



# DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ DERGİSİ

## DOGUS UNIVERSITY JOURNAL

e-ISSN: 1308-6979

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/doujournal>

### ENDÜSTRİ 5.0 KAPSAMINDA İNSAN MERKEZLİ TEDARİK ZİNCİRİ YAPILANDIRMASINA YÖNELİK STRATEJİK VE TEKNOLOJİK ÇERÇEVE ANALİZİ

#### A STRATEGIC AND TECHNOLOGICAL FRAMEWORK ANALYSIS FOR HUMAN-CENTRIC SUPPLY CHAIN CONFIGURATION WITHIN THE CONTEXT OF INDUSTRY 5.0

Seyhan TEOMAN<sup>(1)</sup>

**Öz:** Kısaca Endüstri 4.0 olarak adlandırılan Dördüncü Endüstri Devrimi, imalat ve üretim ortamlarında üretkenlik ve verimliliğin artırılması için tam otomasyon ve insansız akıllı fabrikalarla karakterize edilen teknoloji temelli bir paradigmadır. Son on yıllık geçmişinde ekonomik hedeflerinde başarı göstermiş olmasına karşın Endüstri 4.0'ın sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki olumsuz etkileri uzun bir süredir tartışılmaktadır. Özellikle insan işgücünün ve potansiyelinin üretim ortamlarından dışlanması üzerinde yoğunlaşan tartışmalar sonucunda, Avrupa Komisyonu, ileri teknolojinin tüm nimetlerinden insan için ve insanla birlikte yararlanma vizyonu ile yeni bir yaklaşımı Endüstri 5.0 kodu ile 2021 yılında ilan etmiştir. Gelecek için insan odaklı, dirençli ve sürdürülebilir bir Avrupa endüstrisine işaret eden bu yeni paradigma yeni teknolojilerin geliştirilmesinde, tasarımında ve uyarlanmasında ekonomik kaygılardan ziyade çalışanların ve toplum ihtiyaçlarının ve refahının ön plana alınmasını önermektedir. Bu çalışmada, Endüstri 5.0 yaklaşımının tedarik zinciri yönetimine uyarlanması insan odaklılık temelinde incelenmekte ve başarılı bir uygulama için stratejik ve teknolojik gereksinimlere ilişkin bir çerçeve sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 5.0, Tedarik Zinciri 5.0, İnsan Merkezli Tedarik Zinciri

**Abstract:** The Fourth Industrial Revolution, shortly called Industry 4.0, is a technology-based paradigm characterized by fully automated and unmanned smart factories to increase productivity and efficiency in manufacturing and production environments. Although Industry 4.0 has been successful in its economic goals in the last decade, its negative effects on social and environmental sustainability have been discussed for a long time. As a result of the discussions focusing especially on the exclusion of human workforce and potential from production environments, the European Commission announced a novel approach in 2021 called Industry 5.0, with the vision of benefiting from all advanced technology for, and with humans. This new paradigm, which points out a human-centric, resilient, and sustainable European industry for the future, suggests prioritizing the needs and well-being of employees and society rather than economic concerns in the development, design, and adaptation of innovative technologies. In this study, the adaptation of the Industry 5.0 approach to supply chain management is examined on the basis of human centricity, and a framework for strategic and technological requirements is presented for a successful implementation.

**Keywords:** Industry 5.0, Supply chain 5.0, Human-centric supply chain

**JEL:** O3, Q5, I3

<sup>(1)</sup>Bağımsız Araştırmacı, [teoman.seyhan@gmail.com](mailto:teoman.seyhan@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5612-3822

Geliş/Received: 06-10-2023; Kabul/Accepted: 15-04-2024

## 1. Giriş

2015 yılında, Alman hükümetinin oluşturduğu bir çalışma grubu tarafından tanımlanan ve Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) olarak ilan edilen son endüstriyel akım, bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, tam otomasyona dayalı bir ekonomiye geçişe işaret etmiştir. Ekonomide ve üretimde dijital çağın başlangıcı olarak da kabul edilen Endüstri 4.0 (E4.0), üretim sistemlerinin, iş modellerinin, imalat ortamlarının, operatörlerin, makinelerin, ürünlerin ve hizmetlerin dijital dönüşümü ile karakterize edilmektedir (Villar, Paladini ve Buckley, 2023). E4.0'ın vizyonu, Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay Zekâ ve Siber-Fiziksel Sistemler gibi internet tabanlı ileri dijital teknolojileri geleneksel üretim sistemlerine entegre ederek imalat ortamını “akıllı” hale getirmek ve bu yolla özelleştirilmiş ürünlerin seri üretiminde verimliliği ve üretkenliği artırmaktır (Maddikunta, vd., 2022). E4.0, internet üzerinden birbirine bağlı makineler arası iletişim (IoT), yapay zekâ ve otonom robotlar tarafından minimum insan müdahalesiyle işletilen tam otomatik bir üretim sisteminde, daha etkin veri toplama ve analiz, daha tutarlı, sağlam ve çevik bir sistem ve süreç ve dolayısıyla daha verimli iş modelleri hedefleyen, teknoloji odaklı bir paradigma değişimi olarak değerlendirilmektedir (Jafari, Azarian ve Yu, 2022).

E4.0, son on yıllık geçişinde üretim maliyetlerini düşürme ve üretim süreçlerini optimize etme hedeflerinde başarı sağlanmış olmasına karşın, endüstriyel süreçlerde yüksek düzeyde dijitalleşme ve otomasyon, insan işgücünün rolünü sorgulanabilir hale getirmiştir. Öte yandan, insan faktörünü ikinci plana alarak maliyet ve üretkenlik hedeflerini önceleyen E4.0, bu hedeflere ulaşmak için kullanılan teknolojilerin uygulanmasına ilişkin sınırlı bilgi, vasıflı işgücü eksikliği ve potansiyel işten çıkarma gibi sorunlarla karşı karşıya kalmıştır (Paschek, Mocan ve Draghici, 2019). Bunun yanı sıra, E4.0'ın endüstrilerin sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, E4.0'ın ekonomik sürdürülebilirlik boyutunda olumlu etkilerini ön plana çıkarmakta ancak çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik boyutunun ihmal edildiğini ortaya koymaktadır (Nara, vd., 2021; Potocan, Mulej ve Nedelko., 2020).

Bu endişeleri dikkate alan Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi, Kasım 2018'de E4.0'ın özellikle toplum üzerindeki olası olumsuz etkilerini (işsizlik ve yeni becerilere duyulan ihtiyaç gibi) ele almak ve geleceğe yönelik teknolojik ve sosyal faktörleri içeren bütünsel bir vizyon geliştirmek üzere bir konferans düzenledi. Bu konferansla birlikte beşinci akımın temelleri atıldı. Aynı süreçte, COVID-19 pandemisi ile birlikte küresel tedarik zincirlerinin gün yüzüne çıkan kırılganlığı da tamamen teknolojik temelli E4.0'ın krizlere daha dayanıklı ve insanı merkeze alan bir anlayışa doğru dönüşümü ihtiyacı arttırdı (Moosavi, Fathollahi-Fard ve Dulebenets, 2022).

Bu gelişmelere paralel olarak, Japonya'da filizlenen “Toplum 5.0” kavramı hızlı bir şekilde yükselmeye başladı. “Süper akıllı toplum” yaratmak vizyonu ile teknolojik yeniliklerin sadece E4.0'ın ekonomik hedeflerine yönelik olarak değil aynı zamanda sosyal sorunların çözümü ve toplum refahının arttırmak için kullanılması gerektiğini savunan Toplum 5.0 yaklaşımı, sürdürülebilir ve kapsayıcı bir sosyo-ekonomik sistem önermiştir. Böylece, Toplum 5.0, E4.0'dan E5.0'a geçişin sosyal temelini oluşturmuştur (Leng, vd., 2022). Nihayet, Ocak 2021'de Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan “Endüstri 5.0” başlıklı raporda, Avrupa endüstrisinin geleceğini belirleyecek faktörlerin yalnızca ekonomik veya teknolojik değil, aynı zamanda önemli çevresel ve sosyal boyutlara sahip olduğuna işaret edilmekte ve Endüstri 5.0

(E5.0) için üç temel değer tanımlanmaktadır. Bunlar; “insan odaklılık”, “sürdürülebilirlik” ve “dayanıklılık” tır (Breque, M., De Nul, L. ve Petridis, A. 2021). Komisyonun raporu özet olarak aşağıdaki dört konuyu vurgulamaktadır:

- Jeopolitik değişiklikler ve COVID-19 salgını gibi doğal krizler endüstrilerin kırılganlığını ortaya çıkarmış ve daha çevik ve dayanıklı sistemlere ihtiyaç artmıştır.
- Teknolojinin çevre ve toplum üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için döngüsel süreçlerin uygulanması aracılığıyla sürdürülebilir bir yaşam tarzı teşvik edilmelidir.
- Teknoloji insan işgücünün yerine değil yararına kullanılmalıdır. Teknoloji tasarımında ve kullanımında insan ihtiyaçları ve toplum refahı dikkate alınmalı, etik hususlara özel önem verilmeli ve insanlar ve otonom teknolojiler arasında sorunsuz ve sağlıklı ilişkiler tesis edilmelidir.
- İnsan odaklı bir çözüm olarak E5.0, teknolojik gelişmelerin sürdürülebilir kalkınmanın gereklerini karşılama ve toplumu olumlu yönde etkilemesini, insan haklarını korumasını ve çalışanların refahını artırmasını sağlamalıdır.

Görüldüğü gibi, toplumların son zamanlarda karşılaştığı küresel iklim değişikliği, salgın hastalıklar, hibrit ve konvansiyonel savaşlar ve mülteci krizi gibi benzeri görülmemiş sorunlar nedeni ile yeni E5.0 vizyonunda ekonomik hedeflerden ziyade “insan odaklılık” çok güçlü bir şekilde vurgulanmaktadır. E5.0’in diğer iki hedefi, “sürdürülebilirlik” ve “dayanıklılık”, yine insanın kurumsal karar alma süreçlerine dahil edilmesi ile başarılabilecektir (Golovianko, Terziyan, Branytskyi ve Malyk, 2023). Tüm bunların yanısıra, psikolojik ve kültürel faktörlerden kaynaklanan “kişiselleştirilmiş ürünlerin seri üretimi (mass personalization)” paradigması, üretime değer katacak ve ürün ve hizmetlerin daha önce hiç olmadığı kadar kişiselleştirilmesini sağlayabilecek insan merkezli bir yaklaşımın ön plana çıkmasına neden olmuştur (Østergaard, 2018). Genellikle insansız akıllı fabrikalarla özdeşleşen E4.0’in aksine, E5.0 imalat sanayinin ve üretim tesislerinin ötesine geçerek değer ekosistemi içerisindeki tüm paydaşları kapsar. Akıllı müşteriler, hükümetler, işçi sendikaları, tedarikçiler, üretim tesisleri lojistik hizmet sağlayıcıları, teknoloji sağlayıcıları ve benzerleri, E5.0’in hiper bağlantılı değer ekosistemini oluşturmak için dijitalleştirilmesi ve entegre edilmesi gereken bileşenlerdir (Ghobakhloo, vd., 2022).

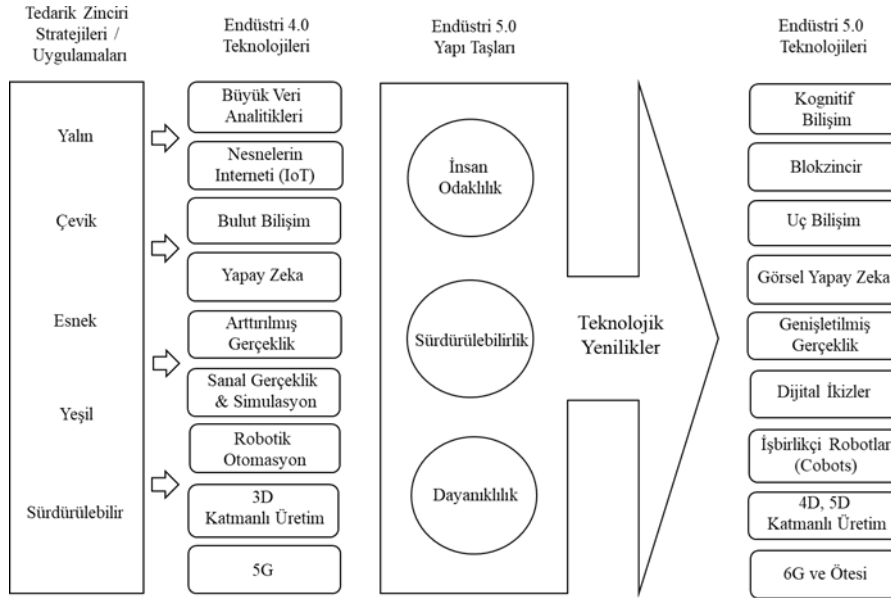
Son dört yıllık literatür incelendiğinde, bugüne kadar yapılan çalışmaların E5.0’in imalat ortamlarında benimsenmesi, uyarlanması, kolaylaştırıcı teknolojiler ve sürdürülebilirlik etkisi üzerinde yoğunlaştığı, buna karşın E5.0’in tedarik zinciri boyutunda ve insan odaklılık ilkesi çerçevesinde uyarlanmasına ilişkin sınırlı sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür (Zengin, 2023). Bu çalışmada, E5.0’in insan odaklılık ilkesi tedarik zinciri bağlamında mercek altına alınmakta ve insan merkezli bir tedarik zinciri tasarımı ve yönetimi için yapısal ve teknolojik gereksinimlere ilişkin bir çerçeve sunulmaktadır. Çalışmanın amacı, işletmelerin dayanıklı ve sürdürülebilir bir tedarik zinciri yaratmaya yönelik dijital teknolojilerin benimsenmesi ve uygulanması kararlarında insan ve teknoloji dengesini sağlayacak bir rehber oluşturmaktır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, E4.0’den E5.0’a geçiş sürecinde endüstriyel ortamlarda ve tedarik zincirlerinde insan merkezli teknolojik dönüşümün yaratacağı fırsatlar ve zorluklara ilişkin bir literatür incelemesi aktarılmaktadır. Üçüncü bölümde, insan merkezli tedarik zinciri yapılandırmasında stratejik ve teknolojik gereksinimlere ilişkin çerçeve çizilmektedir. Sonuç bölümünde, yöneticiler için faydalı çıkarımlar ve daha sonraki çalışmalara ilişkin öneriler ele alınmaktadır.

## 2. Literatür Taraması

### 2.1. Endüstri 4.0'dan Endüstri 5.0'a İnsan Odaklı Teknolojik Dönüşüm

Teknolojik ilerlemeler ve E4.0'daki uyarlamaları, tedarik-üretim-teslimat zincirindeki operasyonlarda insan emeğinin otonom robotlarla değiştirilmesine giderek daha fazla olarak sağlamıştır (Minculete, Barsan ve Olar, 2021). E4.0'dan E5.0'a geçiş sürecinde, artık tüm endüstriyel faaliyetlerin robotlara devredilmesi stratejisinden vazgeçilmesi, modern, otomatikleştirilmiş ve dijitalleştirilmiş üretim faaliyetlerinin merkezinde uzmanlaşmış insan işgününün yer alması öngörülmektedir. E5.0'ın insan odaklılık ilkesi, makinelerin ve otomasyonun insanlara hükmetmesini değil hizmet etmesi gerektiğini, robotize bileşenlerin insan beyniyle birlikte ve rakip değil işbirlikçi olarak çalışması gerektiğini önermektedir. Bu vizyon, E5.0'ın ortadan kaldırdığından çok daha fazla iş yaratacağını öngörmektedir (Nahavandi, 2019). Bu çerçevede, E5.0 çalışanları akıllı üretim sistemlerine entegre edilerek, tamamı insan zekasıyla ilişkilendirilmiş, yüksek performanslı, modern ve hızlı otomasyon sistemlerini işletecektir (Kumar, Gupta, Singh ve Jain, 2021). E5.0'ın başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi hem E4.0'a işlerlik kazandıran büyük veri, IoT, yapay zekâ, makine öğrenmesi gibi teknolojilerin güncellenmesini hem de uç bilişim, dijital ikiz, ve işbirlikçi robotlar gibi yeni teknolojilerin üretim sistemleri ve tedarik zincirlerinde benimsenmesi ve uyarlanmasını gerektirmektedir. Endüstrinin insan merkezli bu teknolojik dönüşümü aynı zamanda yatırım stratejileri ve hükümet politikalarında da önemli değişime neden olacaktır (Maddikunta, vd., 2022). Şekil 1'de E4.0 stratejilerinin hayata geçirilmesinde faydalanılan teknolojiler ve E5.0 ilkelerini destekleyecek gelişmekte olan yeni teknolojiler gösterilmektedir.



**Şekil 1. Endüstri 4.0'dan Endüstri 5.0'a Teknolojik Dönüşüm**

Kaynak: Santhi ve Muthuswamy, 2023; Maddikunta, vd., 2022; Ivanov, 2023; Leng, vd., 2022; Xu, vd., 2021; Zizic, Mladineo, Gjeldum ve Celent, 2022; Adel, 2022; Müller, 2020; Sharma, vd., 2022

Literatür, insanın akıllı üretim sistemlerine entegrasyonunu, insan merkezli teknoloji tasarımı, insan merkezli otomasyon, insan-makine etkileşimi ve insan-robot iş birliği başlıklarında tartışmaktadır (Villar, vd., 2023, Lu, vd., 2022, Golovianko, vd., 2023; Leng, vd. 2022; Demir, Döven ve Sezen, 2019; Fraga-Lamas, Varela-Barbeito ve Fernández-Caramés, 2021; Bettoni, vd., 2020).

İnsan merkezli teknoloji tasarımı, insanların ihtiyaçlarını önceliklendiren, aynı zamanda çevre ve toplum üzerindeki etkiyi de bir bütün olarak göz önünde bulunduran bir teknoloji geliştirme yaklaşımıdır (Villar, vd., 2023). İnsana odaklanan teknolojik yenilikler, kullanıcı deneyiminin ve memnuniyetinin artması, teknoloji erişilebilirliğinin artması ve teknolojinin olumsuz çevresel etkisinin azalmasına yardımcı olacaktır.

İnsan merkezli otomasyon insanın üretim sürecindeki rolünü arttıran bir diğer yaklaşımdır. Üretim otomasyonuna insan yaratıcılığının ve yeteneklerinin entegre edilmesi, çalışanlar için daha tatminkâr ve çekici roller yaratarak olumlu bir çalışma ortamı sağlamanın yanı sıra, işçilere becerilerini geliştirme ve yeni kariyer fırsatları sunabilir (Lu, vd., 2022). İnsanlar ve makineler arasındaki yakın iş birliği, ürün kalitesi, güvenlik, düzenlemelere uygunluk ve operasyonların sürekliliği gibi önemli hususlarda insan gözetimine ve etik kararlara olanak sağlar (Golovianko, vd., 2023). Otomasyon iş gücünü dönüştürmeye devam ederken, şirketlerin ve hükümetlerin, çalışanları gelişen yeni rollerde başarılı olmaları için gerekli becerilerle donatmak amacıyla eğitim programlarına yatırım yapması önem taşımaktadır (Villar, vd., 2023).

İnsan-makine etkileşimi, insanlar ve robotlar arasındaki sorunsuz ve verimli iş birliğini kolaylaştırmayı amaçlayan, hızla büyüyen disiplinlerarası bir alandır. Bu alan, insan-robot iş birliğine yönelik etkili sistemler oluşturmak amacıyla psikoloji, bilgisayar bilimi ve mühendislik gibi çeşitli disiplinleri bir araya getirir (Nahavandi, 2019). Örneğin yapay zekanın ve insan zekasının birlikte evrimi fikri yapay zekâ üzerinde insan gözetimi ve kontrolünün önemini vurgularken aynı zamanda yapay zekadan yararlanarak insan zekasını geliştirmeyi önermektedir (Leng, vd., 2022). İnsan-makine etkileşiminin başarılı bir şekilde tesis edilmesi sistemlerin verimliliğinin ve üretkenliğini artırmanın yanı sıra güvenlik ve risk yönetimini iyileştirecek, çalışanların karar alma ve problem çözme yeteneklerini geliştirecek ve kullanıcı deneyim teknolojilerinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

İnsan-robot iş birliği, E5.0'ın insan odaklılık temelinde en çok öne çıkan vizyonudur. Buna göre robot ve insan mümkün olan her yerde ve zamanda birlikte çalışacaktır. İnsanlar yaratıcılık gerektiren görevlere odaklanacak, rutin ve tehlikeli işler kısaca "cobot" olarak adlandırılan yardımcı ya da işbirlikçi robotlar tarafından yerine getirilecektir (Demir, vd., 2019). Tekrarlayan basit görevlerin otomatikleştirilmesi, çalışanların yaratıcılık, problem çözme ve karar verme becerileri gerektiren daha yüksek değerli faaliyetlere odaklanmasına olanak tanır. İşbirlikçi robotlar insan güvenliği, konforu ve ihtiyaçlarına odaklanılarak tasarlanır. Son araştırmalar, işbirlikçi robotların çalışanların işbaşında yaralanma ve yorgunluk riskini azaltmanın yanı sıra verimliliği artırma ve daha uzmanlaşmış ve kişiselleştirilmiş ürünler ve deneyimler yaratmadaki önemini ortaya koymuştur (Fraga-Lamas, vd., 2020).

İnsan merkezli üretime ve imalata doğru ilerlerken daha önce değinilen fırsatların yanı sıra teknolojik ve etik açıdan birçok zorluk belirmektedir. E4.0'ın yüksek endüstriyel performans stratejisinden E5.0'ın insan odaklılık stratejisine geçişte performans, teknolojiler (dijitalleşme) ve insan refahı arasında çok hassas bir dengenin sağlanması gerekecektir. Zorluklar teknolojinin benimsenmesi ve güven

faktörü üzerinde yoğunlaşmaktadır. İnsan odaklı çalışma ortamlarında kullanılacak teknolojilerin güvenilir, akıllı ve birlikte çalışılması kolay olması ve aynı zamanda gizlilik sınırlarını her zaman koruması gerekmektedir (Alves, Lima ve Gaspar, 2023). Ayrıca, akıllı makineler ve cobot'larla birlikte çalışmaya yardımcı olabilecek endüstriyel yasa ve düzenlemelere uyum sağlanmalıdır (Adel, 2022).

E5.0 yaklaşımını benimseyen şirketler, çalışanlarının yeni teknolojileri etkili bir şekilde kullanabilmeleri ve yüksek değerli görevleri yerine getirebilmeleri için gerekli becerilere sahip olmalarını sağlamalıdır. Sanal Gerçeklik, Arttırılmış Gerçeklik ve Dijital İkiz gibi teknolojiler, devam eden süreçleri kesintiye uğratmadan veya çalışanları tehlikeli ortamlara maruz bırakmadan vasıflı işgücü eğitimi için güvenli ve etkin çözümler sunmaktadır (Nahavandi, 2019).

## 2.2. İnsan Merkezli Tedarik Zinciri Yapılandırması

E4.0 paradigmasını tedarik zincirleri ile ilişkilendiren Tedarik Zinciri 4.0 (TZ4.0) terimi, E4.0 teknolojilerinin tasarımdan planlamaya, dağıtımdan geri dönüşüme kadar tüm tedarik zincirine entegrasyonunu ifade eder. Bu entegrasyon, geniş bir coğrafyaya yayılan tedarik zincirini optimize edip otomatikleştirerek ve değişen pazar koşullarına ve tüketici taleplerine daha duyarlı hale getirerek envanter, üretim ve lojistik süreçlerinin daha doğru ve verimli takip ve kontrolünü mümkün kılmıştır (Villar, vd., 2023). Şimdi de E5.0'a uyarlanmış tedarik zincirlerini Tedarik Zinciri 5.0 (TZ5.0) olarak kodlamak yanlış olmayacaktır. TZ4.0, teknoloji ve verimlilik açısından önemli ilerlemeler sağlarken, TZ5.0, insan-teknoloji-çevre arasındaki dengeyi koruyan, tedarik zinciri tasarımında ve gelişiminde sosyal ve çevresel sorumluluğa öncelik veren, akıllı ve sürdürülebilir bir toplumu hedefleyen bir endüstri stratejisidir (Frederico, 2021). TZ5.0, tedarik zincirlerini dayanıklı, sürdürülebilir ve insan merkezli sistemler olarak tasarlamak ve yönetmek için organizasyonel ilkeler ve ileri teknolojilerin kombinasyonundan oluşmaktadır (Ivanov, 2023).

Sharma ve diğerleri (2022), E4.0 teknolojilerinin tedarik zinciri yönetiminde stratejik uygulamalar (yalın, çevik, esnek, yeşil ve sürdürülebilir uygulamalar vb.) ve tedarik zinciri performans ölçümleri üzerindeki aracı etkisini göstermiştir (Sharma, vd., 2022). E5.0 yaklaşımına uygun, insan merkezli, dayanıklı ve sürdürülebilir tedarik zinciri yapılandırması için E4.0 teknolojilerinin gelişmiş versiyonlarının yanısıra gelişmekte olan bazı yeni teknolojilerin benimsenmesi gerekmektedir. Bunlar; Blokzincir, Uç Bilişim, Görsel Yapay Zekâ, Kognitif Bilişim, Genişletilmiş Gerçeklik, Dijital İkiz, İşbirlikçi Robotlar (Cobots), 4D/5D Katmanlı Üretim ve 6G Kablosuz Bağlantı teknolojileridir (Santhi ve Muthuswamy, 2023; Maddikunta, vd., 2022; Ivanov, 2023; Leng, vd., 2022; Xu, vd., 2021; Zizic, Mladineo, Gjeldum ve Celent, 2022; Adel, 2022; Müller, 2020).

İnsan merkezli tedarik zinciri, tedarik zinciri yönetimi açısından, tasarımdan teslimata kadar insanları sürecin merkezinde konumlandırır ve onların refahına ve haklarına öncelik verir. İnsan odaklı bir tedarik zinciri, sosyal ve etik uygulamaları faaliyetlerine dahil ederek, çalışanların özerkliğine, onuruna ve mahremiyetine saygı duyan, fiziksel ve zihinsel sağlıklarına odaklanan güvenli ve kapsayıcı bir çalışma ortamı yaratır. İnsan odaklı bir tedarik zinciri, adil uygulamaları, ayrımcılık yasağını ve eğitim ve öğretime erişimi teşvik ederek aynı zamanda çalışanların kişisel ve mesleki gelişimini de destekleyerek kariyer gelişimlerine ve gelecek beklentilerine katkıda bulunur (Lu, vd., 2022; Xu, Lu, Heuser ve Wang, 2021).

E5.0'ın insan odaklılık ilkesine uygun bir tedarik zinciri tasarımı çalışanlarla birlikte müşteriler de merkeze alınır. TZ4.0'dan TZ5.0'a geçiş, müşterilerin tedarik zincirlerine entegrasyonunda "müşteri odaklı" yaklaşımdan ve "müşteri merkezli" yaklaşıma geçişe işaret etmektedir (Martinelli ve Tunisini, 2018). Müşteri odaklı tedarik zincirleri, mal ve hizmetlerin tedarik, üretim ve teslimat süreçlerinin tamamında müşterilerin tercihlerine ve gereksinimlerine öncelik verir. Bu yaklaşım, zincirin tüm halkalarının güncellenmiş talepleri karşılayabilecek kadar duyarlı, çevik ve esnek olmasını gerektirir (Nahavandi, 2019).

İş ortamları, teknoloji ve müşteri tercihlerinde artan değişkenlikler ve belirsizlikler tedarik zinciri yapılandırmasında müşteri odaklı yaklaşımı yetersiz kılmaktadır. Teknolojik araçlardan en üst düzeyde faydalanan günümüz müşterileri artık tüm tedarik sürecinde proaktif olarak rol almaktadır (Stevens ve Johnson, 2016). Günümüz müşterileri "özelleştirilmiş (customized)" ürünlerle yetinmemekte, tamamen bireysel ihtiyaçlarına uygun "kişiselleştirilmiş (personalized)" ürün ve hizmetler beklemektedir. Bu paradigma değişimi insanın (çalışanlar ve müşteriler) tedarik zinciri yönetimindeki rolünü arttırmış, yüksek düzeyde kişiselleştirilmiş ürün ve hizmet taleplerini karşılayabilmek için insanın empati ve yaratıcılık yeteneklerinin dijital teknoloji ile entegre edilmesi fikrini doğurmuştur. Endüstri 5.0 teknolojileri ile donatılmış müşteri merkezli tedarik zincirleri, seri üretimden her bir müşteri için benzersiz ve özelleştirilmiş ürün ve hizmetlerin sunulmasına olanak tanıyan kişiselleştirilmiş üretime geçişin gereğidir (Javaid ve Haleem, 2020).

Müşteri merkezli tedarik zincirinde müşteriler, ürün veya hizmeti ne zaman, nasıl ve nereden alacağına karar verir ve tedarik zincirinin tüm paydaşları ile işbirliği içerisinde hareket eder. Sonuç olarak, satın alma aşamasında Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik, satış sonrası aşamada Akıllı Sensörler ve Yapay Zeka gibi dijital teknolojileri etkin olarak kullanan müşteri, değer zincirinin proaktif bir parçasıdır ve kararları ile tedarik zincirine yön verir (Martinelli ve Tunisini, 2018).

### 3. Stratejik ve Teknolojik Çerçeve

Bu bölümde, ikinci bölümde sunulan literatür taraması sonucunda elde edilen bulgularla belirlediğimiz, E5.0 kapsamında insan merkezli tedarik zinciri yapılandırmasına yönelik stratejik ve teknolojik çerçeve sunulmaktadır.

#### 3.1. İnsan Merkezli Tedarik Zinciri 5.0 Yapılandırmasına İlişkin Stratejik Araçlar, Aksiyonlar ve Çıktılar

İnsan-Odaklı Teknoloji Tasarımı (Leng, vd., 2022; Villar, vd., 2023)

- Teknoloji geliştirmede insan ihtiyaçlarına ve tercihlerine öncelik verilmesi
- Kullanıcı deneyiminin ve memnuniyetinin iyileştirilmesi
- Teknoloji erişilebilirliğinin ve kapsayıcılığının artırılması
- Teknoloji geliştirmede sosyal sorumluluğun ve sürdürülebilirliğin ön plana alınması
- Teknolojinin çevresel etkisinin azaltılması

İnsan-Makine Etkileşimi (Leng, vd., 2022; Nahavandi, 2019)

- İnsan-makine etkileşiminin ve iletişiminin iyileştirilmesi
- İnsan-makine sistemlerinin verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılması
- İnsan-makine sistemlerinde güvenliğin ve risk yönetiminin artırılması
- Karar alma ve problem çözme yeteneklerinin geliştirilmesi

İnsan-Robot İş birliği (Demir, vd., 2019; Fraga-Lamas, vd.,2020)

- Daha güvenli çalışma koşulları ve çalışanların konforunun artması
- Robotik yardım sayesinde üretkenlik ve verimliliğin artması
- Görev hassasiyeti ve tutarlılığının iyileştirilmesi
- Robotik verimlilik sayesinde maliyetlerin azalması ve karlılık artışı
- Ürün kişiselleştirmenin geliştirilmesi

İnsan Merkezli Otomasyon (Golovianko, vd., 2023; Lu, vd., 2022)

- Çalışanlar için rutin ve sıkıcı görevlerin otomasyona bağlanması
- Esnek bir altyapı için insan yaratıcılığının ve otomasyonun entegre edilmesi
- Sıkıntılı ve tehlikeli işlerin ortadan kaldırılması ve çalışma ortamını iyileştirmek için tatminkâr ve çekici roller yaratılması
- Büyüme için yeni beceri geliştirme ve kariyer fırsatları sunulması
- Gelişen rollerde gerekli beceriler için eğitim

İnsan Hakları ve Çalışanların Refahı (Adel, 2022; Alves, vd., 2023)

- Güvenli ve adil çalışma koşullarının sağlanması
- İşçi haklarının korunması ve ayrımcılığın yasaklanması
- Fiziksel ve zihinsel sağlığın ve refahın ön plana alınması
- Eğitim ve öğretim olanakları sağlanması
- İş kanunlarına uygunluğun sağlanması ve etik uygulamaların teşvik edilmesi

Müşteri Merkezli Tedarik Zinciri (Javaid ve Haleem, 2020; Martinelli, vd., 2018)

- Kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetler sayesinde müşteri memnuniyeti ve sadakatinin artırılması
- Değişken müşteri taleplerini karşılamak için tedarik zinciri çevikliğinin ve verimliliğinin artırılması
- Kişiselleştirme yoluyla artan ürün kalitesi
- Teknoloji ve verinin kişiselleştirilmiş müşteri deneyimlerini zenginleştirmek için daha etkin kullanılması

### 3.2. İnsan Merkezli Tedarik Zinciri 5.0 Yapılandırmasına İlişkin Teknolojik Araçlar ve Çıktılar

Uç Bilişim (Edge Computing): Veri işleme ve analizini merkezileştirilmiş bulut altyapılarından uzaklaştırarak veri kaynağına yakın konumlandırılan bilgi işlem teknolojisi (Maddikunta, vd., 2022).

- Gerçek zamanlı operasyon ve araç izleme
- Artan siber güvenlik
- Veriye dayalı gerçek zamanlı karar alma
- Operasyonel verimlilik ve güvenlik

Dijital İkiz (Digital Twins): Fiziksel bir ürünün ya da bir hizmetin gerçek dünyadaki görünümünün, davranışının ve oluşturduğu sonuçların dijital kopyası (Müller, 2020).

- Tedarik zinciri boyunca artan görünürlük
- Lojistik süreçlerin optimizasyonu
- Önleyici bakım
- Tasarım özelleştirme



- Tedarik zinciri dayanıklılık stres testi

Kognitif Bilişim (Cognitive Computing): Verileri yorumlamak ve karar almak için insan davranışını ve muhakemesini taklit etmeye çalışan yapay zekâ tabanlı teknoloji platformu (Leng, vd., 2022).

- Trend ve müşteri davranışlarının belirlenmesi
- Müşteri deneyiminin geliştirilmesi
- İnsanın yaratıcılık potansiyelinin açığa çıkarılması
- Kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetler sunulması

Blokzincir (Blockchain): Tanımlanmış katılımcılar arasında verilerin güvenli bir şekilde paylaşıldığı, korunduğu ve değiştirilemediği dijital kayıt defteri (DHL, 2020).

- Tedarik zinciri boyunca operasyonel şeffaflık ve güven
- Akıllı sözleşmelerle hızlandırılmış süreçler, azalan hatalar
- Ürün geçmişine ilişkin dijital kimlik
- Kripto para ile ödeme

İşbirlikçi Robotlar (Cobots): Herhangi bir güvenlik bariyerine ihtiyaç olmadan üretim hatlarında insanlarla yan yana, birlikte ve etkileşim ve güven içerisinde çalışabilen endüstriyel robotlar (Østergaard, 2018).

- Artan üretkenlik, tutarlılık, doğruluk ve kalite
- İnsanın iş becerilerinin geliştirilmesi
- Üretimde ve işgücünde artan esneklik
- Daha iyi, konforlu, güvenli ve endişesiz çalışma ortamı
- Çalışanların daha tatminkâr işlere yönlendirilerek refah ve bağlılıklarının artması

Katmanlı İmalat (Additive Manufacturing): Hammaddenin bilgisayar programlı olarak ardışık katmanlar halinde eklenmesi yoluyla 3 boyutlu bir nesne oluşturulması. 3D, 4D, 5D yazıcı teknolojisi (Santhi ve Muthuswamy, 2023).

- Kişiselleştirilmiş ürünlerin seri imalatı
- Azalan atıklar ve israf
- Bio materyal kullanımı ile azalan karbon ayak izi
- Azalan envanter maliyeti

Zenginleştirilmiş Gerçeklik (Extended Reality): Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik gibi farklı deneyimsel teknoloji türlerini kapsar (DHL, 2020).

- Güvenli ortamda eğitim ve simulasyon
- Görsel ve işitsel iş akışı rehberliği ile operasyon hız ve doğruluğunun artırılması
- Uzaktan hızlı operasyonel destek ve iş birliği

Görsel Yapay Zekâ (Computer Vision AI): Fotoğraf ya da video formatındaki dijital görüntülerden elde edilen verileri analiz eden yapay zekâ teknolojisi (DHL, 2020).

- İşyeri güvenliğinin artırılması
- Operasyonel hataların önlenmesi
- Araç ve ekipman verimliliğinin artırılması
- Sipariş ve sevkiyat süreçlerinin optimizasyonu

Yeni Nesil Kablosuz İletişim Ağı (5G / 6G WiFi): Herkesin ve her şeyin her yerde birbirine bağlanmasına yardımcı olmak için çeşitli frekansların ve bant genişliklerinin kullanımını içeren kablosuz iletişim teknolojisi (Santhi ve Muthuswamy, 2023)

- Müşteriler için uçtan uca gerçek zamanlı görünürlük
- Operasyonel süreç optimizasyonu
- Akıllı kaynak yönetimi
- Artan bağlantı hızı
- Kesintisiz, sürekli bağlantı

#### 4. Sonuç

Son on yıldır etkisini sürdüren dördüncü endüstri devrimi (E4.0), tedarik, üretim ve dağıtım süreçlerinde üretkenlik, verimlilik ve kalitenin artırılması için, dijital teknolojinin sunduğu tüm imkanlardan yararlanarak, insandan mümkün olduğunca arındırılmış, tam otomasyona dayalı, akıllı sistemlerle nitelendirilmiştir. Bu yeni paradigmayı benimseyen işletmeler ekonomik hedeflerine kısa sürede ulaşmış olmasına karşın çevresel ve toplumsal bazı sorunların çözümünde başarılı olamamış, özellikle insan işgücünün endüstriyel ortamlardan uzaklaştırılmasından kaynaklanan birtakım sosyolojik sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. İlave olarak, hızla yükselen kişiye özel ürün ve hizmet trendi ve COVID-19 pandemisinin yarattığı tedarik ve üretim krizi, verimlilik ve üretkenliğin ötesinde, daha dirençli, ekonomik sürdürülebilirliği çevresel ve sosyal sürdürülebilirlikle dengeleyen, insani değerlere saygılı ve hayati toplumsal ihtiyaçlara katkıda bulunacak yeni bir yaklaşımın doğmasına neden olmuştur.

E4.0'ın teknolojik temeli üzerine inşa edilen E5.0, insan ve teknolojiyi barıştıran, teknolojiyi insanın yerine değil yararına kullanan işçilerin refahını ve çalışanları, müşterileri ve genel olarak topluma ilişkin diğer insani değerleri üretim süreçlerinin merkezine koyan, gezegenimizin ekolojik üretim sınırlarına saygı duyan, sürdürülebilir ve dirençli bir endüstriye geçiş olarak değerlendirilmektedir. Buna paralel olarak, E5.0 tedarik zincirleri de insanın (çalışanların ve müşterilerin) temel ihtiyaçlarına ve refahına öncelik veren, kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetler ve sosyal sorumluluk ve sürdürülebilirliği teşvik eden teknolojiler ve süreçlerle yeniden yapılandırılmalıdır.

Son beş yıllık literatüre dayanan bu çalışma sonucunda, tedarik zincirlerinin insan merkezli yapılandırılmasında stratejik araçlar; insan odaklı teknoloji tasarımı, insan-makine etkileşimi, insan-robot iş birliği, insan-merkezli otomasyon, insan hakları ve çalışanların refahı, müşteri-odaklı tedarik zinciri olarak belirlenmiştir. Bu stratejilerin uygulanmasını sağlayacak ana teknolojiler; uç bilişim, dijital ikiz, kognitif bilişim, blokzincir, işbirlikçi robotlar, katmanlı imalat, genişletilmiş gerçeklik, görsel yapay zekâ ve yeni nesil 5G/6G kablosuz iletişim ağıdır. Stratejilerin uygulamaya konmasına yönelik aksiyonlar ve çıktılar ve bu stratejileri destekleyen teknolojik araçlardan beklenen faydalar bir bütün halinde sunulmuştur.

Bu çalışma, E5.0 yaklaşımını ve teknolojik araçlarını benimseyen firmalar için, E5.0'in insan odaklılık ilkesinin tedarik zincirlerine entegre edilmesini sağlayacak stratejik ve teknolojik gereksinimlere ilişkin bir rehber niteliğindedir. Bu çalışma temelinde, E5.0'in tedarik zincirine uyarlanmasında sürdürülebilirlik ve dayanıklılık boyutlarındaki stratejik ve teknolojik gereksinimleri ele alan bundan sonraki çalışmalar da tedarik zinciri yönetimi alanındaki literatüre önemli katkı sağlayacaktır.

## Referanslar

- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, Open access, Volume 11, 40. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-003145>
- Alves, J., Lima, T.M. ve Gaspar, P.D. (2023). Is Industry 5.0, a human-centred approach? A systematic review. *Processes*, 11, 193.
- Bettoni, A., Montini, E., Righi, M., Villani, V., Tsvetanov, R., Borgia, S. ve Carpanzano, E. (2020). Mutualistic and adaptive human-machine collaboration based on machine learning in an injection moulding manufacturing line. *Procedia CIRP* 93:395–400
- Demir, K.A., Döven, G. ve Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and human-robot co-working. *Procedia Computer Science* 158(2019), 688–695
- DHL Trend Research (2020). *The Logistics Trend Radar*, 6<sup>th</sup> edition, open acces at <https://www.dhl.com/tr-en/home/insights-and-innovation/insights/logistics-trend-radar.html>
- Breque, M., De Nul, L. ve Petridis, A. (2021). Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry. *European Commission (EC), Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office.*
- Fraga-Lamas, P., Varela-Barbeito, J. ve Fernández-Caramés, T.M. (2021). Next generation auto identification and traceability technologies for Industry 5.0: a methodology and practical use case for the shipbuilding industry. *IEEE Access* 9:140700–140730
- Frederico, G.F. (2021). From supply chain 4.0 to supply chain 5.0: Findings from a systematic literature review and research directions. *Logistics*, 5, 49.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, M.F., Mubarik, M., Rejeb, A. ve Nilashi, M. (2022). Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development: A strategy roadmap for delivering sustainability values. *Sustainable Production and Consumption* 33(2022), 716–737
- Golovianko, M., Terziyan, V., Branytskyi, V. ve Malyk, D. (2023). Industry 4.0 vs. Industry 5.0: co-existence, transition, or a hybrid. *Procedia Computer Science* 217:102–113
- Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives, *International Journal of Production Research*, 61:5, 1683-1695
- Jafari, N., Azarian, M. ve Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What are the implications for smart logistics? *Logistics*, 6(2022), 26.
- Javaid, M. ve Haleem, A. (2020). Critical components of Industry 5.0 towards a successful adoption in the field of manufacturing. *Journal of Industrial Integration and Management* 5(03):327–348
- Kumar, R., Gupta, P., Singh, S. ve Jain, D. (2021). Human empowerment by Industry 5.0 in digital era: Analysis of enablers. *In advances in industrial and production engineering, Springer: Singapore, 2021; pp 401-410.*
- Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C. ve Liu, Q. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems* 65, 279– 295
- Lu, Y., Zheng, H., Chand, S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X. ve Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems* 62, 612–627
- Martinelli, E.M. ve Tunisini, A. (2019). Customer integration into supply chains: literature review and research propositions. *Journal of Business & Industrial Marketing* 34/1 (2019), 24–38

- Maddikunta, P.K.R., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., Ruby, R. ve Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration* 26 (2022), 100257
- Minculete, G., Barsan, G. ve Olar, P. (2021). Conceptual approaches of Industry 5.0. correlative elements with supply chain management 5.0. *Review of International Comparative Management*, 22, Issue 5
- Moosavi, J., Fathollahi-Fard, A.M. ve Dulebenets, M.A. (2022). Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 75(2022), 102983
- Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0: results of a workshop with Europe's technology leaders, *European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office.* <https://data.europa.eu/doi/10.2777/082634>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-centric solution. *Sustainability*, 11, 4371
- Nara, E.O.B., Costa, M.B., Baierle, I.C., Schaefer, J.L., vd. (2021). Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry. *Sustainable Production and Consumption* 25(2021), 102–122
- Østergaard, E. H. (2018). Welcome to industry 5.0. Retrieved February, 5, 2020, [https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Welcome%20to%20Industry%205.0\\_Esben%20%C3%98stergaard.pdf](https://info.universal-robots.com/hubfs/Enablers/White%20papers/Welcome%20to%20Industry%205.0_Esben%20%C3%98stergaard.pdf)
- Paschek, D., Mocan, A., ve Draghici, A. (2019, Mayıs). Industry 5.0—The expected impact of next industrial revolution. In *Thriving on future education, industry, business, and Society, Proceedings of the MakeLearn and TIIM International Conference*, Piran, Slovenia (pp. 15-17).
- Potocan, V., Mulej, M. ve Nedelko, Z. (2020). Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems. *Kybernetes*, 50, No. 3, pp. 794-811
- Santhi, A.R. ve Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int. Journal of Interactive Design and Manufacturing* (2023) 17:947–979
- Sharma, V., Raut, R.D., Keshteli, M.H., Narkhede, B.E., Gokhale, R. ve Priyadarshinee, P. (2022). Mediating effect of industry 4.0 technologies on the supply chain management practices and supply chain performance. *Journal of Environmental Management* 322(2022), 115945
- Stevens, G.C. ve Johnson, M. (2016). Integrating the supply chain . 25 years on. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 46, No. 1, pp. 19-42.
- Villar, A., Paladini, S. ve Buckley, O. (2023). Towards supply chain 5.0: Redesigning supply chains as resilient, sustainable, and human-centric systems in a post-pandemic world. *Operations Research Forum* 4, 60
- Xu, X., Lu, Y., Heuser, B.G. ve Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535

- Zengin, A.Y. (2023). Going green – Industry 5.0: Supply chain and demanding customer. *International Journal of Economics And Political Sciences*, 7(17), 21-30.
- Zizic, M.C., Mladineo, M., Gjeldum, N. ve Celent, L. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology. *Energies* 2022, 15, 5221.