

ENDÜSTRİ 4.0 VE LOJİSTİK 4.0 KAPSAMINDA AKILLI DEPO SİSTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Emine GENÇ¹
İbrahim TUNALI²

ÖZET

Endüstri 4.0 hayatın her alanında oluşturduğu etki ile bir devrim olarak kabul edilmektedir. Endüstri 4.0 işletmelerin üretim, yönetim, lojistik, satınalma ve depo gibi birçok alanında aktif bir şekilde kullanılmaktadır ve birçok alanda olduğu gibi depo yönetim süreçlerinde de etkisi çok fazla olmuştur. Günümüzde depolar ürünlerin saklandığı alanlar olmanın dışında, müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek için hizmet sağlayan merkezler haline gelmiştir. İşletmelerin ürünlerini zamanında sevk etmeleri, üretimi hızlandırmaları, mamul, yarı mamul ve hammaddelerini daha etkin yönetebilmeleri, depolama maliyetlerini minimuma indirmeleri ve maksimum verimlilik sağlamaları için Endüstri 4.0 teknolojisinin sunduğu akıllı depo sistemlerini kullanmaları kaçınılmaz olmuştur. İşletmeler için depolar, lojistik faaliyetler bakımından hayati önem arz etmektedir. Depoların etkin bir şekilde yönetilmesi işletmeler için rekabet üstünlüğü avantajını sağlamada kilit rol oynamaktadır. Bu çalışmada Endüstri tarihinin gelişimi, buna bağlı olarak Endüstri 4.0 devriminin lojistik sektörünün gelişimini ne yönde etkilediği ve lojistik sektörünün gelişimine bağlı olarak akıllı depo sistemlerinin bileşenleri ve kullanımı sonrası avantajları ile dezavantajlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmada, Endüstri 4.0 ve ona bağlı olarak gelişen Lojistik 4.0 kavramları ve akıllı depo sistemleri hakkında kapsamlı literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Lojistik faaliyetler bakımından depolar işletmeler için hayati önem arz etmektedir. Depoların otomasyon teknolojileriyle donatılması ile geliştirilecek akıllı depolama sistemleri işletmenin performans ve verimliliğini arttıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Lojistik 4.0, Akıllı Depo Sistemleri.

¹ Bartın Ün., İİBF, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Böl., ORCID: 0000-0003-1178-6929, egenc@bartin.edu.tr

² Bartın Ün., Lisansüstü Eğitim Enst., ORCID: 0000-0002-4644-4331, ibrahimtunali_89@hotmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article, Geliş Tarihi/Received: 31/08/2022–Kabul Tarihi/Accepted: 17/10/2022

SMART WAREHOUSE SYSTEMS WITHIN THE SCOPE OF INDUSTRY 4.0 AND LOGISTICS 4.0

ABSTRACT

As Industry 4.0, a revolution with an impact is accepted on every site. Industry 4.0 businesses are actively used in areas such as management, logistics, purchasing and warehouse. Today, they will be able to be designed for warehouses, to become centers that serve in order to respond to customer demands. It is aimed to guide the smart warehouse systems of Industry 4.0 design in order to control the shipments, accelerate the downloads, manage the finished, semi-product and raw materials more effectively, minimize the storage costs and direct them in a controlled manner. In this study, it will be aimed to deal with the design of the industry, and accordingly, the industry 4.0 can be designed to be completed and the smart warehouse can be designed and implemented. In this study, Industry 4.0 can be applied in the literature and information about the Logistics 4.0 view and smart warehouse systems. In terms of logistics activities, warehouses are of vital importance for businesses. Intelligent storage systems to be developed by equipping warehouses with automation technologies will increase the performance and efficiency of the enterprise.

Keywords: Industry 4.0, Logistics 4.0, Smart Warehouse Systems.

GİRİŞ

Günümüzde işletmeler maliyetlerini düşürmek ve müşteri ihtiyaçlarına daha net cevap verebilmek adına inovasyonlar yapmakta veya akıllı sistemlere geçmektedir. İşletmelerin akıllı sistemlere geçmesiyle birlikte yeni paradigmlar ortaya çıkmaktadır. Devrim niteliğindeki bu dönüşümün kaynağı Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0 iş modellerinde oluşturduğu etki nedeniyle işletmelerin yönetim ve üretim kavramlarında birçok yenilik meydana gelmektedir. Endüstri 4.0 devrimi daha verimli sistemlere ulaşmayı amaçlayarak, çeşitli teknolojilerin bir arada kullanılmasına öncülük etmektedir.

Sanayi devrimlerinin gelişimi incelendiğinde dört temel sanayi devrimi söz konusudur. Birinci sanayi devrimi sırasında su ve buhar güçlerinin yardımıyla mekanik üretim tesisleri geliştirilmiştir. İkinci sanayi devrimi sırasında elektrik enerjisi yardımıyla seri üretim gerçekleştirilmiştir. Üçüncü sanayi devrimi sırasında, üretim otomasyonunu ilerleten elektronik ve bilgi teknolojileri tanıtılmış, Dördüncü sanayi devrimi sırasında, siber-fiziksel sistemlerin kullanımı, endüstrilerde, özellikle imalat sektöründe bir paradigma değişimini tetiklemiştir (Xu vd., 2018).

Dördüncü sanayi devriminin başlangıcını simgeleyen Endüstri 4.0 kavramı, ilk olarak 2011 yılında Hannover Fuarı sırasında tanıtıldı; ayrıca, 2013 yılında, şu anda imalat sektöründe devrim yaratan endüstrilerde öncü bir rol üstlenmek için bir Alman stratejik girişimi olarak resmi olarak ilan edildi (Alexopoulos vd., 2016; Qin vd., 2016; Li, 2017).

Endüstri 4.0, imalat endüstrisindeki otomasyon teknolojilerinin mevcut trendini temsil eder ve esas olarak siber-fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bulut bilişim gibi etkinleştirici teknolojileri içerir (Hermann vd., 2016; Kagermann vd., 2013; Lu, 2017, Lasi vd., 2014). Endüstri 4.0 tüm dünyanın içinde bulunduğu dijital dönüşümü temsil eden, üretim teknolojilerini, veri sistemini ve üretim otomasyonlarını içinde barındıran kolektif bir yapıdır (Bilgin Sarı, 2018). Endüstri 4.0 bağlamındaki yaklaşımlar ve fikirler, elektrik mühendisliği, işletme yönetimi, bilgisayar bilimi, işletme ve bilgi sistemleri mühendisliği ve makine mühendisliği gibi birçok disiplinin içerisinde yer almaktadır. Bu doğrultuda Endüstri 4.0'ın sadece teknolojik değil, aynı zamanda çok yönlü organizasyonel etkileri de vardır (Lasi vd., 2014). Tüm sektörlerde ve iş yapış şekillerinde köklü değişimlere yol açan Endüstri 4.0'ın dünyadaki önemi gittikçe artmaktadır (Genç, 2020).

Küresel ekonomide ve küresel iş operasyonlarında, daha fazla verimlilik, yetkinlik ve rekabet gücü elde etmek için genel sanayileşme, bilişim ve üretim süreçlerinde dijitalleşme düzeyini arttırmak için Endüstri 4.0'a ihtiyaç vardır. Endüstri 4.0'ın küresel endüstriyel gelişme üzerinde uzun vadeli önemli bir stratejik etkiye sahip olduğu iyi bilinmektedir. Bu konunun önemi nedeniyle, Endüstri 4.0'ın tasarımı, uygulanması ve yönetimi ile ilgili sorunlar, zorluklar ve çözümler hakkında bilgi sağlamak için Endüstri 4.0 ile ilgili araştırmalara yönelik artan bir talep vardır (Xu vd., 2018).

Endüstri 4.0 sadece akademisyenler arasında değil, aynı zamanda iş dünyasında da önemi anlaşılan bir konudur ve bu kapsamda gelişen kavramlardan biri Lojistik 4.0'dır. Wang (2016)'ya göre Lojistik 4.0, geleneksel lojistiği ve benlik algısını geliştirecek ve geliştirecektir. Lojistik, endüstriler için değer zincirinin temel direklerinden biridir ve onlar için doğru malın, doğru miktarda ve doğru kalitede, doğru zamanda, doğru yerde, doğru koşulda ve doğru fiyatta olması (Lojistiğin 7 Doğrusu) çok önemlidir, aksi takdirde piyasada rekabet edemezler. Dinamik olarak değişen ve belirsizliğin olduğu lojistik süreçlerde, bu gereksinimlerin karşılanması giderek zorlaşmaktadır (Wang, 2016). Lojistik sektörünün tarihsel gelişimi endüstrinin gelişimine paralel olarak ilerlemiştir. Buharlı makinelerin kullanılmasıyla lojistik 1.0, elektrik ve petrol yakıtlarının kullanılmasıyla lojistik 2.0, imalatta otomasyon, depo yönetim sistemleri ve taşıma yönetim sistemlerinin kullanılmasıyla lojistik 3.0, siber fiziksel sistemlerin kullanılmasıyla lojistik 4.0 kavramları ortaya çıkmıştır (Galindo, 2016). Lojistik, işletmelerde malzeme ve bilgi akışlarının yönetimi ile ilgilidir (Christopher, 2016). Daha spesifik olarak, malzemelerin hareketinin ve depolanmasının yönetimini ve ilgili bilgileri kapsar. Amaç bitmiş ürünleri uygun hizmet düzeyi ve kalitede, mümkün olan en düşük maliyetle son müşteriye ulaştırmaktır. Lojistik tedarik zincirinin ana unsurları, tedarik, üretim, dağıtım ve tersine lojistik zincirini içerir (Dey vd., 2011; Jonsson, 2008). Günümüzde lojistik faaliyetlerinin, pazar taleplerinin izlenmesini, doğrudan kullanıcılara da aktarılacak gerçek zamanlı bilgi akışını, ürün ve hizmetlerin kişiselleştirilmesini, küresel tedarik zincirini de kapsamı beklenmektedir (Rodiovejevic ve Milosavljevic, 2019).

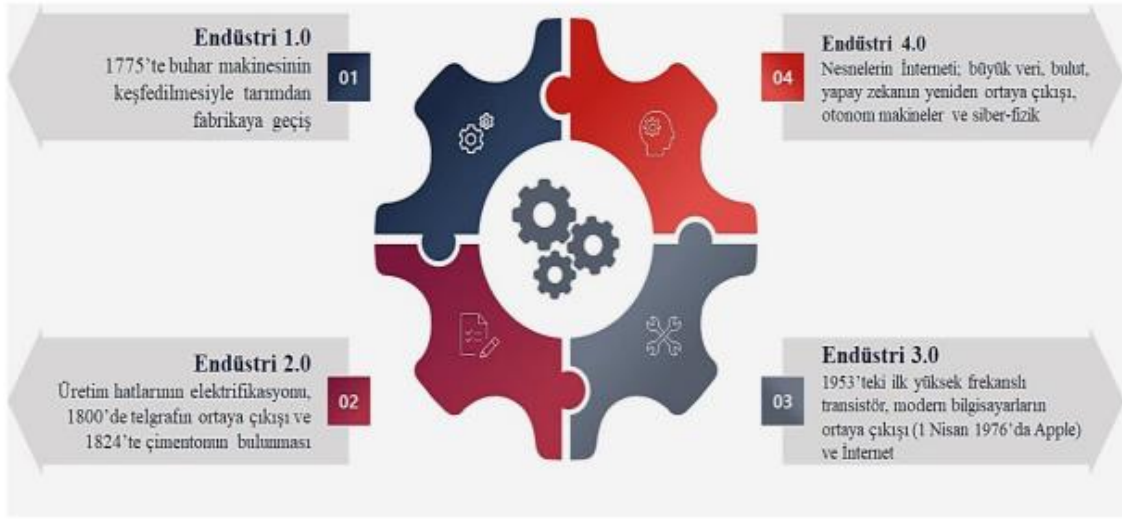
Herhangi bir tedarik zincirinde depo, zincir ortaklarını birbirine bağlayan ana bileşendir ve günümüzde rekabet faktörü olarak hareket etmektedir. Bu nedenle depoların etkin bir şekilde yönetilmesi ve kaynaklarının verimli bir şekilde tahsis edilmesi çok gerekli hale gelmiştir. Lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde önemli bir bölüm olan depoların artan ihtiyaca olumlu yanıt vermesi gerekmektedir. Gelişen depolama teknolojileri ile donatılan “akıllı depo” sistemi, geleceğin depo gelişimi için verimli bir çözüm olarak endüstri ve teknoloji devlerinin giderek artan ilgisini çekmektedir. Bu çalışmada artan önemine bağlı olarak Endüstri 4.0 ve ona bağlı olarak gelişen Lojistik 4.0 kavramları ve bu doğrultuda akıllı depo sistemleri hakkında kapsamlı literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

1. ENDÜSTRİ 4.0

Dünya’da her biri insanlığa fayda sağlayarak toplumları ileriye taşıyan dört sanayi devrimi yaşanmıştır. İlk sanayi devrimi 1770’lerde İngiltere’de başlamış ve 19. yüzyılda Avrupa’nın geri kalanına ve Amerika Birleşik Devletleri’ne yayılmıştır (Stevenson, 2015). O zamana kadar üretim zanaatkarlar ve çırakları tarafından aile atölyelerinde yapılırdı. Birinci sanayi devrimi sırasında buhar motorunun kullanılmaya başlanması, fabrikalarda üretimin mekanize edilmesi için bir güç kaynağı sağlamış ve kırsal çiftliklerden kentsel alanlara göç eden milyonlarca insana iş sağlamıştır (Li, 2017). Bu dönemde üretim büyük oranda artmış ve ülke ekonomileri gelişmiştir (Alçın, 2016). Birinci sanayi devriminden sonra teknolojinin ilerlemesiyle birlikte elektrifikasyon veya otomasyon çağı olarak bilinen ikinci sanayi devrimine geçildi. Henry Ford araba üretim fabrikasında hareketli montaj hattı kurarak ikinci sanayi devrimine geçişin öncüsü olmuştur ve Taylor’un ele aldığı “Bilimsel Yönetim Anlayışı” üretim tekniklerinde büyük dönüşüm yaşanmasına etken olmuştur (Şimşek ve Çelik, 2013). Daha sonra bilgisayar teknolojisi, bilgi teknolojisi ve yaygın dijitalleşme, genellikle üçüncü sanayi devrimi olarak adlandırılan dijital devrim üzerinde büyük bir etki yaratarak üretim ve hizmetin otomasyonuna izin vermiştir. İmalat, alt montajda veya son montajda bir dereceye kadar esneklikle standartlaştırılmış ürünler üretmek için programlanabilir makinelerin yardımıyla ürün üretme stratejisi olan toplu üretimden kitlesel kişiselleştirmeye doğru evrilmiştir. Üçüncü sanayi devrimi küreselleşmeyi de başlatmıştır. Bir üretim tedarik zinciri kavramı artık bir şirket içinde sadece dikey bir entegrasyon değildir. Bunun yerine, bir üretim tedarik zinciri dünya çapında sanal entegrasyon haline geldi. Bu devrim, dünyada önceki iki sanayi devriminden daha fazla insana fayda sağladı (Li, 2017).

Dördüncü sanayi devrimi teknolojik gelişmelerden kaynaklı olarak ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 kavramı ilk 2011 yılında Hannover Fuarı sırasında ortaya çıktı; ayrıca, 2013 yılında, şu anda imalat sektöründe devrim yaratan endüstrilerde öncü bir rol üstlenmek için bir Alman stratejik girişimi olarak resmi olarak ilan edildi (Alexopoulos vd., 2016; Qin vd., 2016; Li, 2017). Endüstri 4.0, imalat endüstrisindeki otomasyon teknolojilerinin mevcut trendini temsil eder ve esas olarak siber-fiziksel sistemler (CPS), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bulut bilişim gibi etkinleştirici teknolojileri içerir (Hermann vd., 2016; Kagermann vd., 2013; Lu, 2017, Lasi vd., 2014). Endüstri 4.0 fiziksel ve sanal dünyanın birleştiği bir sistemdir. Endüstri devrimleri ve temel özellikleri Şekil 1’de sunulmuştur.

Şekil 1: Endüstri Devrimleri



Kaynak: Dastbaz, 2019; Akt. Türkel ve Yeşilkuş, 2020

Endüstri 4.0; veri paylaşma, veri toplama, bilişim alanlarındaki gelişmeleri, üretim teknolojilerindeki gelişmeleri ve otomasyonu bütünsel olarak ele alan bir yapıyı ifade etmektedir (Banger, 2018). Başka bir deyişle Endüstri 4.0; var olan her nesnenin, yapay zeka, uzay teknolojileri, üç boyutlu yazıcılar ve robotik teknolojileri gibi alanlarda meydana gelen gelişmelerle birlikte diğer nesnelere internet aracılığıyla iletişim kurduğu akıllı üretim dönemi olarak kabul görmektedir. Bu dönemde fiziksel ve sanal sistemlerin bütünleşerek, internete bağlanan nesnelerin akıllanması düşünülmektedir (Aksoy, 2017). Bu alandaki en ilginç etkilerden biri olarak üç boyutlu yazıcılar gösterilebilir. “Katmanlı imalat” olarak adlandırılan bu üretim teknolojisi yapay zekâ ile bütünleştirildiğinde tahmin edilenden çok daha fazla alanda etkin bir şekilde kullanılabilir (Banger, 2018).

Endüstri 4.0'ın ana amacı, akıllı fabrikalarda kendi kendini yönetebilen sistemler sayesinde daha hızlı, daha verimli ve daha güvenli üretim yapmaktır. Akıllı fabrikalar, fiziksel ve sanal dünya arasında entegrasyon sağlamak kaydıyla veri alışverişi yapabilen akıllı otonom sistemler olarak tanımlanmaktadır. Vasıfsız iş gücü ihtiyacını otomasyonlaşma yoluyla gidermek, katma değer açısından devrimdir (Şener ve Elevli, 2017). Endüstri 4.0'ın hedefleri, daha yüksek düzeyde bir operasyonel verimlilik ve üretkenliğin yanı sıra daha yüksek bir otomasyon düzeyi elde etmektir (Thames ve Schaefer, 2016). Endüstri 4.0'ın beş ana özelliği şu şekilde ifade edilmektedir; dijitalleşme, optimizasyon ve üretimin özelleştirilmesi; otomasyon ve adaptasyon; insan makine etkileşimi; katma değerli hizmetler ve işletmeler; otomatik veri alışverişi ve iletişim. Bu özellikler yalnızca internet teknolojileri ve gelişmiş algoritmalarla yüksek düzeyde ilişkili olmakla kalmaz, aynı zamanda Endüstri 4.0'ın endüstriyel bir değer katma ve bilgi yönetimi süreci olduğunu da gösterir (Roblek vd., 2016; Posada vd., 2015; Lu, 2017).

Endüstri 4.0'ı anlayabilmek için bu terminolojide kullanılan terimleri bilmek önem arz etmektedir. Bu terimlerin çoğunun kullanılıyor olması Endüstri 4.0'ın kullanılmaya başlandığını ve gelecekte nerelere gidebileceğine dair yol göstermektedir. Şekil 2'de gösterildiği gibi geleceğin endüstrisi olan Endüstri 4.0'ı oluşturan dokuz temel bileşen yer almaktadır (Tusiad, 2016).

Şekil 2: Endüstri 4.0'ı Oluşturan Dokuz Temel Bileşen



Kaynak: Tusiad, 2016

Büyük Veri ve Analizi: Dağınık ve görece olarak kalitesiz durumda olan verinin anlamlandırılabilmesine, karar vericilere isabetli bilgilerin sağlanmasına ve süreçlerin iyileştirilmesine olanak sağlar. Bulut bilişim sayesinde bilgi depolamaya ve bilişime ait sınırlar ortadan kaldırılmış, küresel dünyada depolanan tüm veriler Büyük veriyi (Big Data) oluşturmuştur. Büyük veri; sistemli bir şekilde ya da rasgele elde edilmiş, işlenmiş veya ham verilerden oluşmaktadır. Gerçekçi stratejiler oluşturmak ve karar alma imkânı elde etmek için büyük verinin analiz edilmesi gerekmektedir (Bulut, 2018).

Bulut Bilişim: Bulut bilişim internet tabanlı bir yapıdır. Ana sunucu bilgisayar ve ağa bağlı yazılım vasıtasıyla bu yapı, çalışmaların mevcut ağ üzerinde her yerden ulaşabilecek şekilde paylaşılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca bulut bilişimin veri depolama işlevleri de bulunmakta olup gerekli verilere her yerden erişilebilmektedir. Bulut bilişimin temin ettiği olanaklar vasıtasıyla bilgisayar yazılım ve donanım yatırımları önemli ölçüde düşmektedir (Banger, 2018). Bulut bilişimin gelişmesiyle birlikte büyük veri internet üzerinden depolanabilir ve kolayca erişilebilir hale gelmiştir. Bulut bilişimin kullanılması, kişisel bilgisayarlardaki depolama yükünü azaltır ve uygulamaların kişisel bilgisayara kurulmadan kullanılmasına olanak sağlar (Bulut, 2018).

Akıllı Robotlar ve Yapay Zekâ: Üretim aşamalarında kullanılan otonom makinelerin yapay zekâ ile desteklendiğinde kendi kendine karar vererek üretim yapabilmeleri düşünülmektedir. Yapay zekâ büyük veriden beslenerek gelişimini sağlamaktadır (Fırat ve Fırat, 2017). Yapay zekâ destekli çalışan otonom robotlar üretim ile sürekli iletişim halinde kalarak kendi hatalarını denetlemeleri, sürekli iyileştirme ve tavsiyelerle üretim hatlarını daha verimli hale getirmeleri beklenmektedir.

Üç Boyutlu (3B) Yazıcılar: Üç boyutlu yazıcılar klasik yazıcıların aksine gerçek hayatta gördüğümüz bir endüstriyel nesnenin çok kısa bir sürede üretilmesine imkân veren yazıcılardır. Günümüzde yeni bir ürün satın aldığımızda yanında üç boyutlu çizimleri verilerek yedek parça üretimi yapılarak parça değişimine imkân vermektedir (Dinç, 2018).

Simülasyon: Bir diğer bileşen olan simülasyonun diğer adı ise dijital ikiz olarak geçmektedir. Simülasyon, gerçek dünyada var olan siber fiziksel verilerin sanal bir ortamda gerçek özellikleri dâhilinde modellemeye imkân veren bir tekniktir. Proseslerin gelişiminin takip edilebilmesine imkân vermesi sebebiyle risk yönetimi, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Simülasyonun amacı mevcut veriye ait olasılıkların sanal ortamda gözlenerek gerekli aksiyonların alınıp planlanabilmesidir. Bir simülasyon modelinin başarılı sayılabilmesi için fiziksel sistemdeki tüm verilerin sanal ortamda modellenmesi gerekmektedir (Çelen, 2017).

Nesnelerin İnterneti (IoT): Nesnelerin interneti radyo frekans algılayıcıları RFID, sensörler, cep telefonları ve tüm akıllı cihazların endüstriyel amaçlara ulaşılması için kullanılmasını ifade etmektedir. Bir başka deyişle nesnelerin interneti; ürettiği bilgiyi internet üzerinden paylaşabilen tüm bilişim cihazlarını, nesnelere, insanları, dijital veya mekanik makineleri birbirine bağlayan teknolojinin adıdır. Bu teknoloji nesnelere eşsiz birer kimlik atayarak bir insan müdahalesi olmadan birbirleri arasında ve merkezi kontrol mekanizmalarıyla veri alışverişine olanak tanır (Dijital Dönüşüm, 2021).

Artırılmış Gerçeklik: Artırılmış gerçeklik, bilgisayarlar aracılığı ile oluşturulan sanal ortamlarda gerçek dünyadaki fiziksel ortamı, oluşturulan duyularla canlı, gerçek ve dinamik olarak algılamamızı sağlayan heyecan verici bir teknolojidir (Kahraman, 2016). Bir başka deyişle; fiziksel çevremizde hissettiğimiz gerçek nesnelerin bilgisayar sistemleri olan grafik, video, ses gibi teknolojiler ile birleştirilerek sanal gerçeklik oluşturulmasıdır (Pehlivan, 2019).

Yatay – Dikey Yazılım Entegrasyonu (Siber Fiziksel Sistemler): Akıllı fabrika sistemleri içinde geçen tüm bölümler; bilgisayar, el terminalleri, makine, cihaz ve araçların birbirleri ile ilişkilendirilip haberleşmelerine dikey entegrasyon denir. Bir fabrikada üretim yapabilmek için birçok teçhizat, sistem, makine ve nesne kullanılması gerekmektedir. Bunların bazıları fiziksel amaçlı bazıları ise haberleşme amaçlı kullanılan üretim yönetimi, ERP, imalat ve denetleme amaçlı sensörler, vanalar ve motorlardır. Başka bir deyişle işletmelerdeki tüm fonksiyonların birbiri ile iletişim halinde olması dikey entegrasyon kavramını açıklamaktadır.

Yatay entegrasyon ise işletmenin kendi bünyesi dışında kalan dağıtıcılar, tedarikçiler, sigorta şirketleri, lojistik firmaları, finans kuruluşları ya da üreticiler ile endüstriyel internet üzerinden etkileşimini sağlayan entegrasyondur (Asar ve Esen, 2021). Yatay entegrasyon sayesinde birbiri ile ilişkili işletmeler, kaynaklarını etkin kullanmaktadır. Bu işletmeler aralarında mamul, yarı mamul, hammadde, finansman gibi akışları gerçekleştirebilir.

Siber fiziksel sistemler, sensörler ve aktüatörler vasıtasıyla gerçek dünya ile sanal dünyayı birleştiren sistemlerdir (Alçın, 2016). Siber fiziksel sistemler kullanılarak üretim yapılan akıllı işletmelerde, gerçek dünyanın bir kopyası oluşturularak üretimi yapılacak bir ürünün simülasyonu yapılmadan üretimi yapılması söz konusu olmayacaktır.

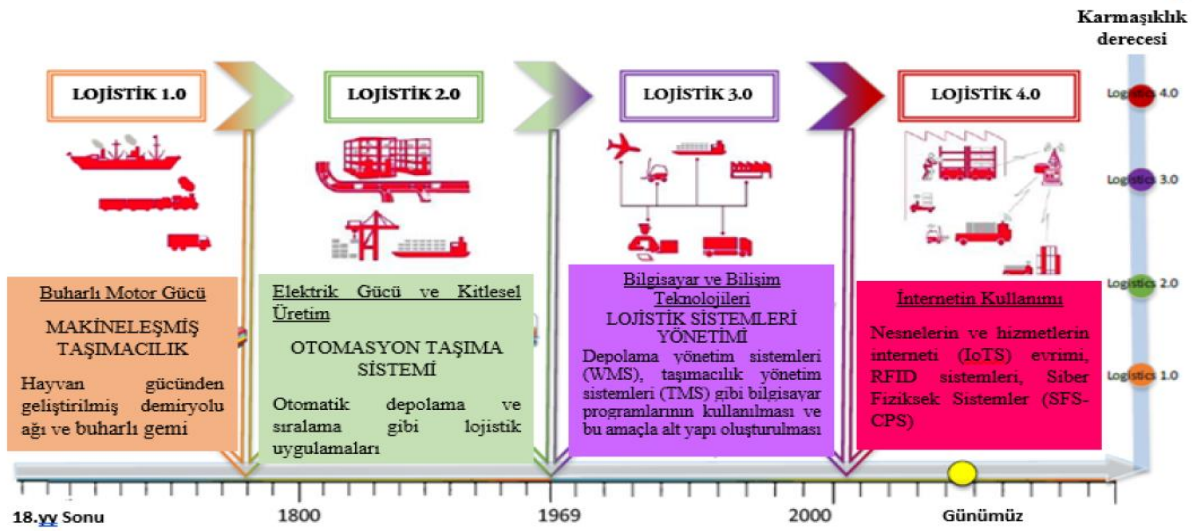
Siber Güvenlik: Siber güvenlik akıllı fabrikaların en kritik uygulamalarından biridir. Siber çevre, kullanıcıların veya kuruluşların devamlılıklarını korumak için güvenlik önlemi, araç, kurallar, risk yönetimi, eğitimler, en iyi uygulamalar gibi sigorta ve teknolojilerin bir arada toplanması olarak ifade edilmektedir. Siber güvenlik; bilgisayarları, akıllı cihazları, elektronik sistemleri, mobil cihazları ve var olan verileri kötü amaçlı yazılımlardan korumak için güvenlik önlemlerini içeren teknolojilerdir. Endüstri 4.0 ile birlikte dijital tedarikçiler ve akıllı sistemlerle üretim yapan işletmeler bu tarz siber risklerle karşı karşıya kalmaktadır. İnsanların hayatlarını kolaylaştıran bu cihazlar gerekli güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde çok büyük sorunlar ile karşılaşmak kaçınılmaz olacaktır (Dinç, 2018).

2. LOJİSTİK 4.0

Lojistik 4.0 veya Akıllı Lojistik, değişen müşteri gereksinimlerini karşılamak ve sürdürülebilir lojistik çözümler sağlamak amacıyla 2011 yıllarında gelişmiştir (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Lojistik 4.0, üretim mühendisliğinden bilinen Endüstri 4.0 kavramına benzer şekilde, donanım odaklı lojistikten yazılım odaklı lojistiğe, yani akıllı hizmet dünyasına dönüşümü ifade etmektedir (Timm ve Lorig, 2015). Siber fiziksel sistemlerin gelişmesiyle birlikte lojistik sektöründe bazı yenilikler ve uygulamalar gündeme gelerek lojistik 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır. Lojistik 4.0, akıllı ürünleri ve akıllı hizmetleri içine alan bir kavramdır. Lojistik 4.0, insanlar ile makinelerin gerçek zamanlı iletişimine imkan verir ve yoğun bir şekilde internet kullanımını gerektirir.

Müşteri talebindeki değişiklikler, lojistik sistemlerin evrimindeki temel itici güçlerden biridir (Yin vd., 2018). Lojistik sektörünün tarihi gelişimi, endüstrinin tarihi gelişimi ile oldukça benzerlik göstermektedir ve 4 aşamadan oluşmaktadır. Lojistik gelişim süreci Şekil 3'de sunulmuştur.

Şekil 3: Lojistik tarihinin gelişim süreci



Kaynak: Galindo, 2016

Lojistik 1.0; Buhar makinesinin icadı ile birinci endüstri devrimi başlamış ve kırsal yaşamdan sanayileşmeye geçilmiştir. Öncesinde at arabaları gibi ilkel yöntemlerle yapılan lojistik taşıma faaliyetleri, buhar makinelerinin ulaşımda kullanılmasıyla birlikte demir yolu, hava yolu ve deniz yolu taşımacılığı kullanılmaya başlanmış ve karayolu taşımacılığı bir nebze de olsa azalmıştır (Şekkeli ve Bakan, 2018). **Lojistik 2.0;** İkinci endüstri (endüstri 2.0) devrimi, 19. yüzyılın sonu ve 20. yüzyılın ilk yarısını kapsar ve üretim hatları ve seri üretimin geliştiği dönemdir. Bu dönem aynı zamanda teknolojik devrim olarak adlandırılır çünkü medeniyeti değiştiren birçok keşif ve icat bu dönemde gerçekleşmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak bu dönemde lojistik daha önemli hale gelmeye başlamış, yeni taşıma biçimleri geliştirilmiş, özel taşıma araçları ve malların otomatik elleçlenmesi için sistemler ortaya çıkmıştır. Bu dönemde, tedarik zinciri yönetimi küresel hale gelmiş, lojistik ağlar gelişmiş, belirli lojistik faaliyetler ve süreçlerde uzmanlaşan yeni alanlar ve şirketler ortaya çıkmıştır (Radiovejevic ve Milosavljevic, 2019). **Lojistik 3.0;** CNC, freze ve torna gibi makinelerinin ve otomatik üretim yapan robotların kullanılmasıyla birlikte Endüstri 3.0 kavramı ortaya çıkmıştır. Başka bir deyişle taşıma yönetim sistemlerinin ve depo yönetim sistemlerinin kullanılmasıyla birlikte lojistik 2.0, lojistik yönetiminin mekanizasyonu olarak adlandırılan değişime uğramıştır. Bu değişim de lojistik 3.0 olarak adlandırılmıştır (Erdem, 2021). Depo yönetim sistemleri ve taşıma yönetim sistemleri yazılımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte tedarikçilere verilen siparişlerde ihtiyaç anında erişilebilir olması adına lojistik süreçler planlanabilmektedir. Ayrıca bahsi geçen bu yazılımlarla nihai ürün veya hammadde taşıyan araçların rotalama planları yapılabilmektedir (Galindo, 2016).

Endüstri 4.0 üretimi doğrudan etkileyen bir faktördür. Üretim ve lojistiği birbirinden ayrı düşünmek mümkün olmadığı için Endüstri 4.0 etkilerinden lojistiğin etkilenmemesi de mümkün değildir. Bu sebeple Endüstri 4.0'ın etkileri lojistik 4.0 olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Lojistik 4.0'ı tanımlamak gerekirse; otonom karar alabilen sistemlerle yönetilen, bölgesel dinamiklere önem veren, lojistik süreçlerinin, tedarikçilerin ve müşterilerin birbirine dijital yollarla bağlandığı bir yapıdır (Tuğtekin, 2018). Lojistik 4.0'ın üç ana özelliği; dikey entegrasyon (bir fabrika içinde çeşitli seviyelerde farklı bilişim teknolojisi sistemlerinin entegrasyonu), yatay entegrasyon (şirketler arası işbirliği) ve uçtan uca mühendislik entegrasyonu (paydaşların, ürünlerin ve makinelerin çapraz bağlanması)'dur (Strandhagen vd., 2017). Lojistik 4.0, malların fiziksel hareketinin ve bununla ilgili bilgi akışının kaynaktan nihai varış noktasına kadar sistem tabanlı planlamasını ve kontrolünü içerir. Lojistik 4.0 uç ve temel teknolojileri kullanır ve müşterilerinin taleplerini maliyet artışı olmadan karşılayarak lojistik çözümler sunar (Frank vd., 2019; Bag vd., 2020). Lojistik 4.0 kapsamında kullanılan teknolojiye dayalı ürün ve hizmetler Şekil 4'de sunulmuştur.

Şekil 4: Lojistik 4.0 Kapsamında Kullanılan Teknolojilere Dayalı Ürün ve Hizmetler



Kaynak: Hülsmann, 2015

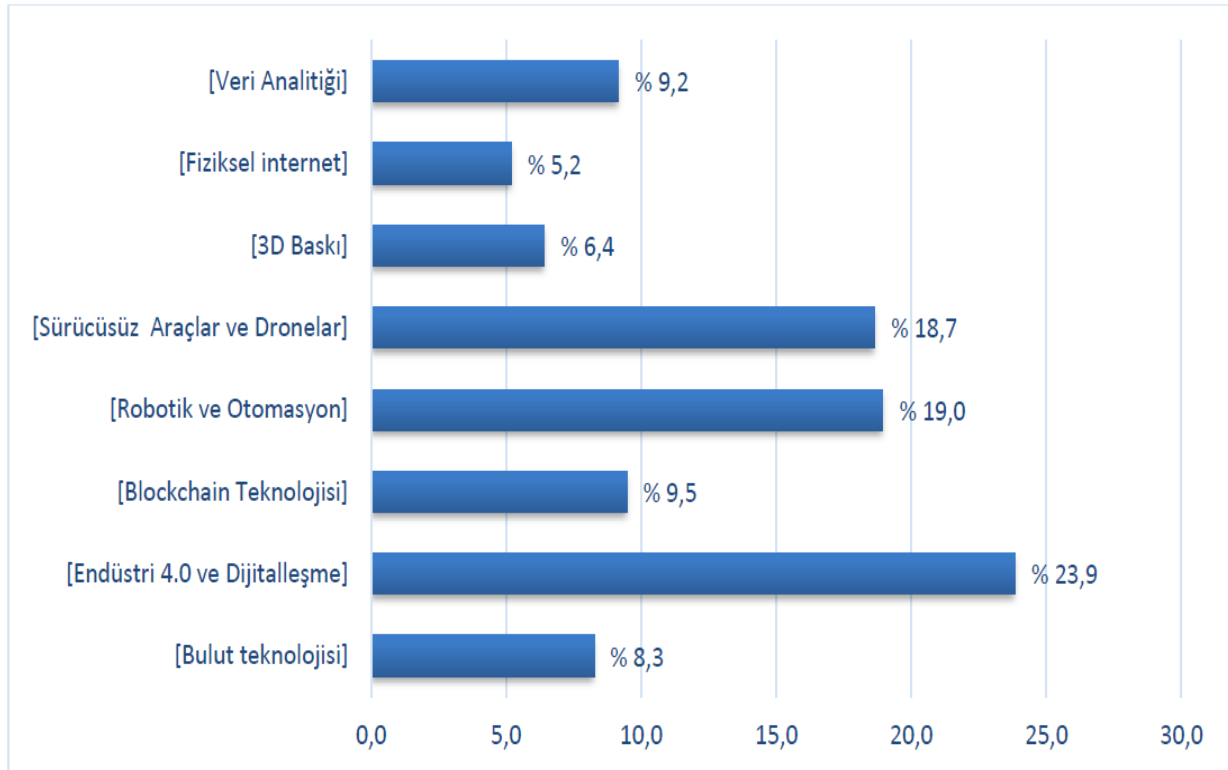
İngiltere'de belli bir seviyede sürücüsüz kontrol edilebilen kamyonlar test edilmeye başlandı. Ayrıca dünyada insan hatalarını minimuma indirmek ve maliyetleri düşürmek adına deniz yolu taşımacılığı için insansız gemi çalışmaları tüm hızıyla devam etmektedir (Tuğtekin, 2018). Lojistik 4.0'da tanımlanan birçok teknolojinin geleceğe dönük olduğu düşünülse de günümüze uyum sağlamıştır.

Fabrikalarda konteynırlar ve ürünler arasındaki iletişim, Lojistik 4.0 kullanılarak daha verimli hale gelmektedir. Örnek olarak, depo çalışanlarının depo düzenlemelerinde akıllı raf sistemleri ve veri gözlükleri kullanılarak minimum hata ile maksimum verimlilikte çalışmaları sağlanmaktadır (Kayaş, 2018).

Lojistik 4.0 temel olarak nesnelerin interneti (IoT), Siber-fiziksel sistemler (CPS), büyük veri analitiği ve bulut bilişim gibi teknolojileri kullanır (Winkelhaus ve Grosse, 2020). Bu teknolojilere dayalı olarak depo yönetim sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri, bilgi güvenliği ve blok zincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler aracılığıyla otonom sipariş işleme gibi çeşitli gelişim sistemler işletilmektedir (Hoffmann ve Rüşch, 2017; Barreto vd., 2017). Sektör içerisinde droneler, otonom araçlar ve otomasyona dayalı lojistik sistemler kritik gelişmeler olarak incelenmektedir (Ulaştırma ve Lojistik Sektör Raporu, 2018).

Şekil 5'te Türkiye'de lojistik sektörünün hangi teknolojik gelişmeden daha çok etkileneceğinin raporu sunulmuştur.

Şekil 5: Teknolojik Gelişmelerin Lojistik Sektörünün Geleceğini Etkileme Düzeyi



Kaynak: Ulaştırma ve Lojistik Sektör Raporu, 2018

Ulaştırma ve Lojistik Sektör Raporu (2018) incelendiğinde Endüstri 4.0 ve dijitalleşmeye dayalı teknolojilerin genel olarak lojistik sektörünü çok fazla etkileyeceği, Bunu robotik ve otomasyon ile sürücüsüz araçlar ve dronelerin takip ettiği görülmektedir (Şekil 5).

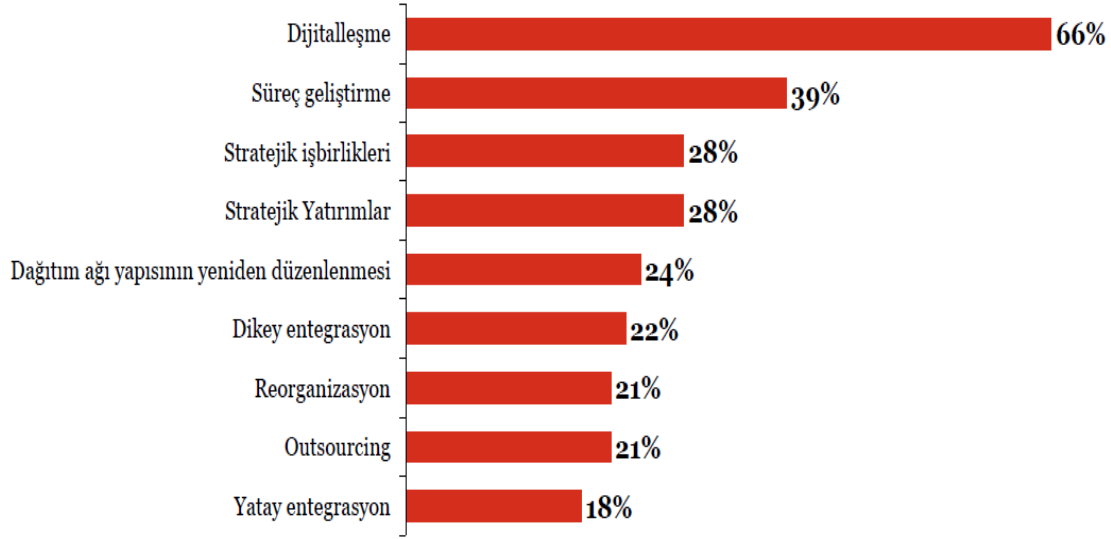
3. AKILLI DEPO SİSTEMLERİ

Endüstri 4.0’da yaşanan gelişmelerle birlikte üretimde insan gücüne dayalı sistemler yerini kendi kendine öğrenebilen, iletişim kurabilen ve karar verebilen sistemlere bırakmıştır. Akıllı depo sistemleri, işletmelerde sorunsuz ve verimli lojistik operasyonlar oluşturmada tedarik zinciri yönetiminin kilit parçası olarak kabul edilmektedir. Lojistik maliyetleri genel üretimin önemli bir parçası olarak kabul edildiğinden, bu tür operasyonlar bir şirketin rekabet gücünü belirlemede hayati bir rol oynar. Depolama maliyetlerini kontrol altına almak için birçok işletme, depoyu verimli ve etkili yöntemlerle çalıştırmak için özellikle tedarik zinciri ve lojistik alanında ortaya çıkan yeni teknolojileri kullanmaktadır. Depo yönetimi, popüler ve bilimsel literatüre göre, tedarik zinciri içinde daha fazla dikkat edilen kilit bir parçadır. Ayrıca, depo, tedarik zinciri boyunca malzeme akışını sağlayan bir yer olduğu için, işletme maliyetlerinin artmasına neden olan diğer kilit işlevlerinin yanı sıra, depo operasyonlarının performansına ve tasarımına da odaklanılmaktadır. Bu nedenlerle, depo, günümüz işletmelerinde geliştirilmesi gereken tedarik zincirinin önemli bir bileşeni olarak dikkate alınmaktadır (Gu vd., 2007; Berg, 1996; Kamali, 2019; Frazelle, 2002).

Depolardaki malzemelerin raflara yerleştirilmesi, raflardan alınıp sevkiyat alanlarına getirilmesi, depolarda adres değişimlerinde fiziki hareketlerinin yapılması gibi süreçlerde insan gücü veya makine operatörlerinden faydalanılmaktadır. Fakat mevcut olan bu durumda insan faktörü nedeniyle malzemelerde hasar meydana gelmesi, yanlış malzeme sevkiyatı, malzemelerin depolarda son kullanma tarihlerini tamamlaması ve zaman kaybı gibi sorunlar meydana gelmektedir. Bu nedenle depo yönetim süreçlerinin teknoloji ile yeniden ele alınması ve Endüstri 4.0 uygulamaları ile desteklenerek akıllı depo sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Akıllı depo sistemlerinin kullanılmasının avantajları aşağıdaki gibidir (Sarı vd., 2019);

- Depolama ve boşaltma operasyonlarındaki hızı arttırmak,
- İş kazanlarının önüne geçmek,
- Stok kontrolünü bilgisayar destekli (ERP) sağlamak,
- Müşteri taleplerini daha hızlı cevap verebilmek,
- Depolama süreçlerinin maliyetlerini minimuma düşürmek,
- Depolama, üretim, tedarik ve lojistik arasındaki iletişimi güçlendirmek,
- Depolama süreçlerindeki insan hatalarını minimuma düşürmek,
- Enerji verimliliği sağlamak,
- Uzaktan kontrol edilebilen depolama sistemlerini kurmak.

Şekil 6’da PWC firması tarafından yapılmış olan anket sonuçları paylaşılmıştır. Anket sonucuna göre tedarik zinciri yöneticileri, gelecek dönem tedarik zinciri yönetim stratejilerinde aldıkları inisiyatiflerinde dijitalleşme ön plana çıkmaktadır.

Şekil 6: Tedarik Zinciri Gelecek Dönem İnisiyatifleri ve Yatırım Planları

Kaynak: PWC, 2019

Akıllı depo sistemleri ile daha etkin ve verimli çalışma ile müşteri odaklı hizmet sunarak stratejik avantaj elde etmek mümkündür. Akıllı depo sistemleri; akıllı robotlar, akıllı raf sistemleri, bilgisayar sistemleri, donanım ve yazılımların toplamından oluşmaktadır. Akıllı depo sistemlerinde öne çıkan teknolojiler aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Akıllı Robotlar

Akıllı robotlar, yazılımlar aracılığı ile önceden programlanarak tanımlanan görev ve işlevleri yerine getiren elektromekanik cihazlardır (Tanrıverdi, 2017). Bu bağlamda akıllı robotlar malzemelerin adreslerine taşınmasında, malzemelerin adreslerinden alınmasında veya malzemelerin adresler arası transfer işlemlerinde insan gücüne gerek duymadan kullanılabilen akıllı depo sistemlerindedir. Akıllı robotların kullanımı iş gücünü azaltırken aynı zamanda iş kazası risklerini minimuma indirmektedir.

Lojistik ve tedarik zinciri sektöründe faaliyet gösteren kurumsal işletmeler robotik sistemlerinde içinde barındığı, depo ve dağıtım merkezlerinde verimliliği arttırmak için otomasyon teknolojilerini benimsemiştir. İş güvenliği açısından tehlikeli, maliyetli ve zaman alan operasyonları otomatikleştirmek için dağıtım merkezleri ve depolarda her geçen gün robotların kullanımını artmaktadır (Dorsey, 2020). Gelecekte dağıtım merkezleri ve depolarda insan gücüne ihtiyaç kalmadan tüm faaliyetlerin robotlarla yapıldığı durum söz konusu olacaktır. İnsanlar elleçleme, ürün yerleştirme gibi faaliyetlerin dışında, ileri düzey teknik konularda, programlamada, olağan dışı durumlarda çözüm üretme gibi konulardan sorumlu olacaklar ve sorumlu oldukları görevler daha fazla uzmanlaşabileceklerdir (Görçün, 2018).

Şekil 7’de akıllı robotlar yardımı ile raflara ürün yerleştirme ve raflardan ürün çekme işlemi gösterilmiştir.

Şekil 7: Depo içi taşıma robotları

Kaynak: Crowe, 2022

Akıllı depo sistemleri ile paletli malzemelerin çelik konstrüksiyon raflardaki adreslere taşınması ve ihtiyaç halinde yerleştirildiği adresler geri alınması robot kontrolünün yapılması sayesinde olmaktadır (Sarı vd., 2019). Robotların görevlerini tamamlamak için enerjiye ve şarja ihtiyaçları vardır. Bu doğrultuda otonom mobil robotları kullanan yeni bir trend depo sistemi Robotik Mobil Yeri Getirme Sistemi (RMFS)'dir (Bolu ve Korçak, 2021). Günümüzde birçok e-ticaret deposu bu sistemi kullanmaktadır. Robotların bölmeleri kaldırdığı ve toplama istasyonlarına getirdiği RMFS tabanlı depolar ilk olarak "KIVA Systems" tarafından tanıtıldı (Wurman vd., 2008). Amazon 2012 yılında Kiva sistemlerini satın aldı ve adını "Amazon Robotics" olarak değiştirdi. Amazon ve Alibaba gibi büyük perakendeciler RMFS kullanmaktadır (Boysen vd., 2019). O zamandan itibaren birçok şirket robot geliştirerek pazara girmiştir. Ancak bir RMFS yatırımının en pahalı kısmı robotlardır. Bu nedenle, daha az sayıda robotla daha fazla sipariş tamamlamak için RMFS'de optimizasyon, çok önemli bir verimlilik noktasıdır (Bolu ve Korçak, 2021).

3.2.Akıllı Depolama ve Boşaltma Sistemleri (AR/RS)

AS/RS'ler malzemeleri (bileşenler, araçlar, hammadde ve alt montajlar) büyük bir hız ve doğrulukla otomatik olarak işleyen, depolayan ve alan bir ekipman ve kontrol kombinasyonudur (Manzini vd., 2006). AS/RS, ambar malzeme taşıma ve stok kontrolünde sipariş toplama ve benzeri uygulamalar amacıyla ve ayrıca modern fabrikalarda proses içi depolama için kullanılan en önemli araçlardan biridir. Tipik bir AS/RS, depolama yuvalarına (hücrelere) sahip birden çok paralel raf koridorunun, her bir koridor için bir depolama alma makinesinden ve bir giriş/çıkış istasyonundan oluşur. Seyahat süresini azaltmak için yatay ve dikey yönlerde aynı anda hareket eder. İki modda çalışır: tek komut ve çift komut.

Tek komut altında, depolama makinesi ya depolar ya da alır, çift komut altında ise depolama makinesinin bir hareket döngüsü sırasında öğelerin hem depolanması hem de alınması gerçekleştirilir (Hur vd., 2004).

AS/RS'de yatırım maliyetleri yüksektir ve planlamanın doğru yapılması gerekir. Çünkü esnek olmayan yerleşime ve sabit depolama kapasitesine yol açar. Birim yükleri depolamak veya geri almak için, büyük bir depo binasına giden önemli miktarda zemin alanı kaplayan raflar arasında koridorlar gereklidir (Xu vd., 2015). AS/RS'lerde bir koridor boyunca sabit bir ray üzerinde aynı anda hem yatay hem de dikey hareket etme kabiliyetine sahip bir kule robot mevcuttur. Kule robot kendi içinde bir bütündür. İhtiyacı olan bütün sistem ve bileşenleri bir pano içinde taşır. Kule robotun hareket sistemi senkron veya asenkron motorlar ile sağlanmaktadır. Kule robot hat boyunca mesafe ölçen hassas konumlama sağlayacak hassasiyete sahip sensörlerle donatılmıştır (Corobo, 2022).

3.3.Otomatik Kılavuzlu Araçlar (AGV)

Malzeme taşıma sistemleri arasında en fazla teknolojik gelişmeler otomatik kılavuzlu araçlar (AGV) üzerine yoğunlaşmıştır. AGV'ler birim yükü dışarıdan gelen rehber sinyaller vasıtasıyla bir yerden başka bir yere taşıyan sürücüsüz araçlardır. Bu araçlar sahip oldukları esneklik özellikleri ile günümüzde hizmet sektöründen üretim sektörüne birçok alanda kullanılabilir (Eren Şenaras ve Sezen, 2016). AGV robotu, tipik olarak araç şasisi, gömülü kontrolör, motorlar, sürücüler, navigasyon ve çarpışmadan kaçınma sensörleri, iletişim cihazı ve bazıları yük aktarma cihazına sahip bataryadan oluşan bir sistemdir (Moshayedi vd., 2019). Akıllı depo otomasyonunu bir parçası olarak çoğu çevrimiçi perakendeci, depo toplama paketleme işlemlerini ve operasyonları hızlandırmak için robotik, AGV'leri kullanmaktadır (He vd., 2018). Bu tür sistemlerin sunabileceği avantajlar arasında artan esneklik, daha iyi alan kullanımı, iyileştirilmiş fabrika zemin güvenliği, genel işletme maliyetinde azalma ve diğer otomatik sistemlerle daha kolay arayüz yer almaktadır (Ganesharajah vd., 1998).

3.4.Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Radyo Frekansı Tanımlaması (RFID)

Nesnelerin interneti (IoT) kavramı, çeşitli haberleşme protokolleri sayesinde birbirleri ile haberleşen ve birbirine bağlanarak bilgi paylaşabilen, akıllı bir ağ oluşturmuş cihazlar sistemi olarak tarif edilebilir (Ünlü, 2020). Teknik açıdan IoT şu şekilde özetlenebilir: fiziksel ve sanal nesnelere bağlama, nesne tanımlama, otonom veri toplama ve algılama, veri iletimi, ağ bağlantısı, ittifak hizmetleri ve küresel ağ alt yapısı. IoT'un mimarisi üç farklı katman içerir; algı katmanı, ağ katmanı ve uygulama katmanı. Algı katmanı sensörlerden oluşur ve konumu ve ortamı izleyebilir. Ağ katmanı, her cihazın bir IP adresine sahip olması için iletim işlevleri sağlamak için kablosuz veya kablolu internet ve bulut teknolojilerini içerir. Uygulama katmanı, IoT hizmetlerinin geliştirilmesinin özüdür. Cihazlar bağlandığında farklı fikirlerle farklı alanlarda kullanılabilirler (Sung ve Lu, 2018). Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi (RFID)'nde, etiketler ve sensör gibi bir takım algılayıcı cihaz yerleştirilmiş nesnelere birbirleri ve çevreleriyle internet üzerinden iletişim kurarak nesnelere interneti sistemini oluşturur.

RFID, nesnelerin interneti sisteminin temel bileşeni ve etkinleştiricisi olarak kabul edilir (Torgul, 2015). Bu teknoloji, radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemidir ve her türlü nesnenin, belirli bir mesafeden tanınmasına ve izlenmesine olanak sağlar (Ünlü, 2020). RFID, kablosuz bir iletişim teknolojisidir, sistem ile belirli tanımlama hedefi arasında başka bir mekanik veya fiziksel temas kurmaya gerek yoktur. Sinyal iletimi, radyo frekansı elektromanyetik alanı aracılığıyla gerçekleşir, akıllı etiket çok ince olabilir ve gizlendiğinde veya kirliliği ortamda okunabilir (Sung ve Lu, 2018).

RFID uygulamaları tedarik zinciri yönetimi, stok yönetimi, lojistik, askeri uygulamalar, imalat endüstrisi ve hizmet endüstrisi gibi birçok endüstride kullanım alanı giderek yaygınlaşan bir teknoloji türünü ifade etmektedir (Feng, 2011). RFID'ın stok kontrolünde kullanımı ile firmaların nereye, ne kadar, hangi tarihte ürün veya hizmet sağlamaları gerektiğinin kararı, etkileşimli olarak hangi üründen ne kadar ve hangi süreyle stok bulunduracağını yönetimi, elektronik ortamda alıcı ve satıcılar arasında etkileşimin sağlanması gibi avantajlar elde edilir (Yüksel ve Zaim, 2008). RFID uygulamaları tedarik zinciri performansını önemli ölçüde etkilemektedir. RFID teknolojisi, optimum stok seviyelerini azaltarak ve stok hatalarını ortadan kaldırarak envanter yönetiminde verimliliğin artmasında kaldıraç görevi üstlenmektedir (Senauer ve Seltzer, 2010; Sari, 2010).

Kişi ve nesne hakkındaki bilgiyi toplayıp insansız olarak bilgi sistemlerine aktarılmasını sağlayan RFID bir otomatik tanımlama sistemidir. Diğer otomatik tanımlama teknolojileri arasında barkodlar, optik karakter tanıma, manyetik şeritler, akıllı kartlar ve biyometrik tanıma sistemleri bulunmaktadır (Feng, 2011). RFID teknolojisi barkod ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Görüş mesafesinde olma zorunluluğu olmadan yüzlerce ürünün tanımlanması çok kısa bir süre zarfında gerçekleşmektedir. Bu özelliği, tedarik zincirinde yer alan ürünlerin takibini ve izlenmesini kolaylaştırmaktadır (Tu vd., 2018).

SONUÇ

Modern ekonomi, küresel değişimi teşvik eden bilgi teknolojilerinin her yerde uygulanması ile karakterize edilen dinamik olarak gelişen bir sistemdir. Bu değişiklikler, ürün ve hizmetler, iş süreçleri gibi kavramları değiştiren, robotik, katmanlı üretim, bulut teknolojileri, nesnelerin interneti, vb. diğer teknolojik yeniliklerin aktif kullanımı ile ilişkilidir. Yapılan bu çalışmada akıllı depo sistemlerinin lojistik faaliyetleri nasıl etkileyeceği, akıllı depo sistemlerinin sağladığı avantajlar ve akıllı depo sistemlerinin sebep olduğu dezavantajlar ortaya konulmuştur. Lojistik faaliyetler hayatın her alanına sirayet etmiş, gündelik hayatın en önemli parçalarından biri olmuştur. Günümüzde işletmeler tarafından drone ile teslimatlar yapılmaya başlanmış, ayrıca drone ile depo sayımları ve depolarda mal toplama işlemleri yapılmaktadır. Lojistik faaliyetlerin ve tedarik zincirlerinin yönetimi ile ilgili yapılan gelecek planlarında hemen hemen tüm tüketicilerin alışverişlerini fiziki mağazalar yerine internet mağazalarından yapacakları, bundan sebeple perakendecilerin tedarik zincirindeki yerinin önemini azalacağını, dağıtım merkezlerinin

giderek öneminin artacağını ve ürünlerin dağıtım merkezlerinden sevk edilip, direkt olarak müşteriye ulaştırılacağı tahmin edilmektedir.

2011 yılında Alman hükümeti tarafından ortaya atıldığı günden beri Endüstri 4.0 tüm dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. Son yıllarda geliştirilen teknolojiler ile birlikte otonom araçlar, robotlar, kendi kendine karar verebilen sistemler, yapay zekâ vb. sistemler daha da popüler hale gelmiştir. Japon teknoloji devi Mitsubishi endüstri 4.0 kapsamında M2M olarak bilinen makineden makineye bağlantı platformunu oluşturmuştur. Bu sayede farklı makineler birbirleri ile nesnelerin interneti aracılığı ile bağlantı kurmaktadır. Bu teknoloji ile ultra modern olarak tanımlanan akıllı ürünler elde edilmektedir (Zhang vd., 2017).

Depolar işletmeler için lojistik faaliyetler bakımından hayati önem arz etmektedir. Depoların etkin bir şekilde yönetilmesi işletmeler için rekabet üstünlüğü avantajını sağlamada kilit rol oynamaktadır. Depoların otomasyon teknolojileriyle donatılmasıyla insan ve makinelerin etkileşimi artarak, sesli, ışıklı ve yüz tanıma sistemlerini geliştirilebilir hale getirecektir. Lojistik 4.0 uygulamaları ile birlikte otomatik yönetilebilen depolama araçlarının, akıllı depolama sistemlerinin, kendi kendini yönlendirebilen sistemlerin, akıllı rafların kullanımını arttıracak ve depolama süreçlerinde performans ve verimlilik artışı sağlayacaktır (Çetin, 2017). Akıllı depo sistemlerinin lojistik sektöründe kullanılmasının başlıca amaçları arasında depolama maliyetlerini minimuma indirmek, iş güvenliği risklerini minimuma indirmek, depolarda maksimum verimliliği elde etmek, izlenebilirliği arttırmak, yeni iş modellerini tasarlamak ve insan faktöründen kaynaklı hataları minimuma indirmek olduğu belirtilmiştir. Akıllı depo sistemleri, geleneksel depo sistemlerine göre daha güvenilir, hata payı düşük ve stabil sistemlerdir. Çin menşeli e-ticaret şirketi olan Alibaba'nın deposunda 60 adetten fazla robot bulunmaktadır. Bu robotlar sayesinde şirketin deposunun verimliliği 3 katına çıkmıştır (Altan, 2018).

Dünya üzerinde kendi çalışma sistemi ve operasyonlarının entegrasyonunu sağlamış bir depo yönetim sistemi, ticari işletmeler boyutunda kişiliğini bulmuş bir yapıdadır. Onun artık, A'dan Z'ye tüm iş akışı ve sağladığı hizmet işletmeye özeldir ve yapısı, yaşayan bir organizasyondur. Bu çerçevede konveyör sistemlerini, asansörlerini, raflarını, AGV'lerini (Otomatik Yönlendirilen Araçlar), ATL'lerini (Otomatik Römork Yükleyiciler), AGC'lerini (Otomatik Yönlendirilen Taşıyıcılar), AS/RS'lerini (Otomatik Depolama/Erişim Sistemleri) ve depo yönetim sisteminin kullanımını karmaşık tedarik zinciri içinde yalınlaştıracak şekilde günlük operasyonlarını otomasyona geçirmiş ve bütünleşmesini sağlamış bir depo "akıllıdır" ve yönetimi konsantre bir çabayı gerektirir (Bilgili, 2012). Bu noktada akıllı depoların teknolojilerle donatılmasının yanında yönetim süreçlerine yönelik çalışmaların da yapılması önerilmektedir. Depo, müşteri siparişlerinin doğru bir şekilde sunulması için tedarik zinciri yönetiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Dünyaca ünlü e-ticaret firması Amazon teslimat sürelerini kısaltmak için kendi lojistik zincirini oluşturmak amacıyla uçak, gemi gibi ulaştırma araçlarına yatırım yapmaktadır. Ayrıca bu gemileri depo üslerine çevirerek insansız hava araçlarıyla teslimatlarını yapmayı hedeflemektedir (Urhan, 2018).

İşletmeler, yeni müşteri gereksinimleriyle ve günümüz endüstrisinde temel değişikliklere yol açan küresel rekabetle karşı karşıyadır. Bu noktada depolar dâhil olmak üzere tüm lojistik

faaliyetleri ve süreçleri, pazar gereksinimlerinin işlenmesi ve üretim planlamasından ürünlerin son kullanıcılara teslimine kadar Endüstri 4.0 teknolojileri ile desteklenmelidir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, S. (2017). Değişen Teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş. SAV Katkı, 4, 34-44.
- Alçın, S. (2016). Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0. Journal of Life Economics, 3(2), 19-30. <https://doi.org/10.15637/jlecon.129>
- Alexopoulos, K., Makris, S., Xanthakis, V., Sipsas, K. ve Chryssolouris, G. (2016). A Concept for Context-Aware Computing in Manufacturing: The Whati Goods Case. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 29(8), 839-849. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130257>
- Altan, S. (2018, Ağustos 16). Alibaba'nın Robotlar Tarafından İdare Edilen Akıllı Deposu. Pazarlamasyon: <https://www.pazarlamasyon.com/alibabanin-robotlar-tarafindan-idare-edilen-akilli-deposu> adresinden alındı
- Asar, İ. ve Esen, Ş. (2021). Endüstri 4.0 ve İşletme Yönetiminin Geleceğine Olası Etkileri: Kavramsal Bir Araştırma. Journal of Academic Value Studies, 7(4), 459-468. <http://dx.doi.org/10.29228/jav.51809>
- Bag, S., Gupta, S. ve Luo, Z. (2020). Examining the Role of Logistics 4.0 Enabled Dynamic Capabilities on Firm Performance. The International Journal of Logistics Management, 31(3), 607-628. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2019-0311>
- Banger, G. (2018). Endüstri 4.0: Uygulama ve Dönüşüm Rehberi. Eskişehir: Darlion Yayınları.
- Barreto, L., Amaral, A. ve Pereira, T. (2017). Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview. Procedia Manufacturing, 13, 1245-1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Berg, J. P. Van Den. (2007). Integral Warehouse Management. Erişim Adresi: <http://www.lulu.com>
- Bilgili, T. (2012). Akıllı Depolama Yönetimi. Erişim Adresi: <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/10105/akilli-depolama-yonetimi->
- Bilgin Sarı, E. (2018). Reflections of Industry 4.0 to Management of Service Enterprises: Smart Hotels. Uluslararası Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi, 2(2), 33-40. <https://doi.org/10.30625/ijctr.451722>
- Bolu, A. ve Korçak, O. (2021). Adaptive Task Planning for Multi-Robot Smart Warehouse. IEEE Access, 9 February. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3058190>
- Boysen, R. de Koster ve Weidinger, F. (2019). Warehousing in the E-Commerce Era: A Survey, Eur. J. Oper. Res., 277(2), 396-411. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>
- Bulut, C. (2018). Bulut Bilişim (Cloud Computing) Nedir? Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu. Erişim Adresi: : <https://www.endustri40.com/bulut-bilisim-cloud-computing-nedir/>
- Christopher, M. (2016). Logistics and Supply Chain Management, Pearson, Harlow.
- Corobo (2022). Lojistik Ürünler. Erişim Adresi: http://www.corobo.com/iclojistikurunleri_menu/asrsrobotlari/
- Crowe, S. (2022). Depo Otomasyonu: Olgunluğunuzu ve Sonraki Adımlarını Haritalama. Erişim Adresi: <https://www.roboticsbusinessreview.com/autonomous-mobile-robots-amrs/warehouse-automation-mapping-your-maturity-and-next-steps/>
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve Simülasyon. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 1(1), 9-26.

- <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/33982/376175#:~:text=26%20.%20Retrieve%20from-,https%3A//dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/33982/376175,-MLA>
- Çetin, A. (2017). Lojistik ve Endüstri 4.0 Yaklaşımı. Taşıma Dünyası Gazetesi. Erişim Adresi: <https://www.tasimadunyasi.com/lojistik/lojistik-ve-endustri-40-yaklasimi-h4016.html>
- Dastbaz, M. (2019). Industry 4.0: The Hype, The Reality, and the Challenges Ahead. In Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future (ss. 1-11). Springer, Cham.
- Dey, A., LeGuardia, P. ve Srinivasan, M. (2011). Building Sustainability in Logistics Operations: A Research Agenda. *Manag. Res. Rev.* 34(11), 1237-1259. <https://doi.org/10.1108/01409171111178774>
- Dijital Dönüşüm. (2021). Innova. Erişim Adresi: <https://www.innova.com.tr/tr/blog/dijital-donusum-blog/nesnelerin-interneti-iot-nedir>
- Dinç, F. (2018). 4. Sanayi Devrimi ve Siber Güvenlik. Erişim Adresi: [www.ankaenstitusu.com: http://ankaenstitusu.com/4-sanayi-devrimi-ve-siber-guvenlik](http://ankaenstitusu.com/4-sanayi-devrimi-ve-siber-guvenlik)
- Dorsey, K. (2020). Webinar: Depo, Lojistik ve Dağıtım Merkezi Operasyonları İçin Robotik Çözümler, *Robotics Business Review*. Erişim Adresi: <https://www.roboticsbusinessreview.com/autonomous-guided-vehicles-agvs/robotics-solutions-warehouse-fulfillment-distribution-center-operations/>
- Erdem, Ş. (2021). Tedarik Zinciri ve Lojistik 5.0. Erişim Adresi: <https://www.lojistikcilerinsesi.biz/2021/05/05/tedarik-zinciri-ve-lojistik-5-0/>
- Eren Şenaras, A. ve Sezen, H. K. (2016). AGV Niteliklerinin İmalat Sistemlerine Etkisinin Benzetim ile İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 35(1), 103-117.
- Feng, H. Y. (2011). Development of an RFID-Baset Tourist Management System the Case of Kenting Resor Village in Taiwan. *Journal of International Management Studies*, 6(1), 54-58.
- Fırat, O. Z. ve Fırat, S. Ü. (2017). Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211-223. <http://dx.doi.org/10.5152/iujbs.2017.005>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S. ve Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Frazelle, E. (2002). *Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management*. New York: McGraw-Hill.
- Galindo, L. D. (2016). The Challenges of Logistics 4.0 for the Supply Chain Management an the Information Technology. Master of Science in Mechanical Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Department of Production and Quality Engineering.
- Ganesharajah, T., Hall, N. G. ve Sriskandarajah, C. (1998). Design and Operational Issues in AGV-Served Manufacturing Systems. *Annals of Operations Research*, 76, 109-154. [https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018936219150#citeas:~:text=109%E2%80%93154%20\(1998\)-,https%3A//doi.org/10.1023/A%3A1018936219150,-Download%20citation](https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018936219150#citeas:~:text=109%E2%80%93154%20(1998)-,https%3A//doi.org/10.1023/A%3A1018936219150,-Download%20citation)
- Genç, E. (2020). Lojistik Bölümü Öğrencilerinin Lojistiğin Dijitalleşmesi Sürecine Yaklaşımları: Öğrencilerin Bireysel Yenilikçilik Düzeyleri ve Endüstri 4.0'a Bakış Açıkları Kapsamında Değerlendirilmesi. *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*, 6(24), 1003-1026. <http://dx.doi.org/10.26728/ideas.361>

- Görçün, Ö. F. (2018). Lojistikte Teknoloji Kullanımı ve Robotik Sistemler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(24), 351-368. <https://doi.org/10.20875/makusobed.397373>
- Gu, J., Goetschalckx, M. ve McGinnis, L. F. (2007). Research on Warehouse Operation: A Cophrensive Review. European Journal of Operational Research, 177(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- He, Z., Aggarwal, V. ve Nof, S. Y. (2018). Differentiated Service Policy in Smart Warehouse Automation. International Journal of Production Research, 56(22), 6956-6970. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421789>
- Hermann, M., Pentek, T. ve Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. Proceedings of 2016 49 th Hawaii International Conference on Systems Science, January 5-8, Maui, Hawaii.
- Hofmann, E. ve Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the Current Status as Well as Future Prospects on Logistics. Computers in Industry, 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Hur, S., Lee, Y. H., Lim, S. Y. ve Lee, M. H. (2004). A Performance Estimation Model for AS/RS by M/G/1 Queuing System. Computers & Industrial Engineering, 46(2), 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2003.12.007>
- Hülsmann, T. (2015). Logistics 4.0 and the Internet of Things, Workshop, Platforms for Connected Factories of the Future.
- Jonsson, P. (2008). Logistics and Supply Chain Management. New York: McGraw-Hill.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech-National Academy of Science and Engineering, Germany.
- Kahraman, H. (2016). Artırılmış Gerçeklik. Erişim Adresi: <https://www.endustri40.com/artirilmis-gerceklik-augmented-reality/>
- Kamali, A. (2019). Smartwarehouse vs. Traditional Warehouse. CIIT International Journal of Automation and Autonomous System, 11(1), 9-16.
- Kayaş, S. K. (2018). Lojistik 4.0: Geleceğe Giden Yol. Erişim Adresi: <https://mag4.com/lojistik-4-0-gelecege-giden-yol/>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. ve Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239-242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Li, L. (2017). China's Manufacturing Locus in 2025: With a Comparison of "Made-in China 2025" and "Industry 4.0". Technological Forecasting and Social Change. 135, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.028>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. Journal of Industrial Information Integration, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Manzini, R., Gamberi, M. ve Regattieri, A. (2006). Design and Control of an AS/RS. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28(7), 766-774.
- Moshayedi, A. J., Jinsong, L. ve Liao, L. (2019). AGV (Automated Guided Vehicle) Robot: Mission and Obstacles in Design and Performance. Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering, 12(4), 5-18.
- Pehlivan, G. (2019). Artırılmış Gerçeklik Nedir?. Erişim Adresi: www.codemodeon.com.tr: <https://codemodeon.com/tr/artirilmis-gerceklik-nedir/>

- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., DeAmicis, R., . ve Vallarino, I. (2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26-40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>
- PWC. (2019). Tedarik Zinciri Yönetimi Araştırması, TEDAR. Erişim Adresi: <https://www.pwc.com.tr/tr/advisory/assets/tedarik-zinciri-yonetimi-arastirmasi-2019.pdf>
- Qin, J., Liu, Y. ve Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia, CIRP* 52, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Radiojevic, G. ve Milosavljevic, L. (2019). The Concept of Logistics 4.0. In 4th Logistics International Conference (pp. 283-292).
- Roblek, V., Mesko, M. ve Krapez, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *Sage Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177%2F2158244016653987>
- Sarı, E. B., Özveri, O. ve Şenyay, U. E. (2019). Endüstri 4.0'ın İş Süreçlerine Etkisi: Akıllı Depo Sistemi Uygulaması. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 466-477.
- Sari, K. (2010). Exploring the Impacts of Radio Frequency Identification (RFID) Technology on Supply Chain Performance. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.04.003>
- Senauer, B. ve Seltzer, J. (2010). The Changing Face of Food Retailing. *Choices magazine and the Agricultural and Applied Economics Association*, 25(4), 1-5.
- Stevenson, W. J. (2012). *Operations Management*. New York: McGraw-Hill.
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O. ve Vallandingham, L. R. (2017). The Fit of Industry 4.0 Applications in Manufacturing Logistics: A Multiple Case Study. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 344-358. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0200-y>
- Sung, W. T. ve Lu, C. Y. (2018). Smart Warehouse Management Based on IoT ARchitecture. In 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C) (pp. 169-172).
- Şekkeli, H. Z. ve Bakan, İ. (2018). Endüstri 4.0'ın Etkisiyle Lojistik 4.0. *Journal of Life Economics*, 5(2), 17-36. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jlecon/issue/37073/426330#:~:text=https%3A//dergipark.org.tr/en/pub/jlecon/issue/37073/426330>
- Şener, S. ve Eevli, B. (2017). Endüstri 4.0'da Yeni İş Kolları ve Yüksek Öğrenim. *Mühendis Beyinler Dergisi*, 1(2), 1-13.
- Şimşek, M. ve Çelik, A. (2013). *Yönetim ve Organizasyon*. Konya: Eğitim Kitabevi.
- Tanrıverdi, İ. (2017). Endüstri 4.0 nedir? Akıllı Fabrikalar, Robotlar ve Şehirler. Erişim Adresi: <https://indigodergisi.com/2017/08/endustri-4-0-nedir/>
- Thames, L. ve Schaefer, D. (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 52, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>
- Timm, I. J. ve Lorig, F. (2015). Logistics 4.0- A Challenge for Simulattion. In 2015 Wiinter Simulation Conference (WSC) (pp. 3118-3119).
- Torğul, B. (2015). Nesnelerin İnterneti İle Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu: Yeni Bir Model Önerisi (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Tu, Y., Zhou, W. ve Piramuthud, S. (2018). A Novel Means to Address RFID Tag/Item Separation in Supply Chains. *Decision Support Systems*, 115, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.09.003>

- Tuğtekin, S. (2018). Endüstri 4.0 ve Lojistik. Erişim Adresi: <https://www.lojistikkulubu.ist/endustri-4-0-ve-lojistik>
- Tusiad. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi Raporu. Erişim Adresi: <https://www.tusiad.org/indir/2016/sanayi-40.pdf>
- Türkel, S. ve Yeşilkuş, F. (2020). Dijital Dönüşüm Paradigması: Endüstri 4.0. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7(5), 332-346. <https://dergipark.org.tr/en/pub/asead/issue/54658/726985#:~:text=346%20.%20Retrieved%20from-,https%3A//dergipark.org.tr/en/pub/asead/issue/54658/726985,-MLA>
- Ulaştırma ve Lojistik Sektör Raporu. (2018). Ulk Kongre Raporu. Erişim Adresi: <https://www.ulk.sakarya.edu.tr/wp-content/uploads/2018/05/Ula%C5%9Ft%C4%B1rma-ve-Lojistik-Sekt%C3%B6r-Raporu-2018.pdf>
- Urhan, C. (2018, Temmuz 27). “Lojistik 4.0” ile fark yaratmak. TSKB: <https://www.tskb.com.tr/en/blog/sectorler/lojistik-4.0-ile-fark-yaratmak> adresinden alındı
- Ünlü, U. (2020). Stok Denetiminde Nesnelerin İnterneti ve Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisinin Etkileşimi. Mali Çözüm Dergisi, 30, 187-195.
- Wang, K. (2016). Logistics 4.0 Solution-New Challenges and Opportunities. In 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (pp. 68-74). Atlantis Press.
- Winkelhaus, S. ve Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A Systematic Review Towards a New Logistics System. International Journal of Production Research, 58(1), 18-43. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>
- Wuman, P. R., D'Andrea, R. ve Mountz, M. Coordinating Hundreds of Cooperative Autonomous Vehicles in Warehouses. AI Mag, 29(1), 9. <https://doi.org/10.1609/aimag.v29i1.2082>
- Xu, L. D., Xu, E. L. ve Lu, L. (2018). Industry 4.0: State of the Art and Future Trends. International Journal of Production Research, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Xu, X., Shen, G., Yu, Y. ve Huang, W. (2015). Travel Time Analysis for the Double-Deep Dual-Shuttle AS/RS. International Journal of Production Research, 53(3), 757-773. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.921351>
- Yin, L., Stecke, K. E. ve Li, D. (2018). The Evolution of Production Systems From Industry 2.0 Through Industry 4.0. International Journal of Production Research, 56(1-2), 848-861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Yüksel, E. ve Zaim, H. (2008). Otomatik Nesne Tanımlama Teknolojisi Olarak RFID ve RFID'in Faydaları. ELECO'2008 Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu.
- Zhang, R., Hao, F., Sun, X. (2017). The- Design Of Agricultural Machinery Service Management System Based On İnternet Of Things. Procedia Computer Science, 107:53-57