüstri 4.0 etkileriyle üretkenlik de artabilmektedir. Gelişmiş analitik öngörücü bakım programlarını kullanarak, imalat şirketleri fabrika katında makine arızalarını önleyebilir ve arıza sürelerini tahmini %50 azaltabilir ve üretimi %20 artırabilirler. Örneğin, bir üretim makinesi potansiyel olarak tehlikeli bir arızayı tespit ederek, zarar görebilecek diğer ekipmanları kapatabilmekte ve bakım personelinin soruna yönlendirebilmektedir (Porter ve Heppelmann, 2015; EPRS, 2015).

Ürün geliştirmeyi dijital ve fiziksel üretim ile entegre etmek, ürün kalitesinde büyük gelişmeler ve önemli ölçüde azaltılmış hata oranları ile ilişkilendirilmiştir. Sensörlerden gelen veriler, hataları tespit etmek için örnekleme kullanmak yerine üretilen her parçayı izlemek için kullanılabilir ve hata düzeltme makineleri, üretim süreçlerini gerçek zamanlı olarak ayarlayabilmektedir. Bu veriler, küçük ama devam eden sorunları belirlemek ve çözmek için 'büyük veri' teknikleri kullanılarak da toplanabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Kalitedeki artış, maliyetleri düşürmede ve dolayısıyla rekabet gücünü artırmada önemli bir rol oynamaktadır (EPRS, 2015). Yeni teknolojiler, tedarik zincirindeki karmaşıklığı daha iyi yönetmek için kullanılmalarına olanak sağlayan ve aynı zamanda üretkenliği artıran ve maliyetleri azaltan bir olgunluk seviyesine ulaşmıştır (DHL, 2018).

Endüstri 4.0 konseptinin önemli unsurlarından biri de birlikte çalışabilirlik ve bağlanabilirliktir. Cihazlar ve bileşenler, Makine-Makine etkileşimi (M2M), üretim sistemleri ve aktörler arasında sürekli bir bilgi akışı oluşturulmalıdır. Bu vesile ile makineler, ürünler ve fabrikalar Endüstriyel IoT (çoğunlukla kablosuz ağa dayalı) üzerinden bağlanabilmekte ve iletişim kurabilmektedir. Bir diğer önemli konu, İnsandan Makineye (H2M) iş birliğidir. Şu anda çok sayıda araştırma çabası da işbirlikçi robot teknolojisine yatırım yapmaktadır. Burada insan işçiler ve özellikle tasarlanmış uyumlu robotlar, üretim hattında karmaşık ve yapılandırılmamış iş görevlerinin yürütülmesinde insanla birlikte çalışır. H2M iletişiminin yeni formları için gelişmiş kullanıcı arayüzleri geliştirilmiştir. Genellikle teleoperasyon içerirler ve artırılmış gerçeklik ortamlarına dayanmaktadır (Rojko, 2017).

Endüstri 4.0, iş modellerinde de değişikliklere neden olmuştur. Avrupalı şirketler, yalnızca maliyet konusunda rekabet etmek yerine, yenilik (yeni bir

ürünü hızlı bir şekilde teslim etme), müşteri tarafından özel olarak tasarlanmış tasarımlar üretme (yapılandırılabilir fabrikalar aracılığıyla) veya kalite temelinde rekabet etme eğilimindedirler (EPRS, 2015). Ayrıca müşterilerin, tasarım sürecine daha fazla dahil olabildiği (Merch by Amazon gibi) sistemler kurulmakta ve tasarımdan üretime hızlı geçişi sağlayan 3D imkânı ile yeni iş modelleri oluşmaktadır. Tablo 1.2’de işletmelerin Endüstri 4.0’dan beklentilerin ve hedeflerin neler olduğuna dair ayrıntılı bilgi verilmiştir. Tabloda hedefler üç grupta ele alınmış olup, süreç yönetimi ve elde edilmesi umulan kazanımlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1.2. Endüstri 4.0 için hedef ve beklentiler

Hedef	Süreç Yönetimi	Kazanım	Kaynaklar
1) Değer zincirlerini dijitalleştirilmesi ve yatay-dikey entegrasyonu	Endüstri 4.0, ürün geliştirme ve satın alma, üretim, lojistik ve servis gibi süreçleri kuruluşun tamamında dikey hale getirir ve bütünleştirir.	Şeffaf ve güvenli bilgi paylaşımı,	DHL, 2020a; Pwc, 2016; EPRS, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; URL: DHL, scm-top-trends-2019; Hoppel ve Kerner, 2015; Schmidtke ve diğ., 2019; Deloitte, 2014; Nagy ve diğ., 2018.
	Operasyon süreçleri, süreç verimliliği ve kalite yönetimi ile operasyon planlaması hakkındaki tüm veriler gerçek zamanlı olarak mevcuttur, yapay zekâ ve artırılmış gerçeklik ile desteklenir ve entegre bir ağda optimize edilir.	Görünür ve izlenebilir süreç yönetimi,	
	Yatay entegrasyon, tedarikçilerden müşterilere ve tüm önemli değer zinciri ortaklarına kadar platformlar aracılığı ile dahili operasyonların ötesine uzanır.	İş süreçlerinde artırılmış esneklik ve çeviklik,	
	Takip cihazlarından, gerçek zamanlı entegre planlamaya ve yürütme teknolojilerine kadar İzleme ve takip teknolojileri ile tam görünür süreç ile şeffaf ve güvenli bilgi paylaşımını içerir.	İyileştirilmiş talep tahmini ve üretkenlik,	
		Artırılmış verimlilik ve maliyetlerde düşüş,	
		Global bağlantı ile küresel değer zinciri boyunca veri akışlarının entegrasyonu,	
		Vaatlere uyma ve tedarik zinciri boyunca artan karmaşıklık yönetme kolaylığı.	

Tablo 1.2.'in devamı

<p>2) Ürün ve hizmetlerin dijitalleştirilmesi</p>	<p>Veri analiz araçlarıyla kullanılacak akıllı sensörler veya iletişim cihazları ve ayrıca tamamen entegre çözümlere odaklanan yeni dijital ürünlerle ürünlerin dijitalleştirilmesi ve mevcut ürünlerin kapasitelerinin genişletilmesidir.</p> <p>Şirketler, mobil cihaz ve cep telefonları gibi yeni veri toplama cihazlarını analiz yöntemlerine entegre ederek, son müşterilerin artan ihtiyaçlarını karşılamak ve ürünleri kişiselleştirmek için ürün kullanımı ve müşteri tercihleri hakkında veri üretebilir ve mal ve hizmetleri hassaslaştırabilir.</p>	<p>Akıllı ürün ve hizmetler,</p> <p>Kitlesele özelleştirme,</p> <p>Artan hız ve çeviklik,</p> <p>Artan verimlilik,</p> <p>Azalan arıza süresi,</p> <p>Azalan fiziksel karmaşıklık,</p> <p>Önleyici hizmet,</p> <p>Uzaktan bağlantılı servis ve dijital hizmete geçiş,</p> <p>Daha iyi hizmet ve ürün kalitesi.</p>	<p>Pwc, 2016; EPRS, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; DHL, 2018; DHL, 2020a; Hompel ve Kerner, 2015; Schmidtke ve diğ., 2019; Deloitte, 2014; Nagy ve diğ., 2018.</p>
<p>3) Dijital iş modelleri ve müşteri erişimi</p>	<p>Önde gelen sanayi şirketleri, eksiksiz, veri odaklı hizmetler ve entegre platform çözümleri gibi yıkıcı dijital çözümler sunarak iş modellerini genişletebilir.</p> <p>Dijital iş modelleri ve platformlar genellikle ek dijital gelirler üretmeye ve müşteri etkileşimini ve erişimini optimize etmeye odaklanılır.</p> <p>Davranışsal olarak çözümlenen müşterilere mobilize edilmiş dijital ekosistemlerle eksiksiz çözümler sunmaya çalışır.</p>	<p>Mobil platformlar ve müşteri arayüzleri geliştirerek hizmet sunum kolaylığı,</p> <p>Veri madenciliği ve analizi ile anlık bilgi paylaşımı ve optimize edilmiş iş çözümleri,</p> <p>Ürünleri karşılaştırma ve kıyaslama olanakları,</p> <p>Ömür boyu yazılım ve bakım desteği,</p> <p>Reaktif hizmetten proaktif ve uzaktan kesintisiz hizmete geçiş.</p>	<p>Horenberg, 2017; Pwc, 2016; EPRS, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; Nagy ve diğ., 2018; Hompel ve Kerner, 2015.</p>

1.4. Endüstri 4.0 Tasarım İlkeleri: Yetenek 4.0

Yeni nesil kablosuz teknolojiler, tedarik zincirleri için tam görünürlük, büyük ölçekli özerklik ve öngörülebilirlik sağlayacaktır. Bununla birlikte, çok çeşitli kablosuz iletişim teknolojilerindeki ilerlemenin artık endüstri için görünürlüğü iyileştirmesi, operasyonel verimliliği artırması ve otomasyonu hızlandırması için yeni fırsatlar vermektedir. Bu yeni nesil kablosuz teknolojiler, bugünün herkesi, her şeyin, her yerde bağlanabileceği yeni bir dünyaya bağlama hedefinin ötesine geçerek iletişim devriminde bir sonraki adımı mümkün kılacaktır (DHL, 2020a). Bu “teknoloji yığını”, yeni ürün donanımı, gömülü yazılım, bağlantı, uzak sunucularda çalışan yazılımlardan oluşan bir ürün bulutu, bir dizi güvenlik aracı, harici bilgi kaynakları için bir ağ geçidi ve kuruluşla entegrasyon gibi birden fazla katmandan oluşan iş sistemleridir. Bu altyapı, olağanüstü yeni ürün yetenekleri sağlar. Porter ve Heppelmann (2015)’deki çalışmalarında Endüstri 4.0 teknolojilerinin faydasal temel özelliklerini dört temel gruba ayırmışlardır: İzleme, Bağlantı Kurma, Optimize Etme, Özerklikle öğrenebilmedir. Bunlar kısaca;

- İlk olarak, ürünler kendi durum ve ortamlarını izleyebilir ve raporlayabilir, performansları ve kullanımları hakkında önceden mevcut olmayan bilgiler elde etmeye yardımcı olur.
- İkincisi, karmaşık ürün işlemleri çok sayıda uzaktan erişim seçeneği ile kullanıcılar tarafından kontrol edilebilir. Bu, kullanıcılara ürünlerin işlevini, performansını ve arabirimini özelleştirme ve onları tehlikeli veya ulaşılmaması zor ortamlarda çalıştırma konusunda benzeri görülmemiş bir yetenek verir.
- Üçüncüsü, izleme verisi ve uzaktan kontrol kabiliyetinin kombinasyonu optimizasyon için yeni fırsatlar oluşturur. Algoritmalar, ürün performansını, kullanımını ve çalışma süresini ve ürünlerin akıllı binalar ve akıllı çiftlikler gibi daha geniş sistemlerde ilgili ürünlerle nasıl çalıştığını önemli ölçüde artırabilir.
- Dördüncüsü, izleme verileri, uzaktan kumanda ve optimizasyon algoritmalarının kombinasyonu özerkliğe izin verir. Ürünler öğrenebilir, çevreye ve kullanıcı tercihlerine uyum sağlayabilir, hizmet verebilir ve kendi başlarına çalışabilirler (Porter ve Heppelmann, 2015).

Endüstri 4.0 konseptinin önemli unsurları da birlikte çalışabilirlik ve bağlanabilirliktir. Cihazlar ve bileşenler, Makine-Makine etkileşimi (M2M) ve İnsan-Makine etkileşimi, üretim sistemleri ve aktörler arasında sürekli bir bilgi akışı oluşturulmalıdır. Burada insan işçiler ve özellikle tasarlanmış uyumlu robotlar, üretim hattında karmaşık ve yapılandırılmamış iş görevlerinin yürütülmesinde birlikte çalışabilmektedirler. Böyle bir fabrikadaki ürünler de 'akıllı', yerel ağ için kablosuz ağ üzerinden kullanılan gömülü sensörler ile ürün durumunu ve çevre

koşullarını ölçmek için gerçek zamanlı veri toplamaktadırlar. Akıllı ürünler ayrıca kontrol ve işleme yeteneklerine sahiptirler. Böylece lojistik yollarını üretim yoluyla kontrol edebilir ve hatta onları ilgilendiren üretim iş akışını kontrol edebilir / optimize edebilirler. Ayrıca akıllı ürünler, kullanım ömürleri / uygulamaları da dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca kendi durumlarını izleyebilirler. Bu, daha büyük sistemlere (örneğin elektrik şebekelerindeki güç dönüştürücüler gibi) gömülü ürünler için özellikle değerli olan proaktif, koşul temelli bakımı mümkün kılmaktadır (Rojko, 2017).

Araştırmada Endüstri 4.0'ın sunduğu yetenek ve faydalar ile bunları etkinleştirici teknolojileri beraber incelenmiştir. Yetenek 4.0 adı altında sekiz temel yetenek toplanmıştır. Bu yeteneklerin tedarik zinciri iş süreçlerini nasıl değiştirebileceği hakkındaki bulgular Tablo 1.3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 1.3. Endüstri 4.0'ın sunduğu yetenek ve fayda

Yetenek 4.0	İş süreci/Fayda	Teknoloji Etkinleştiricileri	Kaynaklar
İzleme ve Takip /Görünürlük	<p>Ürünler kendi durum ve ortamlarını izleyebilir ve raporlayabilir, performansları ve kullanımları hakkında önceden mevcut olmayan bilgiler elde etmeye yardımcı olur. Böylelikle gecikmeler, hatalar, zayıflar ve arızalar öngörülebilir ve önenebilir. Bu da maliyetler ciddi ölçüde azaltabilir.</p>	<p>Nesnelerin interneti, Akıllı sensörler, Araç takip sistemleri ve Blockchain</p>	<p>Gartner, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; DHL, 2020a; Dikhanbayeva ve diğ., (2020)</p>
Entegrasyon/ Birlikte Çalışabilirlik	<p>Verilerin sistemin tamamında görünür hale gelmesi ve otomasyona entegre çalışması, süreçleri daha modüler ve ulaşılabilir kılar.</p> <p>Kolaylaşan güvenilir ve şeffaf bilgi paylaşımı oluşabilecek riskleri daha iyi yönetmeye ve tedarikçi-üretici ve müşteri arasında güçlü organik bir bağ oluşturur.</p> <p>Ayrıca ürünlerin işlevini, performansını ve arabirimini özelleştirme ve onları tehlikeli veya ulaşılması zor ortamlarda çalıştırma konusunda benzeri görülmemiş bir yetenek verir.</p>	<p>5G, Akıllı sensörler, Makine öğrenimi, Yapay ve sanal gerçeklik, Otonom araçlar, Yapay zekâ, mobil cihazlar ve platformlar</p>	<p>Gartner, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; DHL, 2020a; Dikhanbayeva ve diğ., (2020)</p>
Uzaktan bağlanabilirlik ve Kontrol	<p>Karmaşık ürün işlemleri çok sayıda uzaktan erişim seçeneği ile kullanıcılar tarafından kontrol edilebilir. Bu, kullanıcılara ürünlerin işlevini, performansını ve arabirimini özelleştirme ve onları tehlikeli veya ulaşılması zor ortamlarda çalıştırma konusunda benzeri görülmemiş bir yetenek verir.</p>	<p>5G, Akıllı sensörler, Bulut bilişim, Makine öğrenimi, Otonom araçlar, Yapay zekâ, Robotik süreç otomasyonu (RPA) ve Hiper akıllı otomasyonlar</p>	<p>Gartner, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; DHL, 2020a</p>

Tablo 1.3'ün devamı

<p>Gerçek zamanlı ve güvenli veri paylaşımı</p>	<p>Dağıtılmış bulut kullanıcılarına şeffaflık ve izlemeyle birlikte verileri güvenli bir biçimde aktarma kesintilerden kurtarma ve her yerden ulaşma hizmetlerini sağlar.</p> <p>Blokchain tabanlı sistemler de şeffaf, görünür sistemleri destekler ve değiştirilemez veriler sayesinde kolayca çözüme ulaştırılacak uzlaşmacı yargısal süreçler sunabilir.</p>	<p>Akıllı sensörler, Bulut Bilişim ve Dağıtılmış Bulut, Blokchain ve Hiper akıllı otomasyonlar</p>	<p>Schröder ve diğ., 2014; Fourtané, 2019; Gartner, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; DHL, 2020a; IDC, 2020;</p>
<p>Büyük veri ile İleri analitik ve Optimizasyon</p>	<p>İzleme verisi ve uzaktan kontrol kabiliyetinin kombinasyonu optimizasyon için yeni fırsatlar verir.</p> <p>Algoritmalar, ürün performansını, kullanımını ve çalışma süresini artırabilir.</p> <p>Pazar-talep simülasyonları ve platformlardan akan müşteri davranış ve verilerinin anlamlandırılması ile yöneticilere karar destek ve öngörü sunabilir.</p>	<p>Bulut Bilişim ve Dağıtılmış Bulut, İleri analitik, Optimizasyon yazılım ve bilişim, Sanal ve artırılmış gerçeklik</p>	<p>Horenberg, 2017; Gartner, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; DHL, 2020a</p>
<p>Öğrenebilme ve Özerklik</p>	<p>İzleme verileri, uzaktan bağlantı ve optimizasyon algoritmalarının kombinasyonu özerkliğe izin verir. Ürünler öğrenebilir, çevreye ve kullanıcı tercihlerine uyum sağlayabilir, hizmet verebilir ve kendi başlarına çalışabilir ve arıza durumunda cihazları kapatarak felaketleri önleyebilir.</p>	<p>Yapay zekâ, İleri veri analitiği, Makine öğrenimi, Robotik süreç otomasyonu (RPA) ve 5G</p>	<p>Hompel ve Kerner, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; DHL, 2020a; Rojko, 2017; Dikhanbayeva ve diğ., 2020</p>

Tablo 1.3'ün devamı

Ademi merkezîyetçilik	Blockchain, birbirini tanımayan iki (veya daha fazla) partinin merkezi bir otoriteye ihtiyaç duymadan değer alışverişi yapmasını sağlar. Akıllı sözleşmeler, noterlere ihtiyaç bırakmayan değiştirilemez veriler üretebilir.	Blok zinciri, Dağıtılmış Bulut	Dikhanbayeva ve diğ., 2020; Rojko, 2017; Hompel ve Kerner, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; DHL, 2020a; Gartner, 2019; Schmidtke ve diğ., 2019
Şeffaflık ve güvenilirlik	Şeffaf ve görünür iş süreçleri güveni tesis eder. Blok zinciri; dağıtılmış veri, değişmezlik, ademi merkezîyetçilik, şifreleme ve belirteçleme gibi beş temel içerik ile şeffaflığı artırır ve güveni sağlamaya yardımcı olur. Uluslararası ticari anlaşmazlıkların çözümünü kolaylaştırabilir.	Blok zinciri, IoT, Dağıtılmış Bulut, Yapay zekâ	DHL, 2018; Gartner, 2019; Hompel ve Kerner, 2015

Dikhanbayeva ve diğ., (2020)'deki çalışmalarında yapılan literatür taraması sonucu Endüstri 4.0 Tasarım İlkelerini sekiz boyutta toplamışlardır. Bu tasarım ilkeleri:

- İlk tasarım ilkesi; cihazların, ekipmanların, insanların ve diğer nesnelerin iletişim kurma ve veri paylaşma yeteneğiyle ilgili olan birlikte çalışabilirliktir.
- Sanallaştırma; sistemin fiziksel dünya verilerini sanal hale getirme yetenekleridir.
- Ademi merkezîyetçilik; siber-fiziksel sistemlerin eylemleri gerçekleştirme ve özerk olarak kararlar alma yeteneğidir.
- Gerçek zamanlı yetenek; verileri gerçek zamanlı olarak toplayabilen, aktarabilen, analiz edebilen, izleyebilen ve paylaşabilen bir yetenek anlamına gelir.
- Hizmet odaklı iş süreci; günümüzde yeni iş stratejisi, müşterilere sadece ürün sunmak yerine yeni komple çözümler üretmeyi varsaymaktadır.
- Modülerlik; işletmelerin ister harici ister dahili ihtiyaçlara yol açsın, farklı durumlara uyum sağlama veya değiştirme yeteneğidir.
- Akıllı ürün; veri toplayabilen, depolayabilen ve aktarabilen gömülü cihazlara sahip modern bir üründür.
- Kurumsal Sosyal Sorumluluk, iş modeline entegre edilen ve iş faaliyetlerinin topluma zarar vermediğini varsayan kendi kendini düzenlemedir.

2. DİJİTALLEŞME VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Teknoloji ve Dijital Dönüşüm arasındaki bağlantı kuşkusuz güçlüdür, ancak teknolojiye yatırım yapmak dijital dönüşümle aynı şey değildir. Dijital dönüşümdeki “dijital” teknoloji merkezli başkalaşım anlamına gelmektedir. Dijitalleşme, ürünlerimizi, süreçlerimizi ve hizmetlerimizi çevrimiçi ortama taşıma sürecidir. Dijital Dönüşüm (DD), sürekli değişen dijital ekonomide daha etkin bir şekilde rekabet edebilmek için teknoloji, iş modelleri ve süreçlerin yeniden düzenlenmesi veya yeni yatırım yapılmasıdır. Birçok şirket yeni araçlara, uygulamalara, platformlara ve hizmetlere yatırım yapıyor ve teknoloji destekli hale getiriyor. Böylelikle belgeleri daha hızlı ve daha erişilebilir, hizmetleri ise mükemmelleştirmeye çalışıyor. Ancak, tüm bunlar şirketlerin dijital ekonomide rekabet etmek için gerçekten değiştiği anlamına gelmez (Solis, 2017). Teknoloji Dijital Dönüşümü sağlayan makinedeki çarklardan sadece biridir. Bu tek başına yeterli değildir (URL: Scott, 2017).

Dijitalleşme, verilerin, bilgi teknolojisinin ve otomasyonun daha akıllı kullanımı yoluyla geniş bir teknoloji ve uygulama dizisinin benimsenmesidir. Kuruluşlar, dijitalleşme ile sadece operasyonel verimliliği, iş süreçlerinin hızını ve kalitesini iyileştirmesini değil, aynı zamanda tamamen yeni iş aktivitelerine olanak sağlaması beklenmektedir (Hallikas ve diğ., 2021).

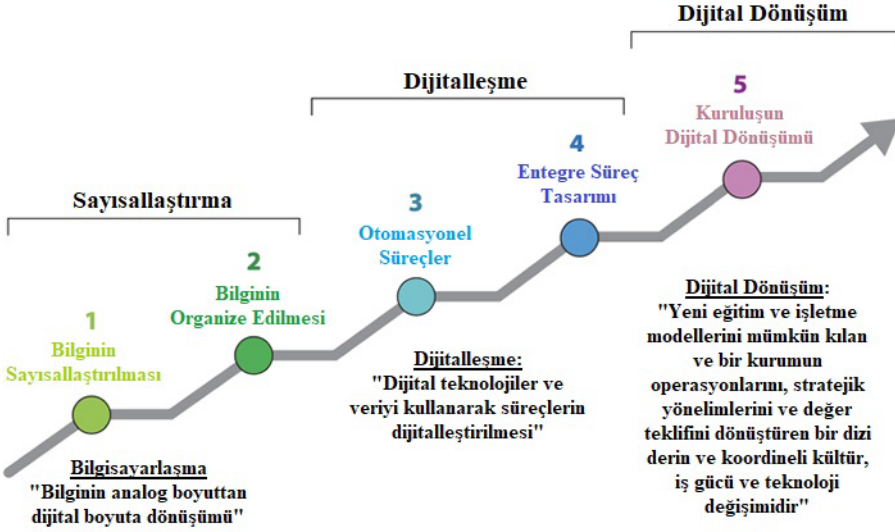
Başka bir açıdan, dijitalleşme, bilgi ve iletişim teknolojilerinin, özellikle de akıllı cihazların ve sensörlerin geniş çaplı sunumunun ve büyük veri toplama ve analizinin yapay zekâyla bütünleşmiş yenilikçi kullanımınıdır. Beraberinde getirdiği inovatif çözümler, yeni iş modelleri, akıllı ürünler ve hizmetlerle tüm insanlığa baş döndürücü fırsatlar sunmaktadır. Dijital dönüşüm, Endüstri 4.0 imalat değer zincirinin dijitalleşerek, bütünleşik ve yarı otonom hale gelmesidir:

- Dijitalleşme, değer zinciri üzerindeki katma değerli tüm aşamalardan veri alınması,
- Bütünleşme, bu aşamaların ERP üzerinden başka bir deyişle tek elden yönetilebilir olması,
- Yarı otonomlaşıma, ise tüm bu işlerin, insana en az ihtiyaç duyacak şekilde fakat insanı tamamen dışlamadan çalışmasıdır (Çopur, 2020)

Dijital dönüşüm sürecini Reinitz (2020) çalışmasında, sayısallaşma ve dijitalleşmeden ayırmıştır. Şekil 2.2’de bu süreç görsel olarak verilmiştir.

- **Sayısallaşma:** Bilgilerin dijitalleştirilmesidir. Analogdan dijital forma geçiştir. Örneğin, arşivleme ve alma için kâğıt halindeki kayıtların dijital hale getirilmesidir. Yani standardizasyonların sağlanarak daha önce çevrimiçi olmayan bilgilerin çevrimiçi hale getirilmesidir.

- **Dijitalleşme:** Süreçlerin dijitalleştirilmesidir. Bireysel kurumsal işlemleri (bordro, satın alma, araştırma yönetimi ve eğitim gibi) dönüştürmek için dijital teknolojilerin ve bilgilerin kullanılmasıdır. Veri toplama ve toplanan verilerden yararlanmadır. Dijitalleşmede eksik olan, onu dijital dönüşümden alkoyan şey, kurumsal dönüşüme yönelik koordineli bir çabanın eksikliğidir.
- **Dijital Dönüşüm:** Kurumsal dönüşümdür. Dijital dönüşüm, kültür, iş gücü ve teknolojide derin ve koordineli değişimleri içerir. Dijital dönüşüm çabalarının başarılı olabilmesi için kurumların önemli ölçüde sayısallaşma ve dijitalleşme çalışmalarından geçmiş olması gerekmektedir.



Şekil 2.1. Sayısallaşma, dijitalleşme ve dijital dönüşüm

Dijital dönüşüm her ölçekteki işletmenin iş stratejilerinin merkezinde yer almaktadır. Dijital dönüşüm yolculuğu, tanımlanmış ortak bir misyon ve stratejik önceliklerin belirlenmesi ile başlar; böylelikle bireysel projeler ve kullanım senaryoları, işletmenin genel amaç ve hedeflerini destekler nitelikte olur. Dönüşüm, genelde işletmeleri teknolojilerini ve süreçlerini ve hatta iş modellerini değiştirmeye zorlar. Ancak işletmelerin çoğu zaman, çalışma kültürlerini ve son müşteriye yaklaşımlarını da değiştirmeleri gerekir (IDC, 2020). Ayrıca teknoloji, insanlar ve süreçlerin birbirine uyum sağlaması ve özellikle tedarik zincirinde, bu çok sayıda iş fonksiyonu ve organizasyonunda koordineli değişiklikler gerektirebilir. Ayrıca risk almaya cesaret eden liderlerin

yeni teknolojilerin uygulanmasına, yeni çalışma yollarına ve yeni iş birliği türlerine öncülük etmesini gerektirmektedir (DHL, 2020b).

Bugünün rekabetçi ülkeleri için en önemli kaldıraç, dijital dönüşümdür. Dijitalleşen dünyada geleneksel iş kolları tarihin derinliklerinde kaybolurken; hayal gücünün, bilgi ve teknolojiyle harmanlandığı yeni iş kolları, farklı yatırım alanları, inovasyon ve yenilikçilik odaklı yeni meslekler ortaya çıkacaktır. Ülkemizin kalkınma odaklı bir ekonomik modele geçmesi, yüksek katma değerli üretim ve ihracat gücünün artması için yüksek teknoloji kullanımını artırması gerekmektedir. Bugün, şirketler ve ilgili sektörlerdeki, teknoloji kullanımına bakıldığında sadece binde 3'ünün yüksek teknoloji üretim ürettiği görülmektedir (Dijital Anadolu 2, 2018).

Accenture 2020, Technology Vision raporuna göre; Tüketicilerin %52'si teknolojinin hayatlarında önemli bir rol oynadığını veya günlük yaşamlarının neredeyse tüm yönlerine yerleştiğini söylemektedir. Ayrıca %19'u ise teknolojinin günlük yaşamlarının tüm yönleriyle o kadar iç içe olduğunu ve bunu kendilerinin bir uzantısı olarak gördüklerini belirtmektedirler. Teknoloji, insan deneyiminin ayrılmaz bir parçası haline geldiğinden, bugün dijitalleşme bir zorunluluk olmaktadır. Çünkü dünya nüfusunun yarısından fazlası (4.5 milyar insan) internet erişimine sahip ve bir tür cihaza bağlı durumda ve küresel olarak günde ortalama 6.4 saat çevrimiçidir. Teknoloji sadece insanların yaşamlarının simbiyotik bir parçası olmakla kalmamakta, aynı zamanda toplumun yapı taşlarına da yerleştirilmektedir (Accenture, 2020).

IFS (2017) "Digital Change Survey", araştırmasına göre; şirketlerin yarısı, kritik iş sistemleri veya verilerine uzaktan erişim isteyen müşteri sayısında artış olduğunu bildirmektedir. Bu, tüketici düzeyinde dijital işletme ile artan konforu ve dijital hizmet sağlayıcılarının popülerlik kazanma kolaylığını yansıtmaktadır. Firmaların hedef ölçek veya maliyet yerine farklılaştırılmış bir hizmet sunması gerekmektedir. Bunun anahtarı ise "Dijital Dönüşüm" dür.

Dijital dönüşümle birlikte verimlilik, hız, kalite ve esneklik artışı sağlamak, iş yapış modellerinde yeniliğe giderek hizmetlerini farklılaştırıp maliyetleri düşürürken müşteri memnuniyetini artırmaya çalışmak, müşteri deneyimlerini geliştirmek ve hizmetlerini kişiye özgü kılarak rekabet avantajı elde etme çabası içindeki gelişmiş birçok ülke dijital dönüşüm ile ilgili politika ve stratejiler geliştirerek dijital yol haritalarını hazırlamıştır (Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018).

Modern teknolojik gelişmeler, yaşadığımız dünyayı şüphesiz değiştirmekte ve şekillendirmektedir. Ancak, değişimin itici gücünün teknolojinin sadece kendisinin olduğu düşüncesi hatadır. Teknoloji, işlerin daha kolay bir şekilde yerine getirilmesini sağlayan, bize yeni yetenekler sunan bir araçtır. Teknoloji,

işleri her zamankinden daha hızlı, daha etkili, daha rahat, genellikle daha uygun fiyatla ve daha yüksek doğrulukla yapılmasına izin vermektedir. Başarılı bir dijital dönüşüm, problemlere güzel bir çözüm tasarlamaktan ve değer katmaktan ibarettir. Teknoloji tek başına çığır açamaz. “Neden?” diye sormak, başarılı teknoloji uygulamalarının kritik öncüsüdür. Başarılı bir dijital dönüşüm için bir dizi soru sorulması gerekir. Bunlar; Neden ihtiyaç duyulmaktadır? Hangi soruna çözüm üretilmektedir? Hangi görevi yerine getirmeye yardımcı olabilir? İnsanlar bu çözümü arıyor mu? Benimseyecekler mi? Herkes bunun için para ödemek ister mi? (Scott, 2017). Bu gibi soruları sorarak amaca yönelik dijitalleşme ve yatırım yapılması yerinde olacaktır.

2.1. Dijital Dönüşüm Amaç Faktörleri

Dijital ekonomide rekabet avantajı elde etmek için teknoloji, işi yeniden şekillendirme amacıyla yönlendirilmelidir (Solis, 2017). Ülke genelinde, eski ekipmanlarla ilgili memnuniyetsizlik, maliyetli yükseltmeler, teknik sınırlamalar, uzun kurulum süreleri ve kaynak tüketen entegrasyon projeleri nedeniyle (IDC, 2020) işletmeler dijital dönüşümden yararlanmak istemektedirler.

Gartner (2021) amaca yönelik tedarik zinciri raporunda: Verimli ve yalın bir tedarik zinciri mi yoksa/ Duyarlı ve çevik bir tedarik zinciri mi? Sorusuna cevap aranmıştır. Bu rapora göre;

- Tedarik zinciri liderlerinin %44'ü, üst yönetimin tedarik zinciri stratejisini yalnızca ürün ve satışları sağlayan bir unsur veya işletmeye hizmet vermek için bir maliyet merkezi olarak görürken,
- Tedarik zinciri kuruluşlarının %60'ı, amacın dayanıklılık veya çeviklikten ziyade maliyet verimliliği olduğunu ifade etmiştir.

IFS'nin Digital Change Survey, anketinde dijital dönüşümü tetikleyen birincil faktör olarak: iç süreç verimliliğidir (%43). Diğer en popüler seçimler; Hızlanan inovasyon (%29); Yeni pazarlarda büyüme fırsatları (%28); Rekabetçi farklılaşma (%27); ve Verimlilik kazançları (%26) olarak belirlenmiş ve sıralanmıştır. Ayrıca ankete katılan şirketlerin yarısı, kritik iş sistemleri veya verilerine uzaktan erişim isteyen müşteri sayısında artış olduğunu bildirmiştir (IFS, 2017).

Türkiye'de Eylül 2020'de yapılan bir IDC anketinin sonucuna göre, işletmelerin %40'ı Dijital Dönüşüm girişimleri aracılığıyla müşteri deneyimini iyileştirmeyi ve müşteri etkileşimini güçlendirmeyi hedeflemektedir. Buna karşılık ankete katılanların %55'i Dijital Dönüşüm aracılığıyla müşterilerinde dijital güven oluşturmak için bilgi teknolojileri yatırımı yapmayı

planlamaktadır. Müşteriler üstün deneyimler oluşturmak için müşteri odaklı süreçlere odaklananlar ise %38'i oluşturmaktadır (IDC, 2020). Bu kapsamda Tablo 2.1'de işletmeleri dijital dönüşüme sevk eden amaç faktörlerinin neler olabileceğini, ne gibi yetkinlikler hedeflediklerini ve bunları sağlayacak teknoloji çözümlerinin neler olabileceği verilmiştir.

Tablo 2.1. Dijital dönüşüm amaç faktörleri

Dijital Dönüşüm Amaç Faktörleri	Yetkinlikler	Teknolojiler	Kaynak
İç süreç verimliliği	Tasarla-ölç-izle-analiz et- yeniden değerlendir- keşfet ve otomatikleştir, Kök sorun bulma ve çözme becerisi, Sistem ve paydaş entegrasyonu, beraber çalışabilirlik, uzaktan bağlantı ile etkin süreç yönetimi,	ERP sistemlerine entegre olabilen Hiper otomasyonlar, Akıllı sensörler, Yapay zekâ, ileri analitik ve optimizasyon, Simülasyon, Artırılmış gerçeklik, Öğrenen makineler, M2M, H2M, Özerk Robotlar, otonom araçlar, 5G, Bulut,	(IFS, 2017; Gartner, 2020; IDC, 2020; DHL, 2020b; DHL, 2018)
Maliyetleri düşürme	İş yapış kolaylaştırıcı robotlar, ERP sistemlerine entegre yazılımlar ve süreç iyileştirici çözümler ile düşen maliyetler	Ekleme üretim, hiper otomasyonlar, akıllı ve öğrenen robotlar, simülasyon,	(IDC, 2020; DHL, 2020b)
Esnekliği artırma	Operasyonel ve taktiksel süreç kolaylaştırıcılarla, değişen ve farklılaşan müşteri taleplerine hızlı ve tatminkâr çözüm yolları ile cevap verme	Yapay Zekâ ve Bulut destekli İleri Analitik yazılımlar ve operasyonel süreçleri kolaylaştırıcı Artırılmış ve Sanal Gerçeklik destekleri	(DHL, 2018; IDC, 2020)
Yeni pazarlarda büyüme fırsatları	Kişiselleştirilmiş ürünler, Müşteri arayüzleri ile anlık etkileşim, uzaktan bağlantı ile sorun çözme	Platformlar, 5G, 3D, Büyük veri veri ileri analitik, Nesnelerin İnterneti, Akıllı bağlı sistemler	(IFS, 2017; Agrawal ve Narain, 2018)

Tablo 2.1'in devamı

Rekabetçi farklılaşma	Çoklu müşteri deneyimi ve kolay erişim, Kişiselleştirilmiş ürünler, Daha fazla esneklik, Farklılaştırılmış müşteri teklifleri, Müşteri arayüzleri ile anlık etkileşim, Ürün satıldıktan sonra dahi yazılımsal olarak hizmetin devam etmesi	Yapay zekâ destekli çözümler, Platformlar, 3D, Dronlar, Simülasyon ve modelleme, Artırılmış ve Sanal gerçeklik,	(IFS, 2017; Gartner,2020a)
Müşteri etkileşimini iyileştirmek	Platformlar, mobil uygulamalar, akıllı asistan yazılımlar, omni kanal ve etkin sosyal medya ağları ile müşterilere 7/24 destek ve hizmet sunumu	5G bağlantı, platformlar, mobil uygulamalar, akıllı asistan yazılımlar, IoT	(IDC, 2020; DHL, 2018; Agrawal ve Narain, 2018)
Müşteri deneyimini güçlendirmek	Özelleştirilmiş ürün ve müşteri arayüzleri, ürün takip ve izleme seçenekleri, platformlar aracılığı ile sağlanan bilgi erişimi, bağlantı kolaylığı ile hizmet farklılaştırma	IoT, Eklemeli üretim ve 3D yazıcılar, müşteri platformları, omni kanal	(IDC, 2020; DHL, 2018; Agrawal ve Narain, 2018)
Kaynak kullanım optimizasyonu	Veriye dayalı ileri analitik ile optimize edilmiş bilgi ve yazılımla hareket eden makinalar hata ve israfi önleyerek malzeme, enerji ve insan kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılmasına yardımcı olur	İleri analitik, büyük veri, simülasyon, eklemeli üretim	(IDC, 2020; Nagy ve diğ., 2018)
Hızlanan inovasyon	Değişim ve dönüşüme uyum sağlanması	Simülasyon Artırılmış ve Sanal gerçeklik, Yapay zekâ, IoT	(IFS, 2017)

Tablo 2.1'in devamı

Yetkinlik artırma ve personel güçlendirme	Personelin bilişsel ve fiziksel deneyimlerini artırılması için teknolojiden faydalanılması	Yapay zekâ, ileri analitik ve optimizasyon, Simülasyon, Artırılmış gerçeklik, H2M, Komutla veya beyin dalgalarıyla çalışan akıllı cihazlar ve giyilebilir teknolojiler	(Gartner,2020a; DHL, 2020b)
Artan talebi karşılamak	Talep dalgalanmalarını öngören veriye dayalı analiz ve yapay zekâ destekli sistemler ve akıllı öğrenen makinalar	3D, Karanlık fabrikalar, Akıllı fabrikalar, Öğrenen ve akıllı makine ve robotlar, Yapay zekâ,	(DHL, 2018)

Küresel Rekabetçilik Endeksi (2019)'da Türkiye 2018'de olduğu gibi 61. sırada yerini korumuştur. Türkiye, 12 bileşenin 11'inde Avrupa ve Kuzey Amerika ortalamasının gerisinde yer almaktadır. İleri olduğu bileşen ise 13. sırada olduğu pazar büyüklüğü bileşenidir. Türkiye'nin 141 ülke arasındaki sıralaması şu şekildedir (URL: Kuresel-rekabet-raporu-2019):

- Bilgi ve iletişim teknolojileri 2018'de; 71. sırada iken 2019'da; 69. sırada,
- İnovasyon kabiliyeti 2018'de; 71. sırada iken 2019'da; 69. sırada,
- Beceriler 2018'de; 77. sırada iken 2019'da; 78. sırada,
- Altyapı 2018'de; 50. sırada iken 2019'da 49. sırada yer almıştır.

Küresel Rekabetçilik Endeksi (2020)'de de buna benzer değerler görülmektedir. Bu verilere göre, çok büyük bir pazara sahip olan ülkemizde öncelikli yatırım alanlarının İnsan, Teknoloji ve İnovasyon olması gerektiği görülmektedir. Bu da ancak dijital dönüşüm ve iş ve süreçlerde teknoloji odaklı evrimle olacaktır.

Dijitalleşme, tedarikçiler için varlıkları optimize etme, dağıtılmış yenilenebilir enerjileri entegre etme ve işletme maliyetlerini azaltma fırsatı oldu. Ancak bu ilk nesil dijitalleşme, evrensel, birbirine bağlı bir alan oluşturamadı ve daha da önemlisi, radikal olarak yeni hizmetler veya özelleştirme sunamadı. Ancak gelecekte dijitalleşme, maliyetleri azaltmak için yeni gelir akışları oluşturma arzusuyla yönlendirilecektir. İkinci nesil, ileri teknolojilerin kaynaşması ve fiziksel ve dijital sistemlerin entegrasyonu ile karakterize edilecektir. İş modellerini ve süreçlerini derinden dönüştürecek ve akıllı ürün ve

hizmetlerin sunulmasına yol açacaktır. Enerji sistemlerinde dijitalleşme ise, ademi merkeziyetçilik ve karbondan arındırma yönünde ilerlemektedir (Lyons, 2019).

2.2. Dijital Dönüşümün Süreç ve Boyutları

Şirket bazında yapılan analizler, mevcut durumda düşük işgücü, lojistik ve tedarik zinciri maliyet avantajı ile gelişmiş ülkelere ihracat yapabilen firmaların, gelişmiş ülkelerdeki dijital dönüşüm sonucunda bu avantajlarını kaybedebileceklerine işaret etmektedir. Bu yüzden, rekabetçi kalmak isteyen ülkeler dijital dönüşümü önündeki verimlilik darboğazını aşmak için bir fırsat olarak görmektedir. Yalnız bu dönüşümü nasıl yapacağı konusunda strateji üretmek ve yol haritaları hazırlamaları gerekmektedir (Dijital Anadolu 2, 2018).

Dijital Dönüşümün herhangi bir iş veya kuruluşa başarıyla yürütülebilmesi için Dijital Dönüşüm değişim boyutlarından (bloklarında) her biri, süreç boyunca ve sonrasında anlaşılmalı, ele alınmalı ve benimsenmelidir. Bir değişim bloğunu önlemek veya atlamak Dijital Dönüşüm projesinin zararına olacaktır (McKeown, 2020).

Türkiye ise 2023 hedefleri kapsamında 2018 yılında “Dijital Türkiye Yol Haritası” raporu hazırlamıştır. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB) öncülüğünde kamu ve özel sektörden ilgili bütün paydaşların katkısı ile hazırlanan bu yol haritası çalışması, imalat sanayinin rekabet gücünün artırılması amacıyla dijital dönüşüm sürecinin etkin bir şekilde planlanmasını ve gerçekleştirilmesini hedeflemektedir. Daha sonra da bu girişim ve çalışmalar devam etmiştir. 2022’de TÜBİTAK TÜSSİDE, işletmelerin hızla dijitalleşen dünyada rekabetçiliklerini koruyabilmeleri için, Boğaziçi Üniversitesi tarafından geliştirilen D3A’yı (Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracını) temel olarak DDX (Dijital Dönüşüm Değerlendirme Modelini) geliştirdi. Model ülke genelinde işletmelerin dijital dönüşümlerine katkı sağlayacak. Ayrıca oluşturulan eğitim programı kapsamında Dijital Dönüşüm Danışmanları yetiştirilecek. Bahsedilen vizyon ve hedefler doğrultusunda hazırlanan dijital dönüşümü yol haritası altı bileşenden oluşmaktadır (Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018; DDX, 2022):

1. İnsan: “Eğitim altyapısının geliştirilmesi ve nitelikli işgücünün yetiştirilmesi”
2. Teknoloji: “Teknoloji ve yenilik kapasitesinin geliştirilmesi”
3. Altyapı: “Veri iletişim altyapısının geliştirilmesi”
4. Tedarikçiler: “Ulusal teknoloji tedarikçilerinin desteklenmesi”
5. Kullanıcılar: “Kullanıcıların dijital dönüşümünün desteklenmesi”
6. Yönetişim: “Kurumsal yönetişimin güçlendirilmesi”

IFS (2017), araştırmasına göre; “Kuruluş içinde eşzamanlı dönüşüm: Analitik, Müşteri Deneyimi, Yönetişim ve Liderlik, İnsanlar ve Operasyonlar, Teknoloji Entegrasyonu, Dijital Okuryazarlık geçirmesi gereken altı temel unsurdur.”

Benzer şekilde McKeown (2020)’deki çalışmasında beş değişim bloğu olarak nitelendirdiği dijitalleşme boyutlarını şu şekilde sıralamıştır; Strateji ve Kültür, Personel ve Müşteri Bağlılığı, Süreç ve İnovasyon, Teknoloji, Veri ve Analizi olarak sıralamıştır. Birçok çalışmanın incelenerek dijital dönüşüme ait boyutların görselleştirildiği toplu bilgiler Tablo 2.2’de sunulmuştur.

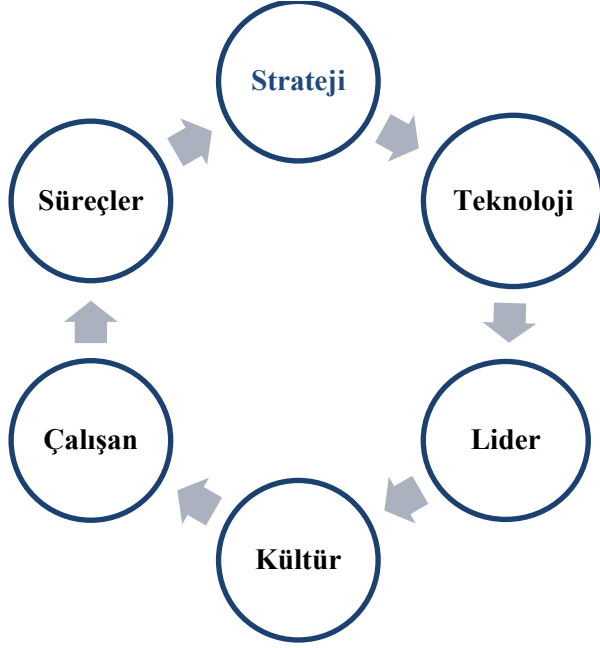
Tablo 2.2. Dijital dönüşüm süreç ve boyutları.

Kaynaklar	Dijital Dönüşüm Boyutları
Pwc (2016), Global Industry 4.0 Survey araştırmasına göre;	<ul style="list-style-type: none"> • Kültür, • Organizasyon, • Liderlik, • Beceri ve Yetkinlik • Teknolojiler ve • Dijital Strateji Tasarımı
Solis (2017), İşletmelerin eşzamanlı olarak Dijital Dönüşüm geçirmesi gereken altı temel unsuru şu şekilde sıralamıştır;	<ul style="list-style-type: none"> • Analitik, • Müşteri Deneyimi, • Yönetişim ve Liderlik, • İnsanlar ve Operasyonlar, • Teknoloji Entegrasyonu, • Dijital Okuryazarlık
Scott, (2017), araştırmasında;	<ul style="list-style-type: none"> • Strateji, • Kültür, • Personel, • Müşteri, • Süreç ve yenilik, • Teknoloji, • Veri ve analitik
IFS (2017), Digital Change Survey araştırmasında kuruluş içinde eşzamanlı dönüşüm için altı temel unsur sıralamıştır;	<ul style="list-style-type: none"> • Analitik, Müşteri Deneyimi, • Yönetişim ve Liderlik, • İnsanlar ve Operasyonlar, • Teknoloji Entegrasyonu, • Dijital Okuryazarlık

Tablo 2.2'nin devamı

Dijital Türkiye Yol Haritası (2018) raporuna göre;	<ul style="list-style-type: none"> • İnsan, • Teknoloji, • Altyapı, • Tedarikçiler, • Kullanıcılar ve • Yönetişimi
IDC (2020), çalışma raporunda;	<ul style="list-style-type: none"> • Teknolojiler, • Süreçler, • İş modelleri, • Çalışma kültürleri ve • Son müşteriye yaklaşımları
DHL (2020), Ward'ın araştırma raporunda;	<ul style="list-style-type: none"> • Teknolojiler • İnsanlar, • Süreçlerin, • İş fonksiyonu, • Organizasyonlar, • Liderlerin öncülük etmesi
McKeown (2020)'teki araştırmasında beş değişim bloğunu şu şekilde sıralamıştır;	<ul style="list-style-type: none"> • Strateji ve Kültür • Personel ve Müşteri Etkileşimi • Süreç ve İnovasyon • Teknoloji • Veri ve Analitik •
Siegel ve Booth (2020)'de. Strategy & PwC şirketi adına 646 işletmede 850 üst düzey yöneticisi ile yapmış olduğu araştırmada, dijital dönüşüm sağlayacak çevik bir işletmeyi altı boyuta bölmüşlerdir;	<ul style="list-style-type: none"> • Organizasyon, • Yetenek, • Teknoloji etkinleştiricileri • Planlama ve performans yönetimi, • Çalışma yolları, • Risk ve uyumluluk

Literatürde kabul görmüş İnsan, Teknoloji ve Süreç boyutlarına ek olarak yukardaki çalışmalar incelendiğinde Stratejisi, Kültür ve Liderlik boyutlarının da eklenmesi gerektiği görülmektedir. Buna göre, aşağıda Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir “Dijital Dönüşüm Döngüsü” oluşturulabilir.



Şekil 2.2. Dijital dönüşüm döngüsü

2.3. Dijital Dönüşümün Önündeki Zorluklar

Endüstri 4.0'ın üretime sokulması, tüm tedarik zinciri üzerinde birçok etkiye sebep olmuştur. Süreçlerin dijitalleşmesi ve otomasyonu ile tüm tedarik zinciri yönetimi (TZY) yapısında bu yeni teknolojilerin kullanılmasından kaynaklanan fırsatları ve muhtemelen tehditleri anlamak için Endüstri 4.0'ın tedarik zinciri üzerindeki etkisini bir bütün olarak analiz etmek gerekmektedir (Tjahjono ve diğ., 2017).

Dijital yenilik çoğu zaman eski düzenlemelere pek uymayabilmektedir. Yeni dijital girişimler, daha adil rekabete yol açabilmekte ve şirketlere küresel, dijital pazarlara girme ve bu pazarlarda liderlik etme şansı sunabilmektedir. Bununla birlikte, rekabeti kısıtlayabilir ve pazara erişim için engeller de oluşturabilir. Bu mevcut belirsizlik ve bununla ilişkili riskler her zaman dikkate alınmalıdır (Bitkom, 2019). Dijital dönüşümün önündeki zorluklar; yüksek maliyetli yatırım, yetersiz veya uzun vadeli yatırım getirisi, devlet desteğinin yetersiz oluşu, yasal sorunlar ve düzenlemelerdeki kısıtların üstüne bir de şirket kültürü, entegrasyon sorunları, personel beceri ve yetenek eksikliği ve dönüşüme öncülük edemeyen liderler eklenince dönüşümün önüne aşılması güç bir barikat oluşturmaktadır (DHL, 2020b).

Bununla birlikte, artan güvenlik endişeleri, yetersiz veri kalitesi, yasal düzenlemeler, fikri mülkiyet sorunları, değişen iş modellerine uyum, teknolojik

bağımlılık, standartlar ve beceri uyumsuzlukları, bugün işletmelerin karşılaştıkları temel zorluklar olmaya devam etmektedir (Müller ve Voigt, 2018; EPRS, 2015; IDC, 2020).

TÜSİAD (2017), “Türkiye’nin Sanayide Dijital Dönüşümü Yetkinliği” raporunda dijital dönüşüm alanındaki zorluklar beş temel kriter altında toplanmıştır:

- Dijitalleşmenin finansal yükü
- Dijital yatırımın geri dönüşünün belirsizliği
- Çalışan yetenek ve beceri eksikliği
- Teknolojik donanım ve yazılım altyapısı eksikliği
- Dijital dönüşüm hakkında bilgi eksikliği

Petrick ve McCreary (2019), “2019 Technology in Industry Report”’unda dijital geçişin gerçekte nasıl gerçekleştiğini daha iyi anlamak için 400’den fazla üretici ve ekosistem ortaklarıyla birlikte yaptığı çalışmanın sonucuna göre;

- İlki, vizyon eksikliği ile küçük düşünüp küçükten başlamak,
- İkincisi, teknoloji her sorunu çözecekmiş gibi bakıp veriyi birimler arasında eş zamanlı erişilebilir ve paylaşılabilir hale getirmemek,
- Üçüncüsü ise, uyum ve yetki eksikliği olarak sıralanmaktadır.

Siegel ve Booth (2020), PwC için yaptıkları araştırmada, şirket içi engelleri şu şekilde sıralanmıştır;

- Çalışanların risk almaktan korkuyor olması,
- Önceliklerle uyum sağlayamayan liderler ve
- Silolarda hapsolmuş çalışanlar olarak belirlenmiştir.

Dikkat edilirse bu yolculuktaki en önemli üç engelin hepsi kültür ve organizasyonla ilgilidir. Bu yaygın engellerin ötesinde, anket şirketlerin çevik yolculukta yaptığı kritik bir hatayı ortaya çıkarmıştır: Bilgi Teknolojilerine aşırı odaklanma. Katılımcıların %57’si bilgi teknolojilerini en değerli çevik işlev olarak değerlendirmiştir. Bu sezgisel gelebilir, çünkü çevik yaklaşım yazılım geliştiricileriyle başlamaktadır. Ancak çevik teknolojinin etkinleştirilmesi aslında katılımcıların arasında en büyük değer kaynağı olmamıştır.

Tüm bu bilgiler ışığında işletmelerin dijital dönüşümünün önündeki zorluklar ve karşılaşılan temel problemler aşağıda kısaca özetlenebilir. Bunlar:

- *Kuruluşların, Endüstri 4.0'ın genel fikrini yeterince kavrayıp kurum stratejileri ile ilişkilendirememeleri,*
- *Dijital dönüşüme nereden ve nasıl başlanması gerektiği ile ilgili bilgi eksikliği,*
- *Hangi teknolojilere yatırım yapmaları gerektiği ve geliştirilmesi gereken temel dijital yeteneklerin neler olacağı ile ilgili belirsizlikler,*
- *Değişen iş modellerine uyum ve çalışanların dijital yetenek geliştirme ve adaptasyon sürecinde karşılaşılabilecek sorunların nasıl aşılması gerektiği ile ilgili belirsizlikler,*
- *Organizasyonel ve kültürel dönüşümün nasıl olması gerektiği ile ilgili bilgi eksikliği,*
- *Endüstri 4.0 vizyonuna ilişkin gelişim durumlarını belirlemede sorunlar yaşamaları ve bu nedenle somut eylem alanları, programlar ve projeler belirlemede zorlanmaları,*
- *Süreç iyileştirmelerini ölçümleyebilecek bir aracın ve bir sonraki olgunluk seviye için gerekli eylem planlarının olmayışı,*
- *Fayda / maliyet konusunda yatırım getirisinin net olmayışı, ölçümlenemeyişi ve Endüstri 4.0 projelerinin sonuçlarına ilişkin belirsizliklerdir.*

Çopur'a göre; Endüstri 4.0 seri ve katma değerli üretim yapan, teknolojiyi ürettiği ürüne koymasına gereken sektörlerdeki işletmeler için yapılması gereken bir yatırım iken, KOBİ ve benzeri küçük yapılarda orta ve düşük gelir grubuna ürün üreten işletmeler için zor bir süreçtir. Bu işletmeler henüz endüstri 3.0'ı daha özümseyememişken onların önüne sahadan veri toplama, ERP kullandırma ve otonom çalışan yazılım çözümleri koyduğunuzda, ortaya çıkan maliyeti ödemekte zorlanacaklardır. Zaten bu yatırımı yapsalar bile otomasyon seviyeleri yetersiz olduğundan sonuç almakta sorunlar yaşayacaklardır. Bu işletmelerimizin önce 3.0'ı özümsemesi sonra 4.0'ı amaçlaması gerekmektedir. KOBİ'ler önce otonomlaşmalı, 3.0'ı özümsemeli sonra 4.0'ı amaçlamalıdır (Çopur, 2020).

3. DİJİTAL TEDARİK ZİNCİRİ

Dijital teknolojiler insanların çevreleriyle iletişim ve etkileşim kurma biçimini derinden değiştirmektedir. Mobil cihazlar, kişisel bilgisayarlar, kendi kendine giden arabalar, dronlar, giyilebilir cihazlar, akıllı telefonlar ve akıllı saatler gibi teknolojik yenilikler ve kişisel araçlar, toplumların bilgiye erişim ve bilgi alışverişini değiştirmektedir. Ortaya çıkan bu yeni teknolojiler her sektörü etkilemektedir. Tedarik zincirleri de bu teknolojilerden yararlanarak ve dijital yenilikler yaparak süreçlerini iyileştirmek ve müşteriler için yeni değer akışları oluşturmak istemektedirler. Teknoloji destekli bu yeni tedarik zinciri anlayışı “Dijital Tedarik Zinciri” olarak isimlendirilmektedir.

Tedarik zincirinin dijitalleşmesi, değer zincirinin tüm noktalarında daha görünür bir tedarik akışı oluşturmak için paralel olarak çalışan, tamamen entegre bir planlama ve üretim çözümleri dizisine doğru bir geçiştir. Sonuç, envanter eksiklikleri veya fazlalığı, sipariş değişiklikleri ve kaynak mevcudiyeti gibi birçok bilinmeyen sektör değişkenine kolayca uyum sağlayabilen daha duyarlı, hızlı ve şeffaf bir tedarik ağıdır. Kuruluşlar, bu entegrasyon ve dijital dönüşüm sonucunda daha iyi planlama ve üretim programlarını destekleyebilecek daha düşük üretim ve operasyonel maliyetlerden, daha kısa teslim sürelerinden, gelişmiş raporlama ve veri analizi yeteneklerinden yararlanmayı beklemektedirler (URL; Karadağ, 2022). Öncelikle geleneksel tedarik zinciri ve temel süreçlerine kısaca değinip sonra dijital tedarik zinciri hakkında bilgi verilecektir.

Geleneksel tedarik zincirleri, aralarında ulaşım bağlantılarının kurulmasına ve sürdürülmesine yardımcı olmak için coğrafi olarak dağılmış fiziksel tesislerden oluşmaktadır. Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), terimi için kabul görmüş standart tanım olmamakla birlikte Stock ve Boyer (2009)’daki çalışmalarında, literatürdeki 173 TZY tanımını derleyerek aşağıdaki tanımı elde etmişlerdir: “Müşteri memnuniyetini sağlamak, verimlilik yoluyla karlılığı maksimize etmek ve işletmeye değer katmak için üreticiden nihai müşteriye kadarki malzeme, hizmet, finans ve bilginin ileri ve geri akışını kolaylaştıran, bir firma ile ve malzeme tedarikçileri, satın alma, üretim tesisleri, lojistik, pazarlama ve ilgili sistemlerden oluşan birbirine bağlı kuruluşlar ve iş birimleri arasındaki ilişkiler ağının yönetimidir” (Stok ve Boyer, 2009). Daha yalın olarak tedarik zincirleri, “tedarikçiler ve müşteriler arasındaki ürün ve hizmetlerin koordinasyonunu, planlanmasını ve kontrolünü içeren bir dizi birbirine bağlı faaliyet” (Büyüközkan ve Göçer, 2018) olarak tanımlanmıştır.

Kısacası, ***“Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), müşteri ihtiyaçlarını karşılamak üzere tedarikçi, üretici, dağıtıcı ve müşteri arasındaki ürün veya hizmetle ilgili mal, bilgi ve finans akışının planlanmasını, koordinasyonunu***

ve kontrol edilmesini içeren birbirine bağlı faaliyetler” olarak tanımlanabilir.

Tedarik zinciri yönetimi her bir zincir üyesinin sorumluluk sahibi olduğu ve performansının tüm zincir üyelerini etkilediği canlı bir ekosistemdir. Ortak bir çaba ve uyum gerektiren bu yönetim müşteriler için değer odaklı hizmet anlayışı ile çalışır. Tedarik, üretim, dağıtım, planlama ve bilgi akışı gibi süreçlerin yönetimi uyum içinde olmalıdır. Mentzer ve diğ. (2001), TZY'nin bir yönetim felsefesi olarak aşağıdaki özelliklere sahip olduğu öne sürülmektedir:

1. Tedarik zincirini bir bütün olarak görmeye ve tedarikçiden son müşteriye kadarki ürün akışını yönetmeye yönelik bir sistem yaklaşımı;
2. Şirket içi ve şirketler arası operasyonel ve stratejik yeteneklerin birleşik bir bütün halinde senkronize edilmesi ve yakınlaştırılmasına yönelik işbirliği çabalarına yönelik stratejik bir yönelim; ve
3. Müşteri memnuniyetine yol açacak şekilde benzersiz ve kişiselleştirilmiş müşteri değeri kaynakları oluşturmaya yönelik müşteri odaklılık olarak üç boyut altında değerlendirmişlerdir.

Birçok kişi tedarik zincirini lojistik ile eş tutsa da aslında lojistik tedarik zincirinin sadece bir bileşenidir. Günümüzün dijital tabanlı TZY sistemleri, tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, nakliye ve lojistik sağlayıcılar ve perakendeciler gibi ürün veya hizmet oluşturma, sipariş karşılama ve bilgi takibi ile ilgili tüm taraflar için malzeme taşıma ve yazılım içerir. Tedarik zinciri faaliyetleri satın alma ve tedarik, tedarik zinciri planlaması (envanter planlaması ve kurumsal varlıkların ve üretim hatlarının bakımı dahil), talep tahmini, sipariş yönetimi ve müşteri hizmetleri, lojistik (stok kontrol, depolama, nakliye ve filo yönetimi dahil) ve ürün yaşam döngüsü ve iade yönetimini kapsar (URL; Oracle, 2023).

Küresel Tedarik Zinciri Forumu, tedarik zinciri yönetiminin temelini oluşturan temel süreçleri sekiz boyut altında değerlendirebileceğini belirtmektedir (Cooper ve diğ., 1997):

- Müşteri ilişkileri yönetimi
- Müşteri hizmetleri yönetimi
- Talep yönetimi
- Sipariş karşılama
- Üretim akış yönetimi
- Tedarikçi ilişkileri yönetimi
- Ürün geliştirme ve ticarileştirme
- İade yönetimi

Tedarik zincirleri, geleneksel Tedarik Zinciri İşlemleri Referans (SCOR) modelini referans alarak çalışmaktadır. SCOR modeli, müşteri talebini karşılamanın tüm aşamalarıyla ilişkili iş faaliyetlerini tanımlamak için geliştirilmiştir. Bu model dört ana bölümden oluşur: süreçler, uygulamalar, insanlar ve performans. Tedarik zinciri konseyi tarafından kabul gören bu tedarik zinciri çerçevesi ile iş süreçlerini tanımlamak, performans ölçümleri geliştirmek, rekabetçi üstünlük sağlamak ve insan becerilerini birleştirmeye çalışılmaktadır. SCOR model, bir endüstri standardı ve bir kıyaslama aracı olması açısından önemlidir. SCOR modele göre tedarik zinciri iş süreçleri;

- Planlama,
- Tedarik,
- Üretim,
- Dağıtım,
- İade Yönetimi

olmak üzere temelde beş süreç boyutundan oluşur (APICS, 2017).

Dijital tedarik zinciri (DTZ) ise, bilgi sistemlerinin geliştirilmesi ve tedarik zincirinin entegrasyonunu ve çevikliğini güçlendirerek müşteri hizmetlerini ve kuruluşun sürdürülebilir performansını iyileştiren yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi olarak tanımlanabilir (Agero ve diğ., 2020). Başka bir deyişle, çeşitli süreçleri yeniden hayal ederek ve bunları akıllı teknolojilerle bütünleştirerek geleneksel bir tedarik zincirinin dijital bir tedarik zincirine dönüştürülmesidir. Belirsizlik altında karar almayı optimize etmek için operasyonların görünürlüğünü, kontrolünü ve simülasyonunu genişletmek için tedarik zincirini oluşturan tüm fiziksel varlıkları dijital modele bağlanmasıdır (Ambrosio, 2019).

Dijital tedarik zincirinin iş amacı, doğru ürünü müşterinin ellerine mümkün olan en kısa sürede, güvenilir bir şekilde ulaştırmak ve riskleri öngörerek çevik bir yaklaşımla sistemi uyarlayıp otomasyon yoluyla verimliliği ve maliyetleri düşürmektir. Bu hedefe, tedarik zinciri tamamen entegre olmalı, tedarikçileri, imalat, lojistik, depolama ve müşterileri sorunsuz bir şekilde bağlayan ve merkezi bir otomasyon tabanlı komuta merkezi aracılığıyla yönetilmelidir (Schrauf ve Bertram, 2016).

Şekil 3.1’de SCOR model baz alınarak yeni bir “Dijital Tedarik Zinciri” model oluşturulmuştur. Bu model, tedarik zinciri süreçlerinin teknoloji destekli akıllı ve otonom bir yapı içerisinde çalıştığı, müşteri değer yönetimini de içeren entegre bir ağı ifade etmektedir.

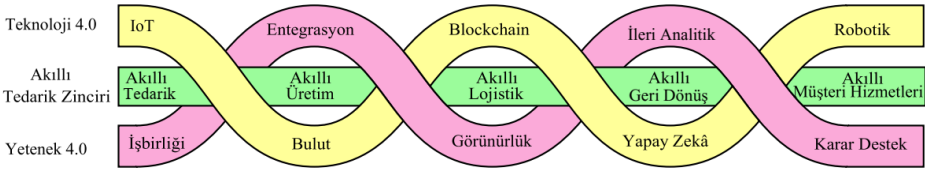


Şekil 3.1. Dijital Tedarik Zinciri

Dijitalleşmiş bu akıllı ağ yapısının tedarik zincirlerine kazandırması beklenen temel yetenekler şunlardır;

- ***daha verimli ve yalın iş akışları,***
- ***daha çevik ve esnek operasyonel faaliyetler,***
- ***daha doğru ve anlık veri paylaşımı,***
- ***daha akıllı analitik ve bilgi yönetimi,***
- ***daha öngörülebilir risk yönetimi,***
- ***daha fazla otomasyon ve***
- ***daha fazla güçlendirilmiş stratejik karar verme olanaklarıdır.***

Endüstri 4.0 teknolojileri ve sunduğu yeteneklerle tedarik zincirinin nasıl akıllı bir ağa dönüştüğü “Dijital Tedarik Zinciri Sarmalı” ile Şekil 3.2’de ifade edilmeye çalışılmıştır. Accenture, (2014) çalışmasından faydalanılarak hazırlanan bu sarmalda, dijital bir tedarik zinciri oluşturulması için Teknoloji, Süreç ve Yetenekler birleştirilmiştir. Tedarik zinciri süreçleri “Dijital Tedarik Zinciri” modeli baz alınarak hazırlanmıştır. Teknolojiler ise tedarik zincirleri için hayati öneme sahip “Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Blok Zinciri, Yapay Zekâ ve Robotik Süreç Yönetimi” olarak öngörülmüştür. Geliştirilmesi gereken yetenekler ise “Paydaşlar Arası İşbirliği ve Bilgi Paylaşımı, Sistemsel Entegrasyon, Operasyonel Görünürlük, Veriye Dayalı İleri Analitik ve Karar Alma” yaklaşımı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.2. Dijital tedarik zinciri sarmalı

Dijital tedarik zincirinin temel bir yönü, ürün ve hizmetlere temas eden üretim, nakliye ve diğer varlıklar yoluyla üretilen ilgili verilerin sürekli olarak yakalanmasıdır. Çeşitli veri akışları toplanır ve fiziksel tedarik zincirinin dijital bir modelinde birleştirilir. Yapay zekâ ve makine öğreniminin bu modele uygulanması, akıllı kararlar almak için öngörüler oluşturabilir. Diğer bir temel husus, değişen müşteri önceliklerine hızlı tepki verme esnekliğidir. Dijital tedarik zinciri modeli tarafından yakalanan optimize edilmiş bilgiler, potansiyel sorunları veya fırsatları tahmin etmeye ve bunlardan faydalanmaya yardımcı olabilir. Darboğazları tanımlayabilmesi ve gerçek zamanlı alternatifleri hızlı bir şekilde simüle ederek çevikliği artırabilmesi, kuruluşların potansiyel sorunlara en iyi şekilde yanıt vermesini sağlayabilir (Ambrosio, 2019).

Herhangi bir organizasyon için DTZ rekabet gücü seviyesi, dahili ve harici yetenek entegrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu ortamda, kuruluşların temel yeteneklerinin tedarik zinciri üyeleriyle bütünleşme düzeyinin, kuruluşun tedarik zinciri performansını etkilediği açıktır. Geliştirilmesi gereken üç yetenek setinden oluşan DTZ bilgi ve iletişim teknolojileri, çalışanların yetenekleri ve paydaşların yeteneklerinin bir kesişimidir (Queiroz ve diğ., 2019). Ana sanayi ve tedarikçi arasında, strateji, tasarım, Ar-Ge, üretim, lojistik gibi süreçlerdeki iş birlikleri, bu süreçlerin eşgüdümlü bir şekilde gerçekleştirilmesi, kararların bütünleşik ve tüm paydaşların gözetilerek alınması, kontratların bu anlayışı destekleyecek şekilde hazırlanması gerekir (Sa, 2017).

Endüstri 4.0 vizyonu gerçekleştirilecekse, çoğu kurumsal süreç daha dijital hale getirilmelidir. Kritik bir unsur, geleneksel tedarik zincirlerinin bağlantılı, akıllı ve yüksek verimli bir tedarik zinciri ekosistemine doğru evrimi olacaktır. Bugün tedarik zinciri, pazarlama, ürün geliştirme, üretim ve dağıtım yoluyla ve son olarak müşterinin eline geçen -büyük ölçüde ayrık- sessiz adımlardan oluşan bir dizi süreçten oluşmaktadır. Dijitalleşme bu duvarları yıkmakta ve tedarik zincirlerini hammadde, bileşen ve parça tedarikçilerinden, bu malzemelerin ve bitmiş malların taşıyıcılarına ve son olarak müşterilere kadar, tüm oyunculara tamamen şeffaf olan entegre bir ekosistem haline getirmektedir. Böyle bir ağ bir dizi kilit teknolojiye bağlı olacaktır:

- Entegre planlama ve yürütme sistemleri,
- Lojistik görünürlüğü ve otonom lojistik,
- Akıllı satın alma, depolama ve envanter yönetimi
- Gelişmiş analitik.

Sonuç, şirketlerin ağı tamamen modelleyerek, senaryoları oluşturarak ve koşullar değiştikçe tedarik zincirini gerçek zamanlı olarak ayarlayarak şirketlerin tedarik zincirindeki aksaklıklara tepki vermelerini ve hatta onları tahmin etmelerini sağlayacaktır. İnşa edilen bu dijital tedarik “ağı” yeni bir esneklik ve yanıt verebilirlik sunarak, oraya ilk giren şirketlerin müşterilere hizmet sunumunda en verimli ve şeffaf olma çabasıyla rekabetçi olmalarını sağlayacaktır (Schrauf ve Bertram, 2016).

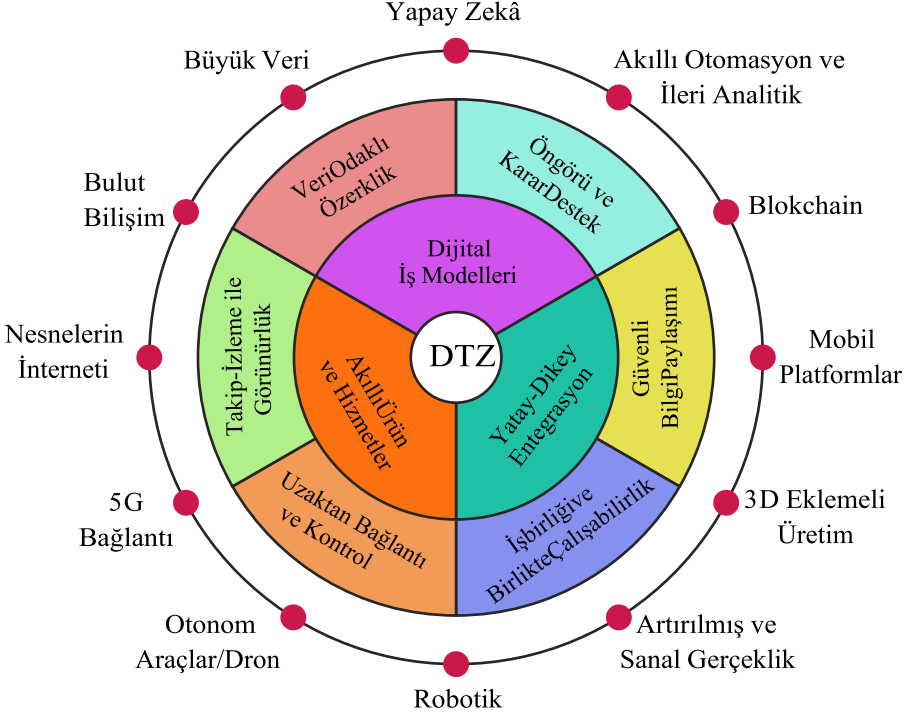
Endüstri 4.0'ın tam bir değer zinciri dönüşümü gerçekleştirdiği ortadadır. Bu dönüşüm sürecinin sonunda, başarılı endüstriyel şirketler, dijital arayüzler ve veri tabanlı, yenilikçi hizmetler ile zenginleştirilen temel fiziksel ürünlerle gerçek dijital işletmeler haline gelecektir. Bu dijital işletmeler endüstriyel dijital ekosistemlerdeki müşteriler ve tedarikçilerle birlikte çalışacaktır. Bu gelişmeler, bireysel şirketleri temelden değiştirecek ve piyasa dinamiklerini yerinden oynayacaktır.

3.1. Dijital Tedarik Zincirinin Karakteristik Özellikleri

İşletmelerin gündemlerine tedarik zincirinin daha eşgüdümlü, bütünleşik ve iş birlikleri ekseninde yönetilmesine imkân veren çeşitli kavramlar girmeye başlamıştır. Öncelikle dijitalleşme sayesinde firma kendi içerisindeki süreçleri etkin bir şekilde takip edip, iyileştirmeler yapma imkânına kavuşmakta, böylece küresel rekabet baskıları karşısında iyileştirmeler için tedarik zincirinin diğer ortaklarına yüzünü dönmektedir. Teknolojik altyapı bu bakış açısına imkân tanımış, tedarik zinciri “müşteri-satıcı” ilişkisi olmaktan çıkıp, “aynı gemide yol alan paydaşlar” haline dönüşmüş, böylece rekabet tedarik zincirleri arasında olmaya başlamıştır (Sa, 2017).

Günümüzde tedarik zincirleri, koordine edilmesi ve izlenmesi gereken birçok ve önemli karmaşık faaliyetler içermektedir. Dijitalleşme hem esneklik hem de verimlilik sunan yeni nesil tedarik zincirlerinin gelişimini mümkün kılmaktadır. Dijital çözümler geleneksel tedarik zincirlerini bozduğundan, neredeyse her DTZ ile ilişkili bazı farklı özellikler vardır. Bu belirgin avantajları Büyüközkan ve Göçer (2018)'deki çalışmalarında; “Hız, Esneklik, Global bağlantı, Gerçek zamanlı envanter, Akıllı, Şeffaf, Maliyet-etkin, Ölçeklenebilir, Yenilikçi, Proaktif, Çevre Dostu” olarak on bir ana özellikte altında toplamışlardır.

Pwc, 2016, Global Industry 4.0 Survey, çalışmasından faydalanılarak hazırlanan Şekil 2.6'deki şablon, Dijital Tedarik Zinciri üç temel amaç etrafında toplanmıştır. Bu amaçlara hizmet eden on iki anahtar teknoloji ve bu teknolojilerin iş süreçlerini iyileştirmek için hizmet ettikleri altı temel karakteristik özellik Şekil 3.3'de görsel olarak temsil edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.3. Dijital tedarik zinciri amaç fonksiyonu

Süreçleri hızlandırıp kolaylaştırarak işletmelere değer odaklı, sürdürülebilir hizmet sunma fırsatı veren Endüstri 4.0'ın tedarik zincirlerine sunduğu yetenek ve değerleri altı grupta toplamak mümkündür. Yedinci olarak tüm bu süreç iyileştirici yaklaşımların entegrasyonudur. Bular:

3.1.1. Takip-İzleme ve Görünürlük

Akıllı bir tedarik zinciri, görünürlük, iletişim, planlama, analiz, simülasyonlar ve yürütme için insanları süreçlere ve nesnelere bağlamaktadır (Ambrosio, 2019). Akıllı sensörlerden akan anlık, canlı veri ile sistemler izlenerek takip edilebilir. Gerçek zamanlı görünürlük ile proaktif müdahale imkânı ve şeffaflık sunulmuş olmaktadır. Riskler öngörülerek tedbirler alınabilir. Sistem üzerindeki tüm süreçlere hakimiyet sağlanabilir. Böylece

süreçteki dar boğazlar kök nedenleri ile tespit edilebilir, kalite iyileştirmeleri yapılabilir, ürün yaşam döngüsü izlenebilir ve arızalar önceden tespit edilerek kesintilerin önüne geçilebilir.

Endüstriyel üreticilerin birçoğu, makinenin çalışma durumundan depolama tankları, çöp kovaları, çıkış işaretleri ve duman alarmlarının servis ihtiyacı olduğunda uyarı almaya kadar her şeyi izlemek ve bunlara erişmek için sensörler kullanmaktadır. IoT çözümleri, üretim koşullarını izler ve yerleşik ilke uygulamasını kullanarak, işlem istenen verimlilik düzeyinde çalışmadığında yöneticileri uyarabilir. IoT özellikli kestirimci bakım, ekipmanın arızalanmasını önlemeye yardımcı olabilir. Gösterge tabloları, bir iş ortağı ekosistemi ve tedarik zinciri içinde derin görünürlük sağlayabilir. Pwc'nin yaptığı ankete katılan üreticilerin % 44'ü bu özelliği zaten kullandığını belirtmiş ve % 27'si bunu iki yıl içinde yapmayı planladığını belirtmiştir. IoT ayrıca teslimat yollarını optimize edebilir, hataları azaltabilir ve sahteciliği en aza indirebilir. Yapılan ankette endüstriyel üreticilerden %41'i IoT uygulamalarından tedarik zinciri faydalarını çoktan elde etti ve %40'ı iki yıl içinde değer görmeyi beklemektedir (Pwc, 2019a).

3.1.2. Öngörü ve Karar Destek Sistemleri

Veriler artık şirketin temel bir varlığı olarak insanlar, teknoloji ve sermaye ile aynı seviyede ve birçok işletmede belki de belirleyici varlık haline gelmiştir. Bu ürün verileri kendi başına da değerlidir, ancak hizmet geçmişleri, envanter konumları, emtia fiyatları ve trafik modelleri gibi diğer verilerle entegre edildiğinde değeri katlanarak artmaktadır. Araç filolarında, her arabanın veya kamyonun bekleyen servis ihtiyaçları ve konumu hakkında bilgi, servis departmanlarının parçaları yerleştirmesine, bakımı planlamasına ve onarımların verimliliğini artırmasına izin vermektedir. Garanti durumu hakkındaki veriler, ürün kullanımı ve performans verileriyle birleştirildiğinde daha değerli hale gelmektedir. Örneğin, bir müşterinin bir ürünü yoğun şekilde kullanmasının garanti kapsamında olan erken bir arızaya yol açabileceğini bilmek, daha sonra maliyetli onarımları engelleyebilecek önleyici hizmeti tetikleyebilecektir (Porter ve Heppelmann, 2015).

Daha gelişmiş IoT kullanımları arasında dijital ikizler, ürün özelliklerini ve yaşam sürelerini daha iyi anlamak için fiziksel varlıkları simüle eden sanal modeller bulunmaktadır. Şirketler, IoT'lerinde "ürünleri" temsil etmek için dijital ikizler oluşturabilir, bu da onların her birini izlemelerine, tasarımları iyileştirmelerine, olası sorunları öğrenip düzeltmelerine ve üretim kesintilerini oluşmadan önce önlemelerine olanak tanımaktadır (Pwc, 2019a). Bu dijital dünya, yeni içgörüler ortaya çıkarmaya ve senaryoları test etmeye yardımcı

olmak için insan müdahalesi olmadan gelişebilir. Fiziksel bir nesnenin sanal bir kopyasını oluşturarak, anlık bir sonucu tahmin etmek veya iş kararlarını bilgilendirmek için eylemler gerçek zamanlı senaryolara göre test edilebilir (Pwc, 2020).

3.1.3. Uzaktan Kontrol ve Proaktif Müdahale

Günümüzde en radikal değişikliklerden biri, bulut bilişim tabanlı altyapı hizmetlerini kullanan bilgisayarlardan akıllı cihazlara geçiştir. Bu son gelişmeler, yalnızca farklı kaynaklardan elde edilen bilgileri kullanarak insanları ve makineleri bir siber-fiziksel sistem bağlamında birbirine bağlamanın neredeyse sınırsız olanaklarını değil, aynı zamanda makineler arasındaki doğrudan iletişimi de mümkün kılmıştır (Tjahjono ve diğ., 2017).

Ürünlerin giderek daha geniş sistemlere yerleştirilen akıllı, bağlı cihazlara dönüşmesi şirketleri ve rekabeti kökten yeniden şekillendirmektedir. Akıllı termostatlar, giderek artan sayıda ev cihazını kontrol ederek kullanımları hakkında verileri üreticilere iletebilir. Akıllı, ağa bağlı endüstriyel makineler, işi özerk bir şekilde koordine eder ve optimize edebilir. Otomobiller, işletmelerine, konumlarına ve ortamlarına ilişkin verileri üreticilerine aktarabilir ve performanslarını arttıran veya sorunları ortaya çıkmadan önce gideren yazılım yükseltmeleri alabilir. Ürünler hizmete girdikten çok sonra gelişmeye devam etmektedir. Akıllı ürünler ve uzaktan müdahale ile bir firmanın ürünleri ve müşterileri ile olan ilişkisi sürekli ve açık uçlu hale gelmiştir (Porter ve Heppelmann, 2015).

3.1.4. Özerklik ve Akıllı Süreç Yönetimi

Yeni nesil akıllı otomasyonlar işletmelere daha az çaba ile daha fazla değer sunmaktadır. Bulut uygulamalarının, blok zincirinin, bilişsel otomasyonun, doğal dil işlemenin ve daha fazlasının birleşiminden oluşan Akıllı otomasyon tamamen yeni bir iş modeli oluşturmaktadır (KPMG, 2021). Akıllı otomasyonlar, belirsizlik altında karar almayı optimize etmek için operasyonların görünürlüğünü, kontrolünü ve simülasyonunu genişletmek için tedarik zincirini oluşturan tüm fiziksel varlıklar dijital modele bağlamaktadır (Ambrosio, 2019).

Çalışma özerkliği, otomasyon, robotik ve akıllı sistemler bir arada çalıştığında oluşturulan muazzam değerın kilidini açacaktır, ancak tam otonom bir toplum henüz ufukta görünmemektedir. Bunun yerine, çok sayıda endüstri otonom sistemleri geliştirmekte, entegre etmekte ve hatta değer zincirine uyarlamaktadır. Akıllı otomasyon sistemleri ve yapay zekâ özellikli makineler, arka uç veri işlemeden araç paylaşımına kadar her şeyi otomatikleştirmektedir.

Otonom sistemler, IoT sensörlerinden, işlem geçmişlerinden, makine verilerinden, insan girdisinden ve analitik ve geri bildirim için diğer birçok kaynaktan daha önce erişilemeyen büyük miktarda veri toplayarak daha iyi öngörücü bakım ve zekâ sağlamaktadır (Pwc, 2020).

3.1.5. Güvenli ve Şeffaf Bilgi Paylaşımı

Güveni otomatikleştirmek için, blockchain, IoT ve AI gibi teknolojileri, verilerin gerçekliğini sağlamak, kimlikleri doğrulamak ve güvenli çok partili işlemleri sağlamak için birlikte çalışmaktadır. Örneğin IoT sensörleri, çiftlikten depoya ve mağazaya kadar bir yiyecek paletini takip ederek tüm tedarik zincirini doğrulayabilir. Bu, bir gönderinin rota boyunca nerede olduğunu ve yolculuğun her ayağındaki koşulları doğrulamaktadır: Nakliye konteyneri çok sıcak, çok soğuk veya çok nemli mi oluyor? Bu bilgiler güvenli, değiştirilemez bir blok zincirine kaydedilebilir. IoT ve blockchain, birlikte değişmez bir tedarik zinciri oluşturarak alıcıların yol boyunca zarar görmemiş özgün bir ürün almasını sağlayabilir. Bu teknolojiler ayrıca tehlikeli maddeler içeren bir ürünün doğru ve güvenli bir şekilde atılıp atılmadığını da doğrulama kullanılabilir (Pwc, 2020).

3.1.6. İşbirliği ve Birlikte Çalışabilirlik

Endüstri 4.0 konseptindeki teknolojilerin önemli unsurlarından biri de birlikte çalışabilirlik ve bağlanabilirliktir. Cihazlar ve bileşenler, Makine-Makine etkileşimi (M2M), üretim sistemleri ve aktörler arasında sürekli bir bilgi akışı oluşturulmalıdır. Bu vesile ile makineler, ürünler ve fabrikalar endüstriyel IoT (çoğunlukla kablosuz ağa dayalı) üzerinden bağlanabilir ve iletişim kurabilir. Bir diğer önemli konu, işbirliğidir. Hem paydaşlar arasında hem de insan makine arasında olmak üzere iki türlü düşünülebilir. İnsandan Makineye (H2M) işbirliği üretim görevleri tamamen otomatik hale getirilemeyecek kadar yapılandırılmamıştır. Ancak, şu anda çok sayıda araştırma çabası işbirlikçi robot teknolojisine yatırım yapmaktadır. Burada insan işçiler ve özellikle tasarlanmış uyumlu robotlar, üretim hattında karmaşık ve yapılandırılmamış iş görevlerinin yürütülmesinde birlikte çalışmaktadır. Daha önceden tamamen manuel olarak yapılan bu tür görevler, M2H iletişiminin yeni formları için gelişmiş kullanıcı arayüzleri geliştirilmesi ile farklı işbirlikleri ortaya çıkmıştır. Bunlar, genellikle teleoperasyon içerirler ve artırılmış gerçeklik ortamlarına dayanmaktadır (Rojko, 2017).

3.2. Dijital Tedarik Zinciri Süreçleri

Dijital dönüşüm, yenilikçi fikirleri olanların bu fikirlerini hızlı bir şekilde test etmelerini, başarıları veya başarısızlıkları hakkında hızlı bir karar vermelerini ve bir sonraki fikre daha hızla geçmeleri için yetki veren bir kültür gerektirir. Yetenekli ve akıllıca risk alabilen lider ve çalışanların uyum içinde çalıştığı, veri ve analize dayalı işbirlikçi bir çalışma prensibi ile müşteri ihtiyaçlarını belirleyip çözen bir organik yapı olmalıdır (Siegel ve Booth, 2020).

Dijital teknolojiler tedarik zinciri süreçleri üzerinde birçok etkiye sahiptir. Tedarik ağı arasındaki görünürlüğü artırmakta, operasyonların daha çevik ve etkili yürütülmesini sağlamakta, bilgi paylaşımı ve işbirliklerini güçlendirmektedir. Tedarikçiler, üreticiler ve müşteriler arasındaki işbirliği, siparişin gönderilmesinden ürünün ömrünün sonuna kadar ki tüm adımların şeffaflığını artırmak için çok önemlidir (Tjahjono ve diğ., 2017). Ayrıca, süreçlerin dijitalleşmesi ve otomasyonu ile tüm tedarik zinciri yönetiminde daha *entegre, akıllı, bağlı ve görünür* bir ağ yapısı oluşturulmaktadır.

Ürünlerin ve hizmetlerin akıllı ve bağlı olduğu bu yeni dijital anlayış tedarik zincirinin geleneksel iş ve süreçlerini -bazen radikal olarak- yeniden yapılandırmaktadır. Ürün geliştirmeyle başlayan bu dönüşüm, değer zincirindeki tüm süreçlerin dönüşümüyle devam etmektedir. Araştırma ve geliştirme (veya mühendislik), bilgi teknolojileri, üretim, lojistik, pazarlama, satış, satış sonrası hizmet, insan kaynakları, satın alma ve finans gibi tüm alanları etkilemektedir (Porter ve Heppelmann, 2015). Dijital bir işletmenin merkezinde dijital tedarik zinciri vardır. Tablo 3.1 dijital bir tedarik zincirinin dijital bir işletmeyi nasıl ve hangi yeteneklerle koordine ettiği gösterilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Dijital işletmenin merkezindeki dijital tedarik zinciri

Dijital Akıllı Fabrika	Dijital İş Modelleri	Dijital Tedarik Zinciri	Dijital Hizmetler	Dijital Müşteri İlişkileri
Dijital Uygulamalar				
Büyük veri ve Yapay zekâ tabanlı süreç optimizasyonu	Dijital Strateji ve kültür	Yatay-dikey Entegrasyon	Güvenli Bilgi paylaşımı	Kişiselleştirilmiş müşteri arayüzleri ile etkileşim
Eş zamanlı Görünürlük ve izleme	Dijital Okur yazarlık	Entegre planlanmış, şeffaf operasyonel faaliyetler	Platformlar ve Sanal pazarlar	Omni kanal Satış etkileşimi
Kök sebep tespiti& Öngörücü Bakım	Teknoloji entegrasyonu	Tedarik 4.0	Adillik ve Güven	Esnek ve mikro teslimat
M2M öğrenimi& Otonom sistemler	Yönetişim ve liderlik	Akıllı Üretim	Takip ve İzlenebilirlik	Çok kanallı Satış sonrası destek
Akıllı ve Bağlantılı Yeni yalın sistem	Analitik ve inovatif süreç yönetimi	Akıllı Lojistik ve Depolama	Güvenlik	Yaşam boyu müşteri değeri yönetimi
Dijital Bileşenler				
TEKNOLOJİ	+	SÜREÇLER	+	İNSANLAR

Kaynak: Schrauf ve Bertram, (2016)'dan faydalanılmıştır.

Endüstri 4.0 teknolojilerinden faydalanarak süreçlerini dijitalleştirmek isteyen işletmeler;

- Uzaktan bağlantılı dijital iş modelleri ve müşteri erişimi,
- Dijitalleştirilmiş akıllı-bağlı-görünür operasyonel yönetim ve hizmet sunumu ile
- Değer zincirlerinin entegrasyonu ve bilgi paylaşımı

gibi üç temel yetkinlik için tedarik zinciri ağlarını yeniden yapılandırmaktadırlar. Tüm süreç boyutları teker teker aşağıdaki bölümlerde ele alınmaktadır.

3.2.1. Akıllı Planlama

Tedarik zinciri planlaması, hammaddelerden mamullere ve tedarikçilerden müşterilere kadar malların üretiminin ve teslimatının optimize edilmesidir. Başka bir deyişle arz ve talep arasındaki dengeleme eylemidir. Geleneksel tedarik zinciri teknolojileri ve manüel süreçler istenen hız, görünürlük ve çeviklik için modern taleplere uygun değildir. Akıllı iş planlama çözümleri için, güçlü yapay zekâ tabanlı optimizasyon algoritmaları, gelişmiş analitikler ve gerçek zamanlı tahmin özelliklerinden yararlanılmalıdır. İşletmelerin planlarını dinamik olarak ayarlamalarına ve talep üzerine tedarik zinciri performanslarını optimize etmelerine olanak sağlayan teknolojilerle planlama süreçlerini desteklemeleri gerekmektedir (URL: SAP, 2023).

Tedarik zincir temel iş süreçlerinden olan talep tahmini, ürünlerin tedarigi ve üretilmesi, stokların azaltılması, satış ve pazarlama, siparişlerin hazırlanması, operasyonel faaliyetlerin planlaması, araç ve yüklerin rotalanması ve taşınması ve müşteri hizmetleri gibi tüm süreçlerin etkili, çevik, ekonomik, hızlı ve sorunsuz bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Süreçlerin görünürlüğü, entegrasyonu ve işbirliği gereken bu planlama aşaması stratejik, taktiksel ve operasyonel düzeyde veriye dayalı planlanmalı ve eşgüdümlü hareket planıyla yerine getirilmelidir.

3.2.1.1. Stratejik Planlama

Herhangi bir tedarik zinciri için başarının anahtarı etkili bilgi alışverişidir. Geleneksel tedarik zinciri, öncelikle tam ve zamanında bilgi eksikliğinden kaynaklanan sürtünme ile doludur. Talepteki ani değişimler, hammadde eksikliği ve doğal afetler en iyi tedarik zinciri planlarına bile zarar verebilmektedir. Ayrıca dış kaynak kullanımı, ulaşım ağına puslu görünürlük sağlamaktadır. Bu nedenle dijital tedarik zincirinin genel amacı, herkesin görmesi için tedarik ağının görünürlüğünü sağlamaktır. B2B ve B2C pazarları şirketleri gerçek zamanlı güncellemelerle sevkiyat varışları hakkında daha fazla bilgi talep ederek bu görünürlük seviyesini sağlamaya zorlamaktadır. Sürekli güncellenen güvenilir nakliye bilgileri üreticinin müşteri memnuniyetini önemli ölçüde artırabilmektedir. Hammadde tedarikçilerinin verimli entegrasyonu ve yönetimi dijital tedarik zinciri ekosisteminde kritik bir yapı taşıdır. B2B ağlarında üreticiler, tipik olarak üretim planlarına bağlı olan tedarik sevkiyatları hakkında zamanında durum bilgisi beklemekteydiler. Talep üzerine tedarik ve sistem üzerinden akıllı ihaleler ve sözleşmeler gerçek anlamda dijital tedarik zincirinin tedarik fonksiyonu için başka birkaç önemli sonucudur. Şirketler tedarikçilere daha yakın bağlanmak, planlama sürecine yardımcı olmak, kaynak kullanımını iyileştirmek, tedarikçi riskini aktif olarak yönetmek ve işbirliğini

artırmak için çeşitli geleneksel veri araç ve tekniklerini kullandığından, tedarik zincirinin birçok geleneksel yönünün sayısallaştırılması halihazırda devam etmektedir. Süreçler giderek otomatikleştikçe ve dijitalleştikçe tedarik zincirinde daha düşük maliyetler, daha öngörülebilir risk seviyeleri ve daha hızlı teslimat fırsatları doğacaktır (Schrauf ve Berttram, 2016).

Stratejik plan aşaması, tüm süreçlerin şirket hedeflerine uygun olarak uzun vadeli bir planlanmasıdır. Süreç planlamada özellikle talep yönetimi sürecinin, müşterilerin gereksinimlerini firmanın tedarik yetenekleriyle dengelemesi gerekir. Bu, talebin tahmin edilmesini ve bunun üretim, tedarik ve dağıtım ile senkronize edilmesini içerir. Süreç aynı zamanda operasyonlar kesintiye uğradığında acil durum planlarının geliştirilmesi ve uygulanmasıyla da ilgilidir (Croxtton ve diğ., 2001).

3.2.1.2. Taktiksel Planlama

Tedarik zinciri planlaması oldukça karmaşık bir süreçtir. Sezgisel ve deneyimsel bilgilerin, satış ve pazarlama personeli saha öngörülleri ile müşteri verilerinin bir kombinasyonunu içerecek düzeyde hazırlanmalıdır. Bu plan süreci boyunca bir yandan geleceğe yönelik talep ve satış planlamasının yapılması, bir yandan mevcut siparişlerin ve operasyonel süreçlerin planlanarak yürütülmesi ve diğer yandan olası risk ve iadelerin düşünülerek önlemlerin alınması gerekir. Bu süreçlerin doğru bir şekilde planlanmasında görünürlük, bilgi paylaşımı ve işbirliği en önemli unsurlardandır.

İzleme ve takip sistemleri taktiksel planlamada kuruluşlara önemli veri ve bilgiler sunmaktadır. Ürünün tedarik zincirinden müşteriye ulaşıncaya kadar ki tüm yolculuğu, bu teknolojiler sayesinde takip edilebilmektedir. Elde edilen verilerin analizi ile personel performansından karşılaşılabilecek dar boğazlara kadar oluşabilecek tüm problemler öngörlebilmekte ve gerekli önlemlerin alınarak süreçlerin daha doğru planlanmasına olanak sağlamaktadır.

Kuruluşların verilen vaadlere uyulabilmesi uyum ve entegrasyon ile mümkündür. Tüm süreçlerin aksamadan yürütülmesi entegre ve işbirlikçi bir planlama sürecini gerektirir. Süreçlerinin etkili ve verimli yönetimi dinamik veri analizine dayalı bir otomasyonel sistem aracılığı ile daha doğru ve daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir. Sistemlerin entegrasyonu ve ortak bir otomasyonla tüm sürecin zincir üyeleri ile işbirliği halinde yürütülmesi gerekir. Ancak bu şekilde kaynaklarını verimli ve etkili kullanan ve sürdürülebilir bir tedarik zinciri ağı oluşturulabilir.

3.2.1.3. Operasyonel Planlama

Tedarik zinciri yöneticileri taktiksel planlamayı sahadan gelen gerçek zamanlı veriler ile birleştirerek operasyonel planlamalarını yerine getirmelidir. Tedarik ve satınalma, üretim çizelgelme, stok kontrol, sipariş hazırlama, araç ve yük rotalama ve çevik operasyonel yönetimi gibi süreçlerinin etkili ve verimli bir şekilde yönetimi veri analizine dayalı bir otomasyonel sistem aracılığı ile gerçekleştirilmelidir. Bu planlama sürecinin kilit unsuru anlık bilgi paylaşımı ile görünürlük ve uzaktan müdahale imkânıdır. Tüm sürece hâkim olmak ve riskleri minimize etmek sahadan gelecek anlık ve canlı bilgi ve veri akışı ile mümkündür. Görünürlük süreçlerin daha kolay yürütülebilmesine olanak sağlayabilir.

3.2.2. Akıllı Tedarik

Ürün siparişinin alınması ile başlayan ve üretim için hammadde, bileşen veya yarı mamül satınalmı ile devam eden bu süreç tedarik zincirindeki süreçlerin planlanan zamanda yerine getirilmesinde oldukça önemlidir. İşletmeler genellikle alt yüklenici firmalar ile uzun soluklu çalışma ve bilgi paylaşımı ile beraber süreç yönetme eğilimindedirler. Diğer taraftan artan rekabet ve değişen maliyetlerden ötürü pazara birçok üretici firma girdiği için tedarik ağı da oldukça genişlemiştir. Doğru ürünü en iyi kalite ve fiyata almak isteyen kuruluşlar bu süreçlerini en hızlı ve sorunsuz bir şekilde yönetmek istemektedirler. Fakat güven esasına dayalı geleneksel tedarik yerine, daha az sadakatin görüldüğü yeni tedarikçilerin de fırsat bulduğu aktif Pazar, birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Bunlardan birkaçı; güven, güvenlik, bilgi paylaşımı ve uyuşmazlık çözümü gibi sorunlardır.

Dijital teknolojiler bu sorunlara çözüm olabilecek potansiyele sahiptir. Daha fazla çeşit ve daha uygun ürün arayışı için dijital platformlar kullanılmaktadır. Üretici ile müşteriyi bir araya getiren ve etkileşimi üst düzeye çıkaran bu dijital platformlarla ürün ve hizmet tedariki çok daha kolaydır. En önemli sorunlarda biri olarak görülen güvenlik ve uyuşmazlık çözümü için blockchain teknolojisi kullanılma eğilimindedir. Bilgi paylaşımının güvenliğini de garanti altına alan bu teknoloji, takip cihazları ve yapay zekâ ile de desteklenince akıllı tedarik zincirine götüren yolun önü oldukça açılmaktadır.

3.2.2.1. Akıllı Satınalma ve Uyuşmazlık Çözümü

Akıllı satınalma sektörel ürün gruplarındaki tüm tedarikçilerin bir platformda görüntülenebildiği ve en doğru ürünün en uygun fiyatla alınabildiği uygulamalar ve akıllı asistanlar yardımı ile daha kolay yapılabilir. En basit hali ile e-ticaret platformlarının en uygun fiyatlı ürünleri bulup çıkarması

bu satınalmalara birer örnek olarak düşünülebilir.

İşletmeler arası (B2B) ticarete özellikle alternatif ürün bulma ve tedarikçi sayısını çeşitlendirmede akıllı satınalma oldukça önemlidir. Ana yüklenici haricindeki tedarikçilerden mal alım sürecinde numune, ihale, kalite kontrol ve standardizasyon süreçleri zaman ve işgücü kaybına yol açmaktadır. İhale süreçlerini kısaltıp her seferinde yeni sözleşmelere gerek kalmadan blockchain destekli sözleşmeler akıllı satın alımlarının kilit teknolojisidir.

Blockchain Türkiye Platformu (BCTR)'nin “Akıllı Sözleşmeler” raporunda da bahsedildiği üzere, bu teknolojinin sunabileceği yeteneklerden en önemlilerinden ikisi görünürlük ve uyumsuzluk çözümdür. İlki ürün yaşam döngüsü boyunca ürünü takip edebilme ve süreçleri izleme yeteneğidir. Ürün sahteciğinin önüne geçebileceği gibi tarladan-çatala veya ürün yaşam döngüsü boyunca ürünün üretiminden geri dönüştürülme aşamasındaki tüm süreci kontrol altında tutmaya katkı sağlamaktadır. Diğer, değiştirilemez veriler sayesinde özellikle küresel tedarik ağlarındaki dava süreçlerini kısaltabilir ve uyumsuzlukları en aza indirilebilir. Geleceğin dünyasında notersiz sözleşmeler ve kanıtlanması kolay şifrelenmiş blockchain tabanlı belgeler daha çok görülecektir (BCTR, 2021).

3.2.2.2. Sürdürülebilir İşbirliği ve Canlı Bilgi Paylaşımı

Tüm tedarik zinciri ağları eksiksiz ve güvenilir bilgi paylaşımı ile gerçek zamanlı görünürlük için sensör teknolojisi, blockchain, platform mimarisi ve yapay zekâ destekli robotik süreçler gibi teknolojilere yatırım yapmakta ve işbirliklerini güçlendirmek istemektedirler. Tam zamanında tedarik ve minimum stok düzeyi için bilgi paylaşımı ve işbirliği en önemli iki etkidir. Risk düzeyini en aza indirmek isteyen işletmeler tedarik zinciri süreçlerini izlemek ve anlık bilgi sahibi olmayı istemektedirler.

IFS'nin Digital Change Survey, anketine katılan şirketlerin yarısı, kritik iş sistemleri veya verilerine uzaktan erişim isteyen müşteri sayısında artış olduğunu bildirmektedir (IFS, 2017). Tedarik ağındaki tüm müşteriler iş süreçleri hakkında daha fazla bilgi talep etmektedir. Uzaktan bağlantılı ve tam zamanlı görünürlük ile risk düzeyini en aza indirmek ve öngörülebilirliği artırmakla tüm süreçleri kontrol altına alabilmeyi amaçlamaktadırlar.

3.2.3. Akıllı Üretim

Dijital tedarik zincirinin ikinci temel fonksiyonu üretimdir. Üretim süreçleri yeni teknolojilerin en etkili kullanıldığı alanlardan biridir. Müşteri isteklerinin değişmesi, rekabet için kişiselleştirilmiş ürünlerin ön plana çıkması üretimdeki rekabeti başka boyuta taşımış ve ürün çeşitliliğini ve ürün yaşam döngüsünü

kısaltmıştır. Seri üretime alternatif yeni yaklaşımların arayışı ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin desteği, akıllı fabrikalara ve akıllı üretime yol açmıştır.

Endüstri 4.0 değerinin farklı kaldıraçlarını kullanan, ancak talep segmentine ve ilgili oldukları ihtiyaçlara bağlı olarak farklı vurgularla ortaya çıkan dört yeni nesil fabrika kategorisi vardır. Bunlar;

1. Smart-automated and robotized plants; Akıllı otomatik ve robotize tesisler veya Akıllı otomatik ve robotik fabrikalar. Düşük maliyetli seri üretim ihtiyacına cevap veren fabrika modelidir.
2. Customer-centric plants; Dijital kitlesel bireyselleştirme fabrikaları, yani müşteri odaklı fabrikalar. Kişiselleştirilmiş müşteri isteklerine en hızlı yanıt verme yeteneğiyle ön plana çıkmaktadır.
3. E-plants in a box; Bir kutudaki e-tesisler, yani mobil modüler fabrikalardır. Küçük ölçekli, niş pazarlar için uygun bir fabrika modelidir.
4. Handmade with digital touch; Dijital dokunuşlu el yapımı, yani dijitalleşme ile yüksek oranda desteklenen el yapımı üretimi ifade etmektedir (Grabowska, 2020).

Endüstri 4.0'a göre akıllı fabrikanın temel özellikleri:

Otomasyon: Otomatik, entegre, izlenen ve sürekli olarak değerlendirilebilmesini sağlamaktadır,

Bağlantı: Akıllı fabrikayı, akıllı makineleri, robotları, gelişmiş sensörleri IoT standartları ile bağlama yeteneğine sahiptir,

Tedarik zinciri: Mal ve nakit akışını esnasındaki tüm bilgilerin ürün değer zinciri boyunca bir ağda toplanmasını ve her yerden kontrol edilmesini ve bu bilgilerin kullanılmasını sağlamaktadır,

İletişim: İnsanlar, ekipman ve işletme ve operasyon yönetimi uygulamaları arasında etkileşimi kurarak proaktif hareket edebilme yeteneği sunmaktadır,

Dijital veri: Etiketleri (örneğin RFID) ve ürün yapılandırılmalı akıllı ürünlerle otomatik olarak tanımlanmış bileşenleri kullanarak görünürlük ve karar destek hizmeti ile öne çıkmaktadır (De Felice ve diğ., 2016).

Endüstri 4.0'ın ana çıkış amaçlarından biri üretim süreçlerinde radikal iyileştirmeler ve sürdürülebilir bir yaklaşımla varlık kullanımını azaltarak rekabeti başka mecralara taşımaktır. Kişiselleştirilmiş üretimi ön plana çıkarırken insan emeğini mümkün olduğunca azaltmak ve tüm riskleri öngörebilen hatasız sistemler tasarlamaktır. Bu kapsamda akıllı üretimi; akıllı varlık yönetimi, öngörücü bakım, üretim planlama, ürün geliştirme ve eklemeli üretim şeklinde beş farklı alt boyut olarak ele alabiliriz.

3.2.3.1. Sürdürülebilir Akıllı Varlık Yönetimi

Akıllı varlık yönetimi, müşteri öngörülerini, performans analizlerini ve yeni

dijital hizmetleri sağlamak için tüm endüstriyel ekipmanların iş ortakları arasında güvenli ve kontrol edilebilir paylaşım haklarına sahip dijital bir sunumunu sağlamaktadır. İstenen sonuçlar varlık verimliliğini en üst düzeye çıkarmayı, güvenli operasyonları ve maliyet azaltmayı içermektedir. Şirketler, varlıklarının dijital ikizlerini yaşam döngüleri boyunca izlemek üzere mühendisliğin müşteri sitelerinden operasyonlar hakkında geri bildirim aldığı kapalı bir döngüde inşa etmektedirler. Böylece sorunlar kritik hale gelmeden önce tespit edilebilirler. Servis olarak ekipman, uzaktan teşhis ve öngörücü bakım, AI algoritmaları ile ekipman ve analizlerden sürekli veri akışına dayanan bir sistem tasarımı ile mümkündür (Ambrosio, 2019).

3.2.3.2. Proaktif Öngörücü Bakım

Dijital ikiz modellerle birleştirilmiş makine öğrenimi, ekipman performansında etkileri belirginleşmeden önce anomali tespit algoritmaları yoluyla arıza modellerini tespit edebilir. İmalat şirketleri gelişmiş analitik ve öngörücü bakım programları kullanarak, fabrika katında makine arızalarını önleyebilir ve arıza sürelerini tahmini %50 azaltabilir ve üretimi %20 artırabilir. Örneğin, bir üretim makinesi potansiyel olarak tehlikeli bir arızayı tespit edebilir, zarar görebilecek diğer ekipmanları kapatabilir ve bakım personelini soruna yönlendirebilir. Böylece maliyetli kapalı kalma sürelerini önleyebilir, üretkenlik de arttırılabilirler (Porter ve Heppelmann, 2015; EPRS, 2015).

Doğru teknoloji ile IoT sensörleri tarafından toplanan ve bulutta depolanan varlık verileri gerçek zamanlı olarak analiz edilebilir, böylece şirketler ekipman kullanımını izleyebilir ve servis veya bakım faaliyetlerini proaktif olarak tavsiye edebilir veya önerebilirler. Buna ek olarak, gelişmiş artırılmış gerçeklik, bir makinedeki çizimleri ve şemaları kopyalayarak, sensör bilgilerini görselleştirerek ve mobil cihazlar (akıllı gözlükler gibi) üzerinden onarım talimatları olarak bakım faaliyetlerini iyileştirebilirler (Ambrosio, 2019). Sensörlerden gelen veriler, hataları tespit etmek için örnekleme kullanmak yerine üretilen her parçayı izlemek için kullanılabilir ve hata düzeltme makineleri, üretim süreçlerini gerçek zamanlı olarak ayarlayabilir. Bu veriler, küçük ama devam eden sorunları belirlemek ve çözmek için 'büyük veri' teknikleri kullanılarak da toplanabilir ve analiz edilebilir. Kalitedeki artış, maliyetleri düşürmede ve dolayısıyla rekabet gücünü arttırmada önemli bir rol oynayabilir (EPRS, 2015).

3.2.3.3. Veri Destekli Üretim Planlama

Üretim planlama, kaynakların etkin kullanımını sağlamak amacıyla hangi ürünün ne miktarda ve ne zaman üretilmesi soruları yerine daha geniş bir açıdan

değerlendirilmeye başlamıştır. Stoğa üretimden sipariş temelli ve kişiselleştirilmiş parti üretimine kayan, kaynak optimizasyonunun yanı sıra tedarik zinciri üyeleri ile ortak planlanan süreçler içermektedir. Üretim süreci öncesinde ürün tedarigi ve sonrasında etkin dağıtım ağları ile bir bütünlük arz eder ve birbirlerini performans açısından etkilemektedir. Dolayısıyla üretim planlarının, tedarik zinciri ağ yapısı göz önünde tutularak birlikte ve uyum içerisinde oluşturulması sistemin bütünsel olarak optimizasyonunu sağlamak açısından bir avantaj sağlayacaktır (Yılmaz ve Bilgin, 2019).

Endüstriyel üreticiler süreçlerinden ve operasyonel faaliyetlerinden sürekli veri toplamaktadırlar. Üretim planlama ve zamanlama süreçlerini iyileştirmek için bu büyük veri teknolojilerinden faydalanmaktadırlar. Mevcut, bu değerli veri kaynaklarından yararlanırken yapay zekânın önemli bir bileşeni olan makine öğrenimi algoritmalarını da kullanmaktadırlar. Kritik durum verileri sağlayan akıllı sensörler, ürünlerin üretim sürecinde çalışma merkezlerine otomatik olarak yönlendirilmesine yardımcı olarak varlık kullanımındaki verimliliği artırmakta ve programlayıcılara ve planlayıcılara gerçek zamanlı geri bildirim sağlamaktadır. Bu döngü, üretim hattında sorunlar meydana geldiğinde planlama doğruluğunu ve alternatiflerin gerçek zamanlı simülasyonunu geliştirmektedir (Ambrosio, 2019).

3.2.3.4. Yazılım Destekli Ürün Geliştirme

Tasarım ekipleri mekanik mühendisliğinden yazılım mühendisliklerine geçmektedir. Geleneksel ürünlerde, değişkenlik maliyetlidir çünkü fiziksel parçalarda değişiklik gerektirir. Ancak akıllı ürünlerdeki yazılım, değişkenliği çok daha ucuz hale getirmektedir. Örneğin, John Deere, her biri farklı bir beygir gücü seviyesi sağlayan motorların birden fazla versiyonunu üretiyordu. Artık sadece yazılım kullanarak standart bir fiziksel motorun beygir gücünü değiştirmektedir. Müşterinin donanım ihtiyacını değil, yazılım aracılığıyla değişkenlik ihtiyaçlarını karşılamak yeni ve kritik bir tasarım disiplini olmuştur. Bununla birlikte yeni nesil ürünlerde genellikle uzaktan olmak üzere yazılım aracılığıyla sürekli olarak güncellemelerle versiyon yükseltilmektedir. Tesla son zamanlarda, uzaktan yazılım güncellemeleri yoluyla zaman içinde sistemin yeteneklerini artırmak amacıyla bir “otopilot” sistemi koymaya başlamıştır. Aynı sistemi “bir otomobilden fazlası” sloganı ile akıllı araç felsefesi ile üretilen ülkemiz otomobil firması TOGG’da kullanmaktadır. Akıllı, bağlı bir ürünün dijital kullanıcı arayüzü, bir tablet veya akıllı telefon uygulamasına yerleştirilebilir, böylece uzaktan çalışma sağlanır ve hatta ürünün kendisinde kontrol ihtiyacını ortadan kaldırabilir. Akıllı ürünler, kalite yönetimini birkaç adım daha ileri taşıyarak gerçek dünya performans verilerinin sürekli

izlenmesini sağlayarak şirketlerin testlerin ortaya koyamayacağı tasarım sorunlarını tanımlamasına ve gidermesine olanak tanıyabilir. Bir ürün hizmet olarak teslim edildiğinde, bakım sorumluluğu ve ilgili bakım maliyeti üreticide kalır ve bu da birkaç tasarım parametresinin değiştirilmesi ile kolaylıkla ve daha az maliyetle yerine getirilebilir (Porter ve Heppelmann, 2015).

Fiziksel olarak ürün geliştirmede kullanılacak eklemeli üretim ve dijital ikizler tasarımdan ticari ürüne geçişi kolaylaştırabilir. Dijital tasarımlar ve üretim sürecinin sanal modellemesi, bir ürünün tasarımı ile teslimatı arasındaki süreyi azaltabilir. Dolayısı ile ürünün üretilebileceği hız da artacaktır. Veriye dayalı tedarik zincirleri, üretim sürecini siparişleri teslim etmek için gereken süre açısından tahmini %120 ve ürünleri pazara sürmek için %70 oranında hızlandırabilir (EPRS, 2015).

3.2.3.5. Talep Üzerine 3D ile Üretim

Üretim fabrikalarında yeni trend “karanlık fabrikalar” kavramı ile daha lokal ve minyatürleştirilen yeni üretim sistemleridir. Günümüzde katmanlı veya eklemeli üretim sistemleri olan 3D baskı ile birçok küçük ortamlar birer üretim tesisine dönüşmüştür. Eklemeli üretim Endüstri 4.0’ı daha esnek hale getirmek için hızlandıran, depo ve yedek parça ihtiyacını ortadan kaldırarak endüstride devrim yapıcı bir teknolojidir. Bu, arzın talebe daha yakın olması için dağıtılabilecek daha esnek ve verimli bir sermaye yatırımı anlamına gelmektedir. 3D baskı, yeni üretim çözümlerine (işlevsellik, ekstra maliyet olmadan daha fazla karmaşıklık) veya yeni tedarik zinciri çözümlerine (örneğin envanterde daha hızlı teslimat süreleri gibi) veya her ikisinin bir kombinasyonuna olanak tanıyarak tamamen yeni iş modellerine olanak tanımaktadır (Nagy ve diğ., 2018; Curry, 2016). Ayrıca zor ve maliyetli ürün kalıplarının daha hızlı ve az maliyetli olarak üretilmesini ve tasarımdan üretime hızlı geçişin bir aracıdır. İlk seferde hatasız üretilen ürünler, israfı ve kaynak kullanımını da azaltabilmektedir. Tablo 3.2’de 3D Baskı ile yedek parça tedariği ve değer zincirindeki dönüşümü ifade edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.2. 3D Baskı ile yedek parça değer zincirini dönüşümü

	Mevcut durum	3D baskı ile	3D baskının avantajları
Tedarik	Farklı yerlerden sevk edilen düzinelerce parça	Birçok özel parça eklemeli üretimle yerinde ve istenen zamanda üretilebilir	Daha az tedarikçi ile basitleştirilmiş tedarik zinciri
Üretim	Düşük maliyetli denizaşırı ülkelerde üretim	Müşteriye yakın üretim	Ucuz işgücü oranlarını takip etmeye gerek kalmadan, düşük maliyetli üretim ve nakliye
Teslim	Çok kademeli teslimat	Yerel minimum sevkiyat	Kullanım yerine yakın yerde üretim ile hızlı yerel teslimat
Destek	Büyük envanterden sevk edilen yedek parçalar	Talep üzerine üretilebilen ve aynı gün teslim edilebilen yedek parçalar	Azalan stok maliyeti ve Düşük maliyetli teslimat

Kaynak: Schrauf ve Bertram (2016)

Tedarik zincirinizi yalnızca maliyet için optimize etmek artık yeterli değildir. Hedef, hızı daha önce hiç olmadığı gibi artırmak ve büyüyen tüketici beklentilerini karşılamak için ürünü pazara sunma hızlarını artırmaya yardımcı olmaktır. Şirketler örneklem ve ürün geliştirme süresinde 3D ile %70 oranında bir azalma sağlamıştır. Faydalar sadece tedarikçilere değil, tedarik zinciri boyunca tüm paydaşlara da ulaşmalıdır (Crawford, 2019).

Adidas Speedfactory, tamamen yüksek teknoloji ve otomatik üretime doğru bir sonraki adımı atarak yenilikçi 3D baskı teknolojisini üretim sürecine tanıtmıştır. Speedfactory, üretimin tüketici pazarlarına yaklaşmasını ve aynı zamanda her zamankinden daha hızlı üretim yapabilmesini sağlayan otomatik bir üretim sürecine dayanmaktadır. Merkezi Franconia Ansbach'daki üretim yeri, bir spor ayakkabı fabrikasından ziyade bilgisayar çipleri için bir üretim sistemi gibi görünmektedir. Dikiş makinelerinin olmadığı, bir avuç çalışan cihazla, özel kumaşlar taşımak için iki makine arasında gidip gelen bir robot arabadan ibarettir. Şu ana kadar siparişi verilen bir bitmiş spor ayakkabının Almanya'ya gelişi yaklaşık üç ay sürerken, artık iplik, dört farklı plastik top ve bir çift ayakkabı bağcığında sadece beş saat içinde bu fabrikada bir Adidas koşu ayakkabısı yapılmaktadır. Speedfactory'e sahip olan Adidas artık kişiselleştirilmiş üretimi müşterilerin talep ve isteklerine daha yoğun bir şekilde uyarlayabilmektedir (Vette, 2016). Bu yeni üretim yaklaşımı tedarik ağında kısaltmalar ve yeni iş modelleri geliştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.2.4. Akıllı Dağıtım

Endüstri 4.0 dijital teknolojileri, lojistik sektörüne yeni iş modelleri, akıllı hizmet sunumu ve eşsiz rekabet avantajları sunmaktadır. Değer odaklı bu yaklaşım, müşteri deneyimini artırmakta, etkileşimi kolaylaştırmakta ve işletmelere kişiselleştirilmiş hizmet sunumu fırsatı vermektedir. Birçok lojistik firması teknoloji destekli bu yeni iş modellerini elde etmek için dijital dönüşüm girişimleri başlatmaktadır. Bu Lojistik 4.0 girişiminin amacı, ürünleri zamanında ve eksiksiz olarak, doğru koşullar altında ve en uygun fiyatla müşteriye ulaştırmaya çalışan lojistik işletmelerinin tam görünürlük ve optimizasyon ile karar almasını kolaylaştırmak ve operasyonel süreçlerini daha doğru ve kolay yönetebilmektir (Eğilmez, 2023).

Günümüz yeni ticari anlayışına sahip dijital tedarik zincirlerinde rekabet, maliyetleri azaltmaktan çok dağıtım ağında müşteriler için yenilikçi çözümler üretme yönünde gelişmektedir. Müşteri için ürün kadar, ürünün zamanında, en az maliyetle, hasarsız ve müşterinin istediği yere ulaştırılmasında oldukça önemlidir. Bu son mil teslimatları maliyetleri artırsada işletmeler küresel rekabeti korumak için tüm maliyetlere katlanarak ürünleri müşteriye en yakın lokasyonlarda bulundurmaya çalışmaktadırlar. Hız ve çevik hareket kabiliyeti ile lojistik doğruları karşılamak isteyen işletmeler dijital yeniliklerden yararlanmaktadırlar. Üst düzey tedarik zinciri performansı için akıllı depolar ve platformlarla desteklenmiş, müşteri etkileşiminin üst düzeye çıkartıldığı akıllı lojistik ağları tasarlanmaktadır.

Akıllı dağıtım için lojistik sektörünün faydalanabileceği birçok teknoloji vardır. Bunlardan bazıları, depo içi akıllı robotlar, RFID, sürücüsüz araçlar, dron teknolojisi, stok ve envanter kontrolü sağlayan sisteme entegre yazılımlar, öneri ve optimizasyon veren yapay zekâ destekli robotik süreç yöneticileri, takip ve izleme teknolojileri, etkileşimli platformlardır. Bu teknolojiler sayesinde edilen yararlardan bazıları ise;

- Otomatik faturalandırma ile evrak yükü azaltılması,
- Müşteriler için yeni deneyimler oluşturulması,
- Sorunsuzca ve güvenli bilgi paylaşımı ile
- Vaadlere uyma kolaylığıdır.

Bu teknolojilerin sunduğu müşteri memnuniyetinin yanı sıra süreçlerde verimlilik sağlanırken, riskler daha öngörülebilir olmakta ve işletme kârlılığı ve güveni artırılabilmektedir (Eğilmez, 2023).

3.2.4.1. Akıllı Depolama

Depolama, örgütsel performansı artırmak için rekabetçi bir strateji olarak modern tedarik zincirlerinin en önemli unsurlarından biri olmuştur. Deponun rolü, müşteri memnuniyeti ve tedarik zincirinin görünürlüğüne direkt katkısı ile daha da önem kazanmıştır. Rekabetçi pazar koşulları ve dinamik müşteri taleplerini, karmaşıklıkları ve düşük verimlilikleri nedeniyle geleneksel depo yönetimleri ile karşılamak zor olmuştur. Depolama bağlamında dördüncü sanayi devriminin bir sonucu olarak, geleneksel lojistik sistemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için tüm dünyada Akıllı lojistik ve Akıllı depo konseptleri gelişmektedir (Karunarathna ve diğ., 2019). Bu akıllı konsept otomasyonun, sensör teknolojisinin, RFID ve akıllı otonom araçların bir bileşenidir.

Dijital tedarik zincirindeki bir sonraki bağlantı depo ve şirketlerin nasıl faaliyet gösterdiği ve müşterileri için değer ürettiği konusunda stratejik bir araç olmayı vaat etmektedir. Burada amaç, hemen hemen her sıradan depolama faaliyetinin otomasyonu ile verimliliği ve güvenliği arttırmaktır. Gerçekten de Endüstri 4.0 deposu mevcut emek yoğun binalarına benzememektedir. Geleceğin deposunun dönüşümü gelen lojistik ile başlar. Depo yolundaki kamyonlar, konumlarını ve varış zamanlarını, tam zamanında ve sıralı teslimatı optimize eden bir yerleştirme yuvası seçip hazırlayacak olan akıllı depo yönetim sistemine iletirler. RFID sensörleri, nelerin sağlandığını gösterir ve takip ve izleme verilerini tüm tedarik zinciri boyunca yatay olarak gönderir. Yönetim sistemi teslimat için otomatik olarak depolama alanı ayıracak ve malları doğru yerlere taşımak için uygun otonom ekipmanı atayacaktır. Deponun içinde, yönetim yazılımı, mallara ve depoya yerleştirilmiş sensörleri kullanarak envanteri gerçek zamanlı olarak sürekli güncellemektedir. Sonuçta sistem envanter almaya yardımcı olmak için, sensör verileri yoluyla malların nerede olduğunu düzenli olarak değerlendirerek ve tüm tesisin haritasını çıkararak (Schrauf ve Berttram, 2016) ve operasyonel verimliliği artırmak ve hata oranını minimize etme üzerine kuruludur.

Lojistik sektöründe RFID gibi sensör sistemleri, depolama ve perakende mağazalarda envanter yönetimini ve varlık takibini otomatikleştirmek ve ayrıca malların uçtan uca tedarik zinciri görünürlüğünü sağlamak için kullanılmaktadır. Akıllı satış mağazaları ve envanter yönetimi için hazır giyim perakendecisi Lululemon, satış ortaklarına mağaza içi envanter hakkında perakende bilgileri sağlamak için RFID teknolojisini kullanmaktadır. Şirket, bir el terminali kullanan personelin müşterilere istedikleri ürünün mağazada mevcut olup olmadığını hemen söylemesi sayesinde, sistemin envanter doğruluğunu %98'e çıkardığını iddia etmektedir (DHL, 2020a).

Depolarda stok seviyelerinin daha iyi yönetebilmesi ve zamanında teslimatı

iyileştirebilmek için üreticiler, ERP ve üretim yürütme sistemi (MES) yazılımı ile depolara otomatik güdümlü araçlar (AGV) entegre etmişlerdir. Bu akıllı sensörler ve otomasyonla çalışan araçlar minimum duruş süresini sağlamak için malzemenin üretime ve operasyonlar arasında doğru zamanda teslim edilmesini sağlayabilmektedir (Ambrosio, 2019).

Modern üretim tesislerinde ve depolarda, otonom araçlar dolaşmakta ve hammadde, parça ve bileşenleri insan müdahalesi olmadan ve sürekli değişen koşullara rağmen en iyi rotayı seçerek yerlerine taşınmaktadır. Şirketin ERP sistemine sıkıca entegre olan bu araçlar, en sonunda hangi malzemelerin üretim sürecinde herhangi bir yerde yenilenmesi gerektiğini belirleyebilmekte, depodan yükleri kaldırabilmekte, gerektiğinde bırakabilmekte ve iade edilebilir ambalajları toplayabilmektedir. Bu araçlardaki temassız sensörler ve lazer güvenlik tamponları, çalışan güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadırlar (Schrauf ve Bertram, 2016).

3.2.4.2. Akıllı Lojistik

Akıllı lojistik veya Lojistik 4.0 terimi, Endüstri 4.0'ın lojistik alanındaki özel uygulamalarına verilen isimdir (Glistau ve Machado, 2018). Son derece dinamik lojistik pazarları ve lojistik ağların karmaşıklığı yeni yöntemler, ürünler ve hizmetler gerektirmektedir. Esneklik, uyarlanabilirlik ve proaktivite gibi unsurlar önem kazanmıştır ve büyük ölçüde yeni teknolojilerin entegrasyonu ile elde edilebilmektedir. Sorun odaklı başlatılan yaklaşımlar genellikle sadece küçük gelişmelere yol açarken, teknolojiye dayalı yaklaşımlar daha radikal değişiklikler oluşturmaktadır (Uckelmann, 2008).

Nesnelerin internetinin ortaya çıkışı, lojistik alanında, aşağıdakiler gibi teknolojik değişiklikler gerektirebilecek yeni zorlukları desteklemektedir. Bu zorluklar: yüksek şeffaflık ihtiyacı (tedarik zinciri görünürlüğü) ve tedarik zincirlerinde temel doğrulardan sayılan; doğru ürünlerin, doğru zaman ve yerde, doğru miktar ve maliyetle müşteriye ulaştırılması sorunudur (Başkale ve diğ., 2017). Ürünleri müşteriye istenen zaman ve kalitede doğru şartlarda ulaşması ancak bilgi akışının mükemmel ve eksiksiz olmasıyla olabilecektir ki bu da, ürün akışı kadar bilgi akışının birlikte ahenk içinde yürütülmesiyle mümkündür (Yılmaz ve Bilgin, 2019).

Akıllı lojistik ile birbirine sistemsel bağlı araçlar, teslimat tarihlerini korumak veya beklenmedik olayların etkisini en aza indirmek için şirketlerin rota içi gönderileri ayarlamasına ve gerçek zamanlı hava ve trafik koşullarına göre teslimat rotalarını optimize etmesine olanak tanımaktadır. Bu teknoloji ayrıca ürün kalitesini garanti etmek için dondurucu kabı sıcaklıkları gibi koşulların gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve takibini de mümkün

kılmaktadır. Bu model, telematik ve sensör verilerini toplayarak, haritalandırarak, depolayarak ve analiz ederek verimliliği artırmakta malları daha hızlı almakta ve filo şeffaflığını artırmaktadır. Şimdi paketleri doğrudan müşterinin kapısına bırakabilen otomatik insansız hava araçları birçok ürün için teslimat sürecinde devrim yapmak için test edilmektedir (Ambrosio, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015)

Pundir ve diğ. (2019)'a göre; teknolojilerin işlevsel hizmetleri, lojistik ağının aşağıdaki özelliklerini geliştirmesine yardımcı olabilmektedir:

Görünürlük; Modern tedarik zinciri görünürlük hizmetleri, birden fazla veri kaynağından izole edilmiş eylemleri çekerek bunları tek bir sisteme entegre edebilir. Bu genel olarak verinin genel erişilebilirliğini artırabilir,

Analitik; Bütünleşik veriler durumsal farkındalık oluşturmak için önceden tanımlanmış kurallara göre işlenmektedir. Gelişmiş hizmetler, uygulamalı durum bilgisi sağlamak için iş zekâsıyla verileri iyileştirebilir,

Rotalama; Gönderilerin yolculuk planları, herhangi bir zamanda beklenen varış zamanı hakkında bilgi sağlayacak şekilde, ayarlanabilir,

İzleme ve Takip; Tüm kaynaklar ve paydaş nerede ve ne zaman kullanıldıklarını izlemek için uygun fırsatlar ve kontrol imkânı verebilir,

Operasyonel mükemmellik: Maliyetleri düşürmek ve güvenilirliği artırmak için sürekli optimizasyon yapılabilir.

3.2.5. Akıllı Müşteri Hizmetleri ve İade Yönetimi

Müşteri ilişkileri yönetimi süreci, müşteriyle ilişkinin nasıl geliştirilip sürdürüleceğine ilişkin yapıyı ifade eder. Yönetim, kuruluşun iş misyonunun bir parçası olarak hedeflenen kilit müşterileri ve müşteri gruplarını tanımlamalıdır. Müşteri ekipleri, süreçleri iyileştirmek ve talep değişkenliğini ve katma değeri olmayan faaliyetleri ortadan kaldırmak için süreçleri izlemeli ve analiz etmelidir. Performans raporları, bireysel müşterilerin karlılığını ve firmanın bu müşteriler üzerindeki mali etkisini ölçmek için tasarlanmalıdır. Veriye dayalı olarak kuruluşun şimdiki ve gelecekteki başarısının anahtarı olan müşteri segmentleri belirlenmeli ve pazarlama stratejileri devamlı gözden geçirilmelidir (Croxtton ve diğ., 2001).

Endüstri 4.0'a yavaş adapte olan şirketler, sayıları gittikçe artan ve dijital olarak daha eğilimli rakiplerle karşı karşıyadır. Spor, sağlıklı yaşam ve modayı birleştiren veya ürünlerini nasıl kullandığını öğrenmesine yardımcı olan platformlar gibi teknolojiyi iyi kullanan, ticaretin kurallarını benimsemiş, müşteriyi daha iyi anlayan ve eğilimlerini bilen bu girişimciler, yıkılması güç sanal pazar kalelerini oluştururken geleneksel tedarik zincirini de değişime zorlamaktadır. Şirketlerin bu tehdidi ciddiye alması ve birden fazla kanal ve uçtan uca teknoloji ile kendi benzersiz iş modellerini geliştirmeye başlaması ya da kendilerini gelir, müşteri ve

kazanç büyümesinde geride bırakacaklarını düşünmeleri gerekmektedir (Dutzler ve diğ., 2016).

Pwc (2016), Global Industry 4.0 Survey araştırmasına göre, Endüstri 4.0 geliştikçe, piyasaya sürülen geleneksel ürün modeli kaybolmakta ve "müşteri çekme", müşterilerle daha işbirlikçi bir ilişki haline gelmektedir. Endüstri 4.0, müşteri ilişkisini sürdürme ve büyütme fırsatlarını büyük ölçüde zenginleştirmekte, ancak müşteri için mücadeleyi daha yoğun hale getirmektedir. Bunları sağlayan iki önemli kriter ise;

- Biri, birlikte yapma ve özelleştirme yoluyla müşteri ilişkilerini derinleştirme
- Diğeri, müşteri hizmetlerini ve yanıt hızını artırmak için verileri kullanmadır.

Ürünlerin müşterilerin elinde bulduklarında gerçek yaşam koşullarında nasıl kullanıldığını ve performans gösterdiğini anlamak, ürün yükseltmeleri, büyütme veya eklentiler hakkında bilinçli mühendislik kararları vermek için çok önemlidir. IoT ve gömülü sensörler, ürünlerin sahadaki performansı hakkında sürekli geri bildirim sağlayabilir. Veriler, kullanıma müdahale etmeden arka planda ve gerçek zamanlı olarak toplanabilir. Bu veriler, müşteri gereksinimlerini daha iyi anlamayı kolaylaştırabilir ve öngörü ve müdahaleyi kolaylaştırabilir. İade oranını azaltmak ve müşteri memnuniyetini artırmak için uzaktan bağlantı ve müdahale oldukça etkin bir çözüm olabilir. Hizmet anlaşmaları ve uzaktan sorun giderme, ürün performansını modelleyebilen ve donanım veya yazılım sorunlarını tanımlayabilen (veya hatta tahmin edebilen) tahmini analitik, makine öğrenimi ve IoT ile beslenen sanal dijital ikizler aracılığıyla geliştirilebilir (Ambrosio, 2019).

Odak müşteriye sürekli değer sağlamaya yöneldikçe, ürün sonradan ziyade bu değeri vermenin bir aracı haline gelmektedir. Şirketler, ürün ihtiyaçlarını ve performansını öğrenmek için müşterilere güvenmek yerine, ürünü müşterilerin ihtiyaçları ve memnuniyetine açılan bir pencere olarak görmeye başlamıştır. Müşterilerin ürünleri nasıl kullandıkları konusunda tam şeffaflığa sahip olmak, şirketlerin tamamen yeni iş modelleri geliştirmesine yardımcı olmaktadır. Ürünler daha büyük sistemlerin bileşenleri haline geldikçe, müşteri değer teklifi genişlemektedir. Ürün kalitesi ve özelliklerinin, ilgili ürünlerle birlikte çalışabilirlik ile desteklenmesi gerekmektedir. Şirketler bu yeni dünyada nerede oynayacaklarına karar vermelidir: Ürün düzeyinde mi rekabet edecekler; yakından bağlantılı ürünlerden oluşan bir aile sunarak mı; yoksa ilgili tüm ürünleri kesen bir platform oluşturarak mı; ya da üçünü de yaparak (Porter ve Heppelmann, 2015) işletmeler yeni rekabet stratejileri oluşturabilirler.

3.3. Dijital Tedarik Zinciri Beklenti ve Faydalar

Küresel anlamda rekabet edebilmenin ve değer zinciri ağları ile kalkınmanın birincil yönü kaynakların verimli yönetimidir. Yani malzeme, enerji ve insan kaynaklarının verimli kullanılmasıdır. Teknoloji destekli bu yeni değer oluşturma ağları, sorunlara ve arızalara daha hızlı yanıt vermek ve böylece küresel optimizasyonu kolaylaştırmak için entegre şeffaflık ve yüksek esneklik seviyelerine izin veren gerçek zamanlı optimize ağlardır. Ağa ve birbirine bağlı üretim sistemleri gibi CPS de tedarik lojistiğinden depolama, üretim, pazarlama ve dağıtım lojistiğine kadar izleme sonrası hizmetlere kadar bir ağ sağlamaktadır. Herhangi bir parça veya ürünün tüm verileri kaydedilir ve her zaman kullanılabilir, böylece sürekli izlenebilirlik sağlanabilir. Bu, tüm süreç zinciri boyunca şeffaflık ve esneklik sağlamaktadır. Alıcıya özgü yaklaşımın adaptasyonu sadece üretimde değil, aynı zamanda kalite, zaman, risk, fiyat ve çevresel sürdürülebilirlik gibi faktörlerin gerçek zamanlı olarak dinamik olarak yönetilmesine izin veren geliştirme, sipariş, üretim planlama, sipariş hazırlama, dağıtım ve değer zincirinin tüm aşamalarında mümkündür (Nagy ve diğ., 2018).

Şirketlerin yatırımda acele etmenlerinin arkasındaki nedenleri görmek kolaydır. Tedarik zinciri uzmanları dijitalleşmenin hem üst hem de alt çizgilere önemli ekonomik faydalar getirmesini beklemektedir (Schrauf ve Bertram, 2016).

Pwc (2016), Global Industry 4.0 Survey araştırmasına göre, değişime neden olan üç şey:

- Yıllık dijital gelirin ortalama % 2,9 artması,
- Maliyetlerin yıllık ortalama % 3,6 oranında azalması,
- Ayrıca, dijital teknolojiler daha kısa operasyonel teslim süreleri, daha yüksek varlık kullanımı ve maksimum ürün kalitesi sağlayacağı öngörülmüştür.

Pwc (2019), “Digital Product Development 2025” araştırmasında, dijital ürün geliştirmenin:

- Verimliliği ve performansı %19 artırabileceği,
- Ürünü pazara sunma süresini %17 azaltabileceğini ve
- Üretim maliyetlerini %13 düşürebileceğini iddia edilmektedir.

Bu çalışmada, literatürden ve araştırma raporlarından faydalanılarak Dijital Tedarik Zinciri’nden elde edilmesi düşünülen beklenti ve faydalar Tablo 3.3’de tablo halinde derlenip verilmiştir.

Tablo 3.3. Dijital Tedarik Zincirinden Elde Edilebilecek Beklenti ve Faydalar

DTZ Beklenti	İş süreci/Fayda	Kaynak
Maliyetlerde düşüş	İzleme ve takip sistemleri ile gecikmeler, hatalar, zayıflar ve arızalar öngörülebilir ve önlenebilir. Bu da maliyetler ciddi ölçüde azaltılabilir. İş yapmayı kolaylaştırıcı robotlar, ERP sistemlerine entegre yazılımlar ve süreç iyileştirici çözümler de maliyetleri düşürebilir. Blockchain ile paydaşlar arasındaki işlemleri yönetmek için üçüncü taraf hizmet sağlayıcısının kaldırılması, maliyet tasarrufu için fırsatlar sağlayabilir.	IDC, 2020; DHL, 2020b; European Commission, 2017; Pwc, 2016; EPRS, 2015; Deloitte, 2014; Lyons, 2019; Israelit ve diğ., 2018; Pundir ve diğ., 2019; Müller ve Voigt, 2018)
İş yükünde azalma	İnsan müdahalesini bile otomatikleştirecek kadar akıllı hale gelen makine öğrenme algoritmaları, yöneticilerin ve diğer paydaşların günlük olarak daha akıllı kararlar vermelerine izin vermektedir. Bu algoritmalar, geçmiş bilgilerin analizi sonucu iş önerileri ve kanıtlanmış rutin çözümler sunarak, iş yüklerini azaltabilir.	Schrauf ve Berttram, 2016; Müller ve Voigt, 2018; Barik, 2018; Porter ve Heppelmann, 2015
Süreçlerde verimlilik	Tasarla-ölç-izle-analiz et- yeniden değerlendir- keşfet ve otomatikleştir süreç verimliliği için anahtar terimlerdir. Sistem ve paydaş entegrasyonu, beraber çalışabilirlik, izleme verisi ve uzaktan kontrol kabiliyetinin kombinasyonu iç süreç verimliliği optimizasyonu için yeni fırsatlar vermektedir. Tüm süreç, herhangi bir iş yerinden paydaş için basit ve erişilebilir hale gelmektedir. Tüm işlemlerin gerçek zamanlı görünürlüğü ve erişim kolaylığı, süreçlerin verimliliğini artırabilir.	Abonyi ve Miszlivetz, 2016; EPRS, 2015; IFS, 2017; Gartner, 2019; IDC, 2020, DHL, 2020b; DHL, 2018; Schrauf ve Berttram, 2016; Pundir ve diğ., 2019; DHL, 2020a
İyileştirilmiş üretkenlik	İzleme ve takip sistemleri ile önleyici bakım, kök sorun bulma ve çözme becerisi. siber fiziksel sistemler ve akıllı fabrika ile işletmeler iyileştirilmiş üretkenlik elde edebilir.	DHL, 2020b; IFS, 2017; DHL, 2018; EPRS, 2015; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Schrauf ve Berttram, 2016

Tablo 3.3. devam ediyor.

<p>Artan yanıt hızı ve Çeviklik</p>	<p>Paydaşlar ve müşterilerin için zincirdeki en önemli kriterlerden biri makul fiyatla beraber hız ve zamanında teslimattır. Operasyonel faaliyetlerdeki çeviklik hızın kamçısıdır. Otomasyon kullanımı ile rutinleştirilmiş işler ve karar mekanizması desteği ile elde edilen çevik süreç yönetimi, işletmelere vaatlerine uyma kolaylığı sağlayabilir.</p>	<p>Pwc, 2016; EPRS, 201; Deloitte, 2014; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Schrauf ve Bertram, 2016; Israelit, vedig., 2018; Müller ve Voigt, 2018</p>
<p>İş süreçlerinde artırılmış esneklik</p>	<p>Yeni gereksinimler nedeniyle, ürün geliştirmede, özellikle üretimde daha yüksek esneklik gereklidir. 3D baskı esnekliği artırmada faydalı çözümler sunmaktadır. Tedarik zincirlerinde oluşan sorunlar akıllı sensörlerden gelen verilere dayanılarak, iş zekâsı ile anında belirlenebilir ve tüm zamanların verilerinden faydalanıp yapay zekâ destekli bir çözüm modellenerek tepki verilebilir.</p>	<p>European Commission, 2017; DHL, 2018; Deloitte, 2014; IDC, 2020; Pwc, 2016; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Israelit ve dig.,2018; Nagy ve dig., 2018; Lasi ve Kemper, 2014; Müller ve Voigt, 2018;</p>
<p>Kaynak verimliliği</p>	<p>Kaynak kıtlığı ve buna bağlı olarak kaynak fiyatlarındaki artış ve ekolojik yönler bağlamında sosyal değişim, endüstriyel bağlamlarda sürdürülebilirliğe daha yoğun bir odaklanmayı gerektirmektedir. Amaç, ekonomik ve ekolojik bir verimlilik artışıdır. Optimize edilmiş sistemler hata ve israfı önleyerek malzeme, enerji ve insan kaynaklarının daha verimli ve etkin kullanılmasına yardımcı olabilir.</p>	<p>IDC, 2020; Nagy ve dig., 2018; Lyons, 2019; Pwc, 2016; Lasi, H., ve Kemper, H. G., 2014), Pundir ve dig., 2019</p>
<p>Gerçek zamanlı envanter ve Stok kontrol yönetimi</p>	<p>ERP sistemlerine entegre akıllı sensörler ve takip sistemleri ile tedarikçiler, üreticiler ve müşterilerin eş zamanlı görebildiği stok düzeylerinin izlenebildiği daha verimli depo yönetimi sunabilir.</p>	<p>Pwc, 2016; Schrauf ve Bertram, 2016; Israelit ve dig.,2018; Müller ve Voigt, 2018; Pundir ve dig., 2019</p>
<p>Hızlanan inovasyon</p>	<p>Ürün geliştirme süreleri ve yenilik dönemleri kısaltılmalıdır. Yüksek inovasyon yeteneği, birçok işletme için ürünü pazara sunma süresini önemli bir başarı faktörü haline getirmiştir.</p>	<p>Lasi ve Kemper, 2014; Accenture, 2020</p>

Tablo 3.3. devam ediyor.

<p>Operasyonel teslim sürelerinde kısalma</p>	<p>3D yazıcılar gibi dağıtılmış küçük fabrikalar üretim merkezlerini tüketiciye yakınlaştırmaktadır. Ayrıca veriye dayalı analizler, optimize edilmiş rotalama ve simüle edilmiş sistemler sayesinde operasyonel verimlilik hatasız işleyerek teslim sürelerindeki aksaklıkların önüne geçilebilir.</p>	<p>Pwc, 2016; Nagy ve diğ., 2018; Müller ve Voigt, 2018; Schrauf ve Bertram, 2016; Pundir ve diğ., 2019</p>
<p>Doğru talep tahmini</p>	<p>İzleme ve takip sistemleriyle kullanılan ürün ömrünü ve müşteri taleplerini görebilen, veriye dayalı analiz ve yapay zekâ destekli algoritmalar ile talep dalgalanmalarını öngören akıllı öğrenen makinalar ve sistemler sayesinde daha doğru talep tahmini yapılabilir.</p>	<p>Israelit ve diğ.,2018; Müller ve Voigt, 2018; Pundir ve diğ., 2019</p>
<p>Maksimum ürün kalitesi</p>	<p>Sorunların kök sebeplerinin tespiti ile doğrulayıcı çözümler, müşteri kullanımı sırasındaki takip ile önleyici bakım ve uzaktan bağlantı ve destek ile ürün ve hizmet kalitesi artırılabilir.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; Pwc, 2016; Nagy ve diğ., 2018</p>
<p>Vaatlere uyma kolaylığı</p>	<p>İzleme ve takip sistemlerinden elde edilen büyük veri analitiği ile müşteri davranışlarını daha rahat anlamayı ve talep değişikliklerini öngören yapay zekâ destekli sistemler müşterilere verilen vaatlere uyma kolaylığı sağlayabilir.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; European Commission, 2017; Bitkom, 2015; Schröder ve diğ., 2014; Israelit ve diğ.,2018; Nagy ve diğ., 2018</p>
<p>İzleme ve takip sistemleri ile Gerçek zamanlı görünürlük</p>	<p>Ürünler kendi durum ve ortamlarını izleyebilir ve raporlayabilir, performansları ve kullanımları hakkında önceden mevcut olmayan bilgiler elde etmeye yardımcı olmaktadır. Ürünün bakımının ne zaman yapılması gerektiğini bildirebilir. Talep dalgalanmalarını öngören veriye dayalı analiz ve yapay zekâ destekli sistemler ve akıllı sensörler, öğrenen makinalar ile gerçek zamanlı bilgi sunmaktadır. Görünürlük süreçlerde kontrolü kolaylaştırarak riski minimize edebilir.</p>	<p>European Commission, 2017; DHL, 2018; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; Pwc, 2016; Schrauf ve Bertram, 2016; Israelit ve diğ.,2018; Nagy ve diğ., 2018; Zhu ve diğ., 2020, s.276), Pundir ve diğ., 2019; DHL, 2020</p>

Tablo 3.3. devam ediyor.

<p>Şeffaflık ve Güven</p>	<p>Blokchain şeffaflık ve güveni garanti edebilen bir teknolojidir. Blokchain beş yetenek içerir: dağıtılmış veri, değişmezlik, ademi merkezizetçilik, şifreleme ve belirteçlemedir. Bu kriterler bilgi şeffaflığını garanti ederken, zincir boyunca şeffaf bilgi paylaşımı da güveni tesis edecektir. Örneğin, tarladan çatala sloganı ile müşteriler ürünün ayak izini ve tüm üretim değişkenlerini şeffaf bir şekilde güvenle takip edebilir.</p>	<p>Gardner, 2020; DHL, 2018; Hompel ve Kerner, 2015; EPRS, 2015; European Commision, 2017; Pwc, 2016; Nagy ve diğ., 2018; Schrauf ve Bertram, 2016; Israelit ve diğ.,2018; Pundir ve diğ., 2019</p>
<p>Veri sahipliği ve Güvenli bilgi paylaşımı</p>	<p>Blokchain sisteminin sunmuş olduğu ademi merkezizetçi değiştirilemez kriptolu şeffaf veri paylaşımı ile veri sahipliği ve güven sorunu büyük ölçüde ortadan kalkarak evrak işlerinde ve bürokraside azalma sağlanacaktır. Dağıtılmış bulut ise kullanıcılarına şeffaflık ve izlemeyle birlikte verileri güvenli bir biçimde aktarma kesintilerden ve felaketlerden kurtarma hizmetlerini sağlamaktadır.</p>	<p>EPRS, 2015; Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; Schröder ve diğ., 2014; Fourtané, 2019; IDC, 2020; Pwc, 2016; Zhu ve diğ., 2020; Pundir ve diğ., 2019; Müller ve Voigt, 2018;</p>
<p>Global bağlantı</p>	<p>Karmaşık ürün işlemleri çok sayıda uzaktan erişim seçeneği ile kullanıcılar tarafından kontrol edilebilir. Bu, kullanıcılara uzaktan bağlantı ile sorun çözüme, yazılım güncelleme ile ürünlerin işlevini, performansını artırma, özelleştirme ve onları tehlikeli veya ulaşılması zor ortamlarda çalıştırma konusunda benzeri görülmemiş bir yetenek vermektedir.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; Rojko, 2017; Bitkom, 2015; European Commision, 2017; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Gartner, 2020,</p>
<p>Öğrenebilme ve Özerklik (otonom)</p>	<p>İzleme verileri, uzaktan kumanda ve optimizasyon algoritmalarının kombinasyonu özerkliğe izin verir. Ürünler öğrenebilir, çevreye ve kullanıcı tercihlerine uyum sağlayabilir, hizmet verebilir ve kendi başlarına çalışabilmektedirler. Akıllı, ağa bağlı endüstriyel makineler, işi özerk bir şekilde koordine ve optimize etmektedirler.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; Hompel ve Kerner, 2015; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Gartner, 2020; DHL, 2020a</p>

Tablo 3.3. devam ediyor.

Ölçeklenebilirlik	Üretimden ziyade yazılımsal farklılaşmalar öne çıkmaktadır. Aynı ürünün yazılım desteği ile farklı türlerini geliştirmek ve opsiyonlar ekleyerek ölçeklendirmek mümkündür. Kişiselleştirilmiş veya kısıtlandırılmış durumlar yazılımla daha kolaydır.	European Commission, 2017; Gartner, 2020
Zenginleştirilmiş pazarlama	Yeni ürün ve / veya hizmetlerin geliştirilmesi için bir güç haline gelebilen, müşterilerle temas halinde olan bir taşımacılık ve lojistik hizmeti, artan hız, yeni müşteri deneyimleri ve platformlarla daha da etkilidir.	Pwc, 2016; European Commission, 2017; Deloitte, 2014; Zhu ve diğ., 2020
Ademi merkezîyetçilik/ Notersiz akıllı sözleşmeler	Rekabet ortamındaki koşullarla başa çıkmak için daha hızlı karar verme prosedürleri gereklidir. Bunun için organizasyonel hiyerarşilerin azaltılması gerekmektedir. Blok zinciri gibi teknolojiler sayesinde değiştirilemez, veri bütünlüğümü koruyabilen ve şeffaf sözleşmelerle aracısız, hızlı ve ekonomik hizmetler sunmaktadır.	Gardner, 2019; Lyons, 2019; Lasi ve Kemper, 2014
Kitlesel özelleştirme	Alıcıların ticaretin koşullarını tanımladığı günümüzde, bu eğilim, ürünlerin artan bir şekilde kişiselleştirilmesine ve bireysel ürünlere yol açmaktadır. Akıllı bir fabrikada üretim süreçleri gerçek kitle özelleştirmesini mümkün kılmaktadır. Siber-fiziksel sistemlerin akıllı otomasyonu klasik hiyerarşik otomasyon sistemlerinin aksine kendi kendine organize olan siber fiziksel üretim sistemine yeniden düzenlenerek esnek seri özel üretim sağlamaktadır.	Deloitte, 2014; EPRS, 2015; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Rojko, 2017; Lasi ve Kemper, 2014; Gartner, 2020
Öngörülebilirlik /Proaktif hizmet	Akıllı ürünler, kullanım ömürleri / uygulamaları da dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca kendi durumlarını izleyebilir. Müşterilere ürün ömürleri ve olası problemler hakkında ikazda ulunabilir. Ayrıca üretim hattında daha büyük sistemlere (örneğin elektrik şebekelerindeki güç dönüştürücüler gibi) gömülü ürünler için özellikle değerli olan proaktif, koşul temelli bakımı mümkün kılmaktadır.	Israelit ve diğ., 2018; Rojko, 2017; Barik, 2018; Uckelmann, 2008; SAP, 2019; Porter ve Heppelmann, 2015; DHL, 2020

Tablo 3.3. devam ediyor.

<p>Veriye dayalı müşteri değeri</p>	<p>Müşteri odaklı performans yönetimi göstergeleri, öncelikle müşteri için değer oluşturmayı ölçmek üzere yeniden gözden geçirilmelidir. Tüm süreçlerin merkezindeki müşteri için yeni deneyimler sunmak için tanımak ve kişiselleştirilmiş hizmet vermek için müşteri verilerinden yararlanılmalıdır.</p>	<p>Pwc, 2016; European Commission, 2017; IDC, 2020; ; Deloitte, 2014; Schrauf, ve Bertram, 2016; Porter ve Heppelmann, 2015</p>
<p>Akıllı ürün ve hizmetler</p>	<p>Akıllı ürünler çevrelerini öğrenebilir ve ezberleyebilir, kendi hizmet ihtiyaçlarını teşhis edebilir ve kullanıcılarının ihtiyaçlarına uyum sağlayabilirler. İnsanlar için zor veya tehlikeli yerlerde çalışabilirler. Akıllı ürünler ayrıca kontrol ve işleme yeteneklerine sahiptir. Böylece lojistik yollarını üretim yoluyla kontrol edebilir ve hatta onları ilgilendiren üretim iş akışını kontrol edebilir / optimize edebilirler.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; Abonyi ve Miszlivetz, 2016; Zhu ve diğ., 2020; Tjahjono ve diğ., 2017</p>
<p>Artan çok kanallı müşteri etkileşimi</p>	<p>Büyük veri teknolojisi ve analizi satın alma tahminlerinin ve hizmet kalitesinin daha iyi yönetilmesine izin vermektedir. Müşteri davranışları ve satın alma alışkanlıklarının analizi talep dalgalanmalarını doğru tahmin etmek için tüketici davranışıyla bağlantılı çok sayıda parametreyi analiz etmeyi / izlemeyi sağlamaktadır.</p>	<p>IDC, 2020; European Commission, 2017; Schrauf ve Bertram, 2016; Israelit ve diğ., 2018; Zhu ve diğ., 2020; Gartner, 2020, Porter ve Heppelmann, 2015</p>
<p>İnovatif servis hizmeti</p>	<p>Daha önce endüstriyel ürünle ilişkilendirilen hizmetlerin satışı ilk hedef haline gelmiştir. Bu, örneğin ürün sahibini, kalite izleme kriterlerini vb. değiştirerek tüm değer oluşturma zincirini ve ilgili tedarik zincirini dönüştürmektedir.</p>	<p>Porter ve Heppelmann, 2015; European Commission, 2017; Zhu ve diğ., 2020</p>
<p>Güvenlik</p>	<p>Yapay zekâ destekli sistemler sayesinde güvenlik savunması geliştirebilir. Saldırıları öngörülebilir, kalıpları anlayabilir, saldırıları ortaya çıkarmak ve siber güvenlik süreçlerinin parçalarını otomatik kontrol edebilir, izinsiz kullanımları tespit edebilir, kimlik tespiti yapabilir ve kendi başına kötüye kullanımı engellenebilir.</p>	<p>Gartner, 2019; EPRS, 2015; IDC, 2020; Gartner, 2020; Müller ve Voigt, 2018; Porter ve Heppelmann, 2015</p>

Tablo 3.3. devam ediyor.

<p>Güven /Güvenilirlik</p>	<p>Güvenilirlik, zamanında sevkiyat, izleme ve takip, çeviklik gibi müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyecek performans alanları tedarik zinciri için yüksek öneme sahiptir. Tüm teknolojiler güvenilirliğin tesisi için fayda üretmektedir.</p>	<p>Gartner, 2019; Pwc&TEDAR, 2019; OECD, 2018</p>
<p>Beceri geliştirme ve Personel Güçlendirme</p>	<p>Personelin bilişsel ve fiziksel deneyimlerini arttırmak için teknoloji ve bilimin kullanılmasıdır. Fiziksel güçlendirme: Giyilebilir teknolojiler, artırılmış gerçeklik vb. Bilişsel güçlendirme ise: çalışan beceri seti için analitik düşünme ve daha iyi kararlar verme yeteneğini geliştiren, karar destek, simülasyon ve yapay zekâ vb. teknolojilerden yararlanılabilir.</p>	<p>Gartner, 2019; Müller ve Voigt, 2018; Porter ve Heppelmann, 2015, DHL, 2020b</p>
<p>Evrak işlerinde ve hatalarda azalma</p>	<p>Uçtan uca süreçler için dijitalleştirme, evrak işlerini sipariş vermeden sipariş teslim irsaliyesi, faturalar, ödeme faturaları vs.'ye doğru değiştirmektedir. Bu, el ile yapılan hataları ve uygun faturaların varlık transferine bağlanmasının karmaşıklığını azaltabilir. Veri depolama, herhangi bir karışıklığı veya sorunu gidermek için önceki günlükleri görüntüleme erişimi sağlamaktadır.</p>	<p>Pundir ve diğ., 2019; Müller ve Voigt, 2018; Barik, 2018</p>
<p>Çevre dostu, Yenilenebilir enerji entegrasyonu</p>	<p>Çevre dostu, yenilenebilir, karbondan arındırılmış, ucuz maliyetli enerjilerin sistemlere entegrasyonunu ifade eder. Otonom lojistik, trafik akışını hızlandırabilir ve yollardaki tıkanıklığı ve kazaları azaltabilir.</p>	<p>Lyons, 2019; Schrauf ve Bertram, 2016; Müller ve Voigt, 2018; Nagy ve diğ., 2018; Tsugawa ve diğ., 2016</p>
<p>Geri dönüşüm ekosistemi</p>	<p>Global izlenebilirlik ile işletmeler ürünün tüm yaşam döngüsünü görebilir, ürünlerin ve bileşenlerinin dönüştürülmesi sürecine kadarki ürün yaşam döngüsünün izleyebilir ve kontrol altında tutarak doğaya daha az zarar verirken ekonomik katkılar elde edebilir.</p>	<p>European Commission, 2017; Tjahjono ve diğ., 2017; Yılmaz ve Bilgin, 2019; Crawford, 2019; Nagy ve diğ., 2018</p>

Pwc (2016) Global Industry 4.0 Survey, araştırmasına göre; “Endüstri 4.0 ile tedarik zincirinde daha düşük maliyet ve daha yüksek verimlilik sunabilecek alanlar” şu şekilde sıralanmıştır:

- Büyük veri analitiğine dayalı gerçek zamanlı kalite kontrolü,

- Modüler, esnek ve müşteriye özel üretim konseptleri,
- Veri analizi ile süreç ve ürün varyansı, artırılmış gerçeklik ve optimizasyonla gerçek zamanlı görünürlük,
- Onarım ve bakım programlarını optimize etmek ve varlık çalışma süresini iyileştirmek için tahmini algoritmalar kullanarak temel varlıklarda öngörülü bakım,
- Daha iyi makine kullanımı ve daha hızlı üretim süreleri için sensörlerden Makine işletim sistemlerine kadar gerçek zamanlı üretim planlamasına dikey entegrasyon,
- Daha iyi stok performansı ve daha az lojistik için yatay entegrasyonun yanı sıra ürünlerin takip ve izlenebilmesi,
- İnsan kaynaklarının daha akıllı kullanımı ve daha yüksek operasyon hızı için süreçlerin dijitalleştirilmesi ve otomasyonu,
- Uygulama optimizasyonu için bulut tabanlı planlama platformlarını kullanarak sistem tabanlı, gerçek zamanlı uçtan uca planlama ve yatay iş birliği ve
- Temel ürünlerin pazar payındaki artıştan artan ölçek ekonomisidir.

Pwc&TEDAR, (2019)'çalışmasında, Türkiye'deki 13 farklı sektörden toplam 67 katılımcı ile yaptığı anket araştırmasında, ülkemiz Tedarik Zinciri Yönetimi yapısını incelemiştir. Araştırmanın önemli noktaları aşağıda özetlenmiştir:

- Planlama ve satınalma fonksiyonları özkaynaklar ile stratejik şekilde şirket içinde yönetilirken, nakliye ve depolama gibi fonksiyonlarda ise dış kaynak kullanımı ile masrafların düşürülmesi yaygındır.
- Güvenilirlik, zamanında sevkiyat ve çeviklik gibi müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyecek performans alanları tedarik zinciri liderleri için yüksek öneme sahiptir.
- Firmaların kendilerini eksik gördükleri alanlar incelendiğinde, tedarik zincirinde çevikliği artırıcı ve maliyeti düşürücü sistem ve süreç odaklı yatırımların ağırlığını koruması beklenmektedir.
- Tedarik zinciri inisiyatiflerinde dijitalleşme ön plana çıkmaktadır. Tedarik zincirinde dijitalleşme süreci üretim ve stok/envanter yönetimi gibi saha operasyonlarından başlamaktadır.
- Ekonomik belirsizlikler tedarik zinciri organizasyonunu etkileyecek en önemli konu olarak görülmektedir. Ayrıca, özellikle büyük firmalar yıkıcı teknolojileri risk alanı olarak görmektedir.

- Ankete katılan firmaların %18'inde risk yönetimi reaktif olarak yapılmaktadır. Bu grup ağırlıklı olarak yerli sermayeye sahip firmalardan oluşmaktadır (Pwc, 2019).

Siegel ve Booth (2020) tedarik zinciri araştırma raporuna göre anket katılımcıları; beklenen en büyük faydaların, teknoloji uygulamalarından değil, çevik planlama ve performans yönetimi ile çevik bir yetenek modelinden geldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmaya göre; sağlık alanının, kamu sektöründen çok daha çevik olduğu ve coğrafi olarak da Kuzey Amerika lider iken, Asya-Pasifik bölgesi en son sırada yer almıştır.

McKinsey ve Dünya Ekonomik Forumu'ndan bir araştırmacı ekibi raporunda; en iyi şirketlerin şu anda sadece fabrikaları değil tüm tedarik zincirlerini yönetmek ve koordine etmek için bu teknikleri kullandığını belirtmektedir. Örneğin, yarı iletken üreticisi Infineon, üretim operasyonlarında IoT'yi malzeme maliyetlerini %10 azaltmak için kullanmıştır. Fabrikaları ve alt yüklenici tedarikçileri arasındaki dijital bağlantılar, kalite sorunlarına tepki vermek için gereken süreyi yarıya indirmiştir. Kimya şirketi Henkel, tüm tesislerini ve dağıtım merkezlerini tek bir bulut tabanlı dijital ağa bağlamış; bu yaklaşımın verimliliği dönüştürmesine, enerji tüketimini azaltmasına ve tahmin doğruluğunu %20 artırmasına yardımcı olduğunu söylemektedir (DHL, 2020b).

Israelit ve diğ. (2018)'de şirket yöneticileri ile yapmış olduğu ankete göre ise; yöneticiler, tedarik zincirlerinin oldukça reaktif olduğunu ve uçtan uca görünürlük ve esnekliğe sahip olmadığını söylemişlerdir. Dolayısı ile çevik ve esnek olmayan ağlar daha yüksek işletme maliyetlerine ve kaçırılmış çözüm fırsatlarına yol açabilmekte; aynı zamanda stratejik düşünmek ve harekete geçmek için gereken zamanı uzatabilmektedir. Ankete göre, en büyük zorluklardan biri, performans standartlarının nasıl değiştiği ve müşterilerin gerçekten ne istediği hakkında kapsamlı bir görüş oluşturmak olmuştur. Bu bilgi olmadan şirketler üstünlük riski altındadır. Ayrıca, araştırma CEO'ların üçte birinden fazlasının tedarik zincirlerinin talep dalgalanmalarını tahmin etme yeteneğinden fazlasıyla emin olduklarını göstermektedir. CEO'ların sezgisel bu iddialarının riski büyüktür. Bu önyargı pahalı son dakika siparişlerinden daha yüksek işletme maliyetleri, fazla stok birikimi, gelir fırsatlarının kaçırılması ve etkisiz yeni ürün piyasalarından satışların kaybedilmesi gibi kötü senaryolar doğurabilmektedir.

3.4. Tedarik Zinciri ile Dijital Tedarik Zincirinin Karşılaştırılması

Başarılı şirketler, hızlı bir şekilde uzun vadeli tedarik zinciri hedeflerine ulaşmada esneklik sağlayacak somut girişimlerle kısa vadeli bir yol haritası

oluşturmaktadır. Değişim, büyümeyi hızlandırmak için yeni bir pazar stratejisinin bir parçasıdır, ancak şirketlerin son derece özelleştirilmiş tedarik zincirine zarar verebilir. Yönetim, yeni tedarik zincirinin bir dizi yeni iş modelini etkinleştirebilmesini ve rakip taleplerini dengeleyebilmesini sağlamalıdır. Bu, temel BT yeteneklerine yatırım yapmak ve yeni işlevler arası iş süreçlerini desteklemek anlamına gelir. Örneğin, satış gücü bir müşteri için bir ürünü özelleştirmeyi kabul ederse, tedarik zincirinin özel yapılandırılmayı tasarımıyla doğrulayabilmesi, iç ve dış parçaların teslim süresini takip edebilmesi, bu özel ürünün teslimat aşamasına kadarki görünürlüğü gerektirir. Tüm bunlar yapılırken maliyet ve gelir dengesi korunmalıdır (Israelit ve diğ., 2018).

Akıllı tedarik zincirini oluşturmak için yola çıkan şirketler, tamamen dijital bir ortamda sunulan fırsatlara tam olarak yanıt veren açık bir strateji geliştirmedikçe muhtemelen imkânsız olacak zor bir görevle karşı karşıyadır. Sadece şirketin mevcut operasyonlarına ve iş modeline değil, aynı zamanda doğrudan satış kanalları oluşturmak ve değer zincirinde bir sıçrama seviyeleri gibi dijitalleştirme uygulandıktan sonra mevcut olan yeni iş modellerine de dayanmalıdır (Schrauf ve Bertram, 2016). Tablo 3.4'de Geleneksel tedarik zinciri ile Dijital Tedarik Zinciri Endüstri 4.0'ın sunmuş olduğu anahtar yetenekler açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.4. Tedarik zinciri ile dijital tedarik zinciri'nin karşılaştırılması

Geleneksel Tedarik Zinciri	Anahtar Yetenekler	Dijital Tedarik Zinciri
Çizelgeleme ve şablonlarla tasarlanmış manuel veya bilgisayar destekli etkileşimsiz sistemler	Akıllı	Ortam ve çevre ile iletişim halinde uzaktan bağlantılı-özerk-akıllı öğrenebilen ve geliştirilmeye açık sistemler
Sınırlı, kısıtlanmış bağlantı ve erişim	Bağlı	Gelişmiş ağ bağlantısı ile uzaktan iş görebilme yeteneği ve dijital etkileşim
Çıkar odaklı ve anlamlı işbirliğini engelleyen sınırlı görünürlük	İşbirlikçi	Yatay ve Dikey entegrasyon ile işbirliği derinliğinin doğal gelişimi
Gecikmelere neden olan farklı planlama döngüleri ve farklı katmanlardaki senkronize olamayan yanıtlar	Cevapverebilir	Planlama ve yürütme düzeyinde gerçek zamanlı yanıt ve öngörülemez durumlara hazırlıklı olma
Üçüncü taraf yazılım şirketleri aracılığı ile güven sorunu ve değiştirilebilir bilgi kümesi	Güvenli	Bloktedarik tabanlı aracısız, şeffaf, değiştirilemez, sadece yetkililerin görebildiği güvenilir bilgi ağı

Tablo 3.4'ün devamı

Her kuruluştan geçerken ertelenen ve gerekli görüldüğü kadarı ile paylaşılan hiyerarşik bilgi paylaşımı	Bilgi paylaşımı	Tüm tedarik zinciri üyeleri için aynı anda ulaşılabilen tam ve eksiksiz bilgi
Temas halinde bilgi gereksinimi ve sınırlı tedarik zinciri görünürlüğü	Şeffaf	Tüm tedarik zinciri üyelerinin aynı anda eş zamanlı olarak tedarik zincirinin değiştirilmemiş tam görünümü
Talep dalgalanmaları ve malzeme yolu uzunluğu ile beraberinde gelen kırbaç etkisi ve bilgi bozulması	Çevik	Platform ve etkileşim ağları ile son müşterin talep değişikliklerinin doğru olarak değerlendirilip hızlıca yanıt verilmesi
Sınırlı veri kümesi, kısmi ve yerel analitik ve sezgisel yaklaşım ile risk yönetimi	Proaktif	Akıllı sensörler, nesnelerin interneti ile toplanan büyük verileri yapay zekâ desteği ile anlamlı hale getiren öngörücü ve kestirimci analitik anlayış
Tüm işleri personelin takip ve kontrol ettiği iş yükü yoğun iş süreçleri	Özerk	Akıllı ve bağlantılı, tekrarlayan işleri öğrenebilen, kendi kendine karar alabilen sistemler ile azalan iş yükü ve artan yanıt hızı
Etkileşim ve yanıt hızı düşük, az kanallı satış ve teslimat, erteleme stratejisini benimseyen çıkar odaklı yaklaşım	Müşteri Odaklı	Omni-kanal dijital müşteri etkileşimi ve deneyimi, satış sonrası akıllı servis ve güdümlü ikmal, mikro teslimat ve müşteri için yaşam boyu değer yönetimi
Mülkiyet, patent ve ürün sahteciliği ile başa çıkma ve denetlenebilirlik zorluğu	Hesap verebilir	Blokchain gibi değiştirilmez veri ve eş zamanlı görünürlük yeteneği ile mülkiyetler, kalite süreçlerini ve sertifikasyonunu takip ve denetleme yeteneğidir
Geri dönüşüm ve çevre kirliliğine mevzuat çerçevesinde kâr odaklı yaklaşım	Sürdürülebilir	Geri dönüşümü, zincirinin kârlı ve değer katan bir halkası olarak görüldüğü, ambalaj atıklarının geri dönüşümüne önem verilen, karbon ayak izinin takip edildiği çevreci ve sorumlu bir anlayış

Kaynak: (Schrauf ve Bertram, 2016) çalışmasından faydalanılmıştır.

4. KAYNAKLAR

- Abonyi, J. ve Miszlivetz, F. (2016). Intersections of networks: Social challenges of I4. 0 (Szombathely: Savaria University Press)
- Acatech, (2017/2020) "Industrie 4.0 Maturity Index." In Managing the Digital Transformation of Companies. Schuh, Günther, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel, and Wolfgang Wahlster. Munich: Herbert Utz.
- Accenture, (2020), Technology Vision 2020.
https://www.accenture.com/_acnmedia/Thought-Leadership-Assets/PDF-2/Accenture-Technology-Vision-2020-Full-Report.pdf
- Accenture, (2020b). Digital platform, springboard for growth.
https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-114/Accenture-Reinventing-Supply-Chains-Digital-Platforms.pdf Erişim:06.06.2023
- Accenture, (2019). Accenture-blockchain-value-report,
https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-106/accenture-blockchain-value-report.pdf Erişim: 08.01.2023
- Accenture, (2014). Supply chain management in the cloud. Accenture Global Management Consulting, 1-12,
https://www.accenture.com/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/dualpub_1/accenture-supply-chain-management-in-the-cloud.pdf Erişim: 15.01.2023
- Agrawal, P., ve Narain, R. (2018). Digital supply chain management: An Overview. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 455, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.
- Ambrosio, A., (2019). Building The Intelligent Supply Chain, Digitalist Magazin, PwC&SAP,
<https://www.digitalistmag.com/digital-supply-networks/2019/05/21/building-intelligent-supply-chain-06198258> Erişim:15.01.2023
- APICS, (2017). SCOR Version 12.0 <http://www.apics.org/docs/default-source/scor-training/scor-v12-0-framework-introduction.pdf?sfvrsn=2>
Erişim:17.01.2023
- Başkale, H. (2016). Nitel araştırmalarda geçerlik, güvenilirlik ve örneklem büyüklüğünün belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi, 9(1), 23-28.
- BCTR, (2021). Akıllı Sözleşme Raporu, Blockchain Türkiye, Türkiye Bilişim Vakfı yayınları <https://bctr.org/bctr-rapor-akilli-sozlesme-23349/> Erişim 05.12.2023
- Bitkom, (2019). Smart Regulation for Digital Platforms, Position Paper, Berlin Germany

- https://www.bitkom.org/sites/main/files/2019-10/20190930_smart-platform-regulation.pdf Erişim:17.01.2023
- Bitkom, (2015). Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 – Ergebnisbericht der Plattform 4.0 in German; Bitkom-Vdma-Zvei,
<https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf> Erişim: 02.01.2023
- Büyüközkan, G. ve Göçer, F., (2018). “Digital supply chain: literature review and a proposed framework for future research”, *Computers in Industry*, Vol. 97 No. 4, pp. 157-177
- Crawford, C., (2019). *The Smart Supply Chain: A Digital Revolution*, Vol. 19, No. 3, AATCC Review, Feature Doi: 10.14504/ar.19.3.2
- Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply chain management: more than a new name for logistics. *The international journal of logistics management*, 8(1), 1-14.
- Croxton, K. L., Garcia-Dastugue, S. J., Lambert, D. M., & Rogers, D. S. (2001). The supply chain management processes. *The international journal of logistics management*, 12(2), 13-36.
- Curry, A. (2016). On The Radar. *Delivered*, The Global Logistics Magazine, DHL, Issue 3,
<https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/delivered/documents/pdf/dhl-delivered-issue-3-2016.pdf> adresinden 17 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- Çopur, Y. (2020). Endüstri 4.0 Yazılım Uygulamaları Çağı Olacak, Türkiye'nin Endüstri 4.0 platformu <https://www.endustri40.com/endustri-4-0-yazilim-uygulamalari-cagi-olacak> adresinden 10 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- De Felice, F., Petrillo, A., & Zomparelli, F. (2016). Design and control of logistic process in an Italian company: Opportunities and challenges based on industry 4.0 principles. Summerschool “Francesco Turco.
- Deloitte, (2014). *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies*
- Deloitte, (2019). *Zukunft der Consumer Technology*, Bitkom
https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019.09/190903_ct_studie2019_online.pdf
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *Sustainability*, 12(23), 9927.
- Dijital Anadolu 2, (2018). Sektör Bazlı Dijital Dönüşüm Yol Haritası, Türkönfed yayınları. <https://turkonfed.org/tr/detay/1884/dijital-anadolu-2-sektor-bazli-dijital-donusum-yol-haritasi/>

- Dijital Türkiye Yol Haritası, (2018). İmalat Sanayinin Dijital Dönüşümü Raporu ve Yol Haritası, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>
- DDX, (2022). Dijital Dönüşüm Değerlendirme Modeli, TÜBİTAK ve TÜSSİDE <https://ddxmodel.tubitak.gov.tr/>
- DHL (2022). Augmented Reality. <https://www.logistics.dhl/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/trend-reports/augmented-reality.html> adresinden 8 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- DHL, (2020). Logistics Trend Radar, 5th Edition <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-logistics-trend-radar-5thedition.pdf> Erişim: 11.01.2023
- DHL, (2020a). Next-Generation Wireless in Logistics, DHL Trend Research <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/csi/documents/pdf/csi-ltr6-resources-next-generation-wireless-in-logistics-dhl-trend-report.pdf> Erişim:02.02.2023
- DHL, (2020b). Big words vs big Inventions: Which tech innovations have lived up to their promise?, Delivered: The Global Logistics Magazine, Author: Ward, J, <https://www.dhl.com/global-en/home/about-us/delivered-magazine/articles/2020/issue-2-2020/big-words-vs-big-inventions-which-tech-innovations-have-lived-up-to-their-promise>.
- DHL, (2018). 95-percent-of-companies <https://www.logistics.dhl/us-en/home/press/press-archive/2018/95-percent-of-companies>
- Dutzler, H., Schmaus, B., Schrauf, S., Nitschke, A., & Hochrainer, P. (2016). Industry 4.0: Opportunities and challenges for consumer product and retail companies. Published by Service Mark of PwC Strategy& LLC.
- D3A, (2020). Türkiye’de Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı 2019 -2020 Sonuç Raporu, Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu Raporu, Mart 2020, İstanbul
- Eğilmez, G. (2023). Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörünün Dijital Dönüşümü: Lojistik 4.0. Sosyal, İnsan ve İdari Bilimlerde Öncü ve Çağdaş Çalışmalar, 1351-1376
- EPRS, (2015). European Parliamentary Research Service, Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth, Briefing September 2015 Author: Ron Davies
- European Commission, (2017). Digital Transformation Monitor, France: Industrie du futur. <http://www.industrie-dufutur.org/sons-lindustrie/> Erişim: 15.03.2020

- Gartner, (2020). Top Strategic Technology Trends for 2021, Research Vice President; Brian Burke, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021>, Erişim: 30.11.2023
- Gartner, (2019). Top 10 Strategic Technology Trends for 2020, Cearley, D. W., Distinguished VP Analyst, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> Erişim: 30.11.2023
- Glistau, E., ve Machado, N. I. C., (2018). Industry 4.0, Logistics 4.0 and Materials - Chances and Solutions, Materials Science Forum, Vol. 919, pp 307-314
- Göhner, P., (2017). Industrial Internet of Things, Cyber manufacturing Systems, Springer Series in Wireless Technology, Switzerland DOI 10.1007/978-3-319-42559-7
- Grabowska, S., (2020). Smart Factories in the Age of Industry 4.0, Management Systems in Production Engineering, Volume 28, Issue 2, pp. 90-96
- Hallikas, J., Immonen, M., ve Brax, S. (2021). Digitalizing procurement: the impact of data analytics on supply chain performance. Supply Chain Management: An International Journal.
- Hompel, M. ve Kerner, S., (2015). Logistik 4.0: Die Vision vom Internet der autonomen Dinge, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Informatik-Spektrum, 38(3), 176-182.
- Horenberg, D., (2017). "Applications within Logistics 4.0" A research conducted on the visions of 3PL service providers, 9. IBA Bachelor Thesis Conference, July 5., Enschede: University of Twente, The Faculty of Behavioural, Management and Social sciences
- IDC, (2020). Bulut ve Yapay Zekâ, Müşteri Deneyimini İyileştirmek için İletişim Merkezlerini Nasıl Dönüşürüyor, Eylül 2020, Ayşe Kaptanoğlu
- IFS, (2017). Digital change survey, Global Viewpoint <https://www.ifs.com/pl/sitecore/media-library/assets/2017/06/21/ifs-digital-change-survey/> Erişim: 11.01.2022
- Israelit, S., Hanbury, P., Mayo, R., & Kwasniok, T. (2018). Build a digital supply chain that is fit for the future. Bain & Co.
- Karadağ, A., (2022). Dijitalleşme, Tedarik Zinciri Verimliliğini, Operasyon Hızını ve Müşteri Odağını Nasıl Değiştirir? <https://www.threadinmotion.com/tr/blog/how-digitization-improves-supply-chain-efficiency-agility-and-customer-focus> Erişim: 01.12.2023
- Karunarathna, N., Wickramarachchi, R., ve Vidanagamachchi, K., (2019). A Study of the Implications of Logistics 4.0 in Future Warehousing: A Sri

- Lankan Perspective, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bangkok, Thailand, March 5-7, IEOM Society International P, 1024-1035
- KPMG, (2021). Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021 raporu, <http://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2021/04/dijitallesme-yolunda-turkiye-raporu-2021.pdf> adresinden 18.Kasım.2021 tarihinde alınmıştır.
- Kurumsal BT Stratejisi (2014). Gartner analizleri nedir, faydası nedir, nasıl okunur? <https://kurumsalbtstratejisi.wordpress.com/2014/04/11/gartner-analizleri-nedir-faydası-nedir-nasil-okunur/> Erişim: 11.01.2023
- Lyons, L., (2019), Digitalisation: Opportunities for heating and cooling, This publication is a Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service.
- McKeown, N., (2020), A Step-by-Step Guide to Digital Transformation, Guides, Ionology. <https://www.ionology.com/wp-new/wp-content/uploads/2020/04/Step-by-Step-Guide-New.pdf>. Erişim: 11.01.2023
- McKinsey, (2011). Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity, McKinsey Global Institute,
- Müller, J. M. ve Voigt, K., (2018). The Impact of Industry 4.0 on Supply Chains in Engineer-to-Order Industries—An Exploratory Case Study, IFAC PapersOnLine 51-11, pp.122–127
- Nagy, G., Illés, B., & Bányai, Á. (2018). Impact of Industry 4.0 on production logistics. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 448, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- OECD, (2018). Economics Surveys: Turkey 2018 <https://www.oecd.org/economy/surveys/Turkey-2018-OECD-economic-survey-overview.pdf> Erişim:08.01.2023
- Oracle (2023). What Is Supply Chain Management. <https://www.oracle.com/in/scm/what-is-supply-chain-management/> adresinden 15 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- Petrick, I., ve McCreary, F., (2019), Industry 4.0: From Vision to Implementation, 2019 Technology in Industry Report, Automation Alley
- Porter, M. E., ve Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. Harvard business review, 92(11), 64-88.
- Porter, M. E., ve Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. Harvard business review, 93(10), 96-114.
- Pundir, A. K., Jagannath, J. D., Ganpathy, L., ve Chakraborty, M., (2019). Technology Integration for Improved Performance: A Case Study in Digitization of Supply Chain with Integration of Internet of Things and

Blockchain Technology IEEE

PwC (2020). Essential Eight Technologies.

<https://www.pwc.com/gx/en/issues/technology/essential-eight-technologies.html> adresinden 8 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.

PwC, (2016). Global Industry 4.0 Survey, Industry 4.0: Building the digital enterprise

(<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>)

PwC, (2019). “Tedarik Zinciri Yönetimi Araştırması 2019”, PwC-TEDAR

<https://www.pwc.com.tr/tr/advisory/assets/tedarik-zinciri-yonetimi-arastirmasi-2019.pdf>. adresinden 17 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.

PwC, (2019a). 2019 IoT Survey: Speed operations, strengthen relationships and drive what’s next.

<https://www.pwc.com/us/en/services/consulting/technology/emerging-technology/iot-pov/manufacturing-iot-snapshot.html> Erişim: 07.05.2022

Queiroz, M. M., Pereira, S. C. F., Telles, R., & Machado, M. C. (2019). Industry 4.0 and digital supply chain capabilities: A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities. *Benchmarking: an international journal*.

Reinitz, B., (2020). Consider the three Ds when talking about digital transformation.

Educause

Review

<https://er.educause.edu/blogs/2020/6/consider-the-three-ds-when-talking-about-digital-transformation> Erişim: 24.04.2022

Rojko A., (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview, *iJIM – Vol. 11, No. 5*. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

Sa, (2017). Sanayide Dijitalleşme Stratejileri Çalıştayı, Sabancı Üniversitesi, www.yenisanayidevrime.org Erişim: 28.04.2020

SAP, (2023). Tedarik zinciri planlaması: Nedir ve nasıl kullanılır? <https://www.sap.com/turkey/products/scm/integrated-business-planning/what-is-supply-chain-planning>, Erişim: 24.11.2023

Schmidtke, N., Glistau, E., Behrendt, F., (2019), Magdeburg Logistics Model – the Smart Logistics Zone as a Concept for Enabling Logistics 4.0 Technologies, *Advanced Logistic Systems – Theory and Practice*, 13(1), 7-16

Schrauf, S., ve Bertram, P. (2016). Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused, *Pwc&Strategy* <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/digitization-more-efficient.html>. Erişim: 28.04.2020

Schröder, M., Indorf, M., ve Kersten, W. (2014). Industry 4.0 and its impact on

- supply chain risk management. In Proceedings of the 14th International Conference “Reliability and Statistics in Transportation and Communication (No. October, pp. 114-125).
- Scott, J. (2017). The Role of Technology in Digital Transformation. <https://www.ionology.com/the-role-of-technology-in-digital-transformation/> Erişim: 11.01.2023
- Siegel, M. ve Booth, C., (2020). Six dimensions of the agile enterprise: What leading companies are doing, Pwc&Strategy <https://www.strategyand.pwc.com/us/en/reports/2020/six-dimensions-of-the-agile-enterprise/six-dimensions-of-the-agile-enterprise.pdf> Erişim: 18.01.2023
- Stackpath (2023). What Is Distributed Cloud Computing? <https://www.stackpath.com/edge-academy/what-is-distributed-cloud-computing/> Erişim: 05.01.2023
- Stock, J. R., & Boyer, S. L. (2009). Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39, pp. 690-711.
- Solis, B., (2017). The 2017 State of Digital Transformation, Research Report, Altimeter
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia manufacturing*, 13, 1175-1182.
- TÜSİAD, (2017). Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşümü Yetkinliği, Türkiye'nin 4. Sanayi Devrimi, TÜSİAD-BCG <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/9864-tusiad-bcg-turkiye-nin-sanayide-dijital-donusum-yetkinligi> Erişim: 18.01.2023
- Uckelmann D., (2008). A Definition Approach to Smart Logistics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. Balandin et al. (Eds.): NEW2AN 2008, LNCS 5174, pp. 273–284
- Vette, P., (2016). Die Speedfactory ist für Adidas eine Revolution, <https://www.welt.de/wirtschaft/article155658067/Die-Speedfactory-ist-fuer-Adidas-eine-Revolution.html> adresinden 18 Mayıs 2020 tarihinde alınmıştır.
- Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G. ve Gnanzou, D., (2015). How “big data” can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics* 165: 234–46.
- Weissberger, A. (2019). Dynamic Spectrum Sharing (DSS)-Keysight Technologies Qualcomm extend 5G Collaboration to Dynamic Spectrum Sharing (DSS) Technology. IEEE ComSoc Technology Blog.

- Yılmaz E., ve Bilgin E., 2019, Çok Kademeli Bir Tedarik Zinciri Ağı İçin Üretim-Dağıtım ve Tersine Lojistik Planlaması, Research Studies Anatolia Journal, Vol: 2 Issue: 4; pp:55-71
- Zhu, Z., Zhao, J., & Bush, A. A. (2020). The effects of e-business processes in supply chain operations: Process component and value creation mechanisms. *International Journal of Information Management*, 50, 273-285.