

10. BÖLÜM

ENDÜSTRİ 4.0 VE DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN LOJİSTİK SEKTÖRÜNE ETKİLERİ

Semiha ŞAHİN¹ - Coşkun ÇILBANT²

GİRİŞ

Endüstri 4.0 günümüz sanayi devrimini tanımlayan en önemli kavramlardan biridir. Endüstri 4.0, otomasyon ve dijitalleşme süreçlerinin sanayi ve üretim faaliyetlerine geçirilmesini ifade eder. Bu devrim , yapay zeka (AI), nesnelerin interneti (IoT), büyük veri (Big Data) ve siber-fiziksel sistemler (CPS) gibi yenilikçi teknolojiler aracılığıyla sanayi üretimini köklü bir şekilde değiştirmektedir. Lojistik sektör de bu dijital değişimden etkilenmiştir. Bu durumun sonucunda Lojistik 4.0 olarak tanımlanan bir kavram karşımıza çıkmıştır. Lojistik 4.0, lojistik süreçlerin dijital teknolojiler sayesinde daha esnek, daha verimli ve entegre edilebilen bir hale getirilmesini amaçlar. Bununla birlikte hem işletmelere rekabet avantajı sağlamada hem müşteri memnuniyeti sağlamada kritik bir rol oynamaktadır.

Bu bağlamda, Lojistik 4.0'ın temel dinamikleri, işletmelerin küresel rekabet koşullarına daha hızlı adapte olmasının yanında, süreçleri optimize etme, maliyetleri azaltma ve sürdürülebilirlik

¹ Araş. Gör., MCBÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, semiha.sahin@cbu.edu.tr, 0000-0001-7336-7688

² Prof. Dr, MCBÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, coskun.cilbant@cbu.edu.tr, 0000-0002-7406-423X

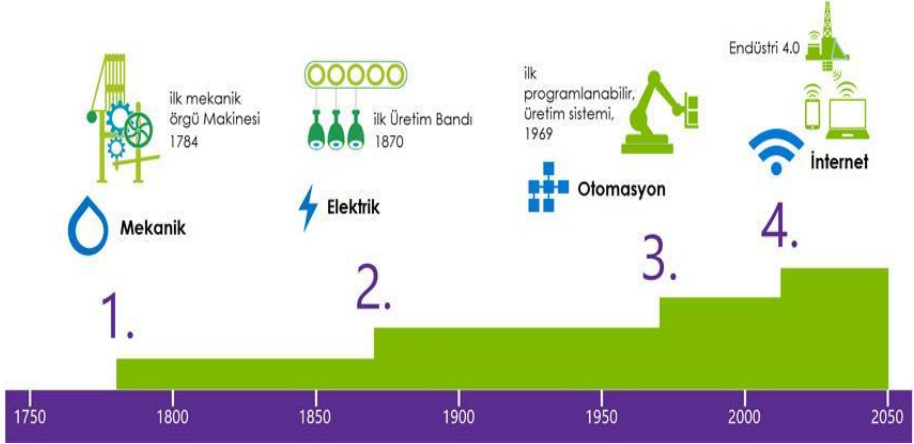
DOI: 10.63127/tuaz.126.80

hedeflerine ulaşma noktasında önemli fırsatlar sunmaktadır. Çalışmanın amacı, Endüstri 4.0 sonucunda gelen dijital teknolojilerin lojistik sektöründeki etkilerini göstermek ve bu teknolojilerin lojistik operasyonlarına sağladığı faydaları incelemek ve gelecekteki potansiyel gelişmeler hakkında öngörülerde bulunmaktadır.

1 ENDÜSTRİ 4.0

Dördüncü sanayi devrimi diğer adıyla Endüstri 4.0, Almanya’da imalat sanayi rekabet gücünün artırılması amacıyla 2011 yılında Hannover Endüstriyel Teknolojiler Fuarı’nda ortaya atılmıştır (Rojko 2017). İlk olarak Almanya’da görülmesiyle birlikte küresel boyutta imalat sanayisinde gelişme için teknolojik yeniliğin önemliliği neticesinde Japonya Yeni Robot Stratejisi, Çin; Çin Yapımı 2025, ABD; Ulusal Üretim İnovasyon Ağı gibi birçok ülke kendi stratejilerini oluşturmaya başlamıştır. Endüstri 4.0’dan önceki sanayi devrimleri otomatik üretim, makineleşme ve seri üretim sonucu ortaya çıkmış Endüstri 4.0 ise internet tabanlı iletişim teknolojileri, dijitalleşme geleceğe yönelik teknolojik birleşme odaklıdır. 4. Sanayi Devrimi’nde amaç, akıllı makine ve sistemler kurmak, akıllı süreçleri yönetmek ve uygulamak ve bunun neticesinde akıllı hizmet ve ürün sağlamaktır (Lasi vd., 2014:240).

Endüstri 4.0

**Şekil 1: Endüstri Devrimleri**

Kaynak: Endüstri 4.0 (<http://www.endustri40.com>)

Şekil 1’de devrim niteliğindeki inovasyonlar gösterilmiştir. Her bir yenilikle birlikte sistem değişmiş ve daha büyük bir yenilik için kapı aralamıştır. Devrim niteliğindeki bu yeniliklerden ilki 1712 tarihinde gerçekleşen buhar makinesinin icadıdır. Bu yenilikle birlikte yeni bir dönem başlamıştır ve I. Sanayi Devrimi olarak adlandırılmıştır. Buhar makinesinin icadıyla birlikte makine odaklı fabrika tipi üretim, insan gücü ve aletlere dayalı üretimin yerini almıştır. İngiltere’de başlayan devrim, daha sonra birçok ülkeyi de etkisi altına almıştır. Bu devrim sonucunda üretim çıktısı ciddi oranda artmıştır. Bunun sonucunda ülke ekonomilerinin gözle görülür biçimde geliştiği gözlemlenmiştir (Alçın, 2016:23).

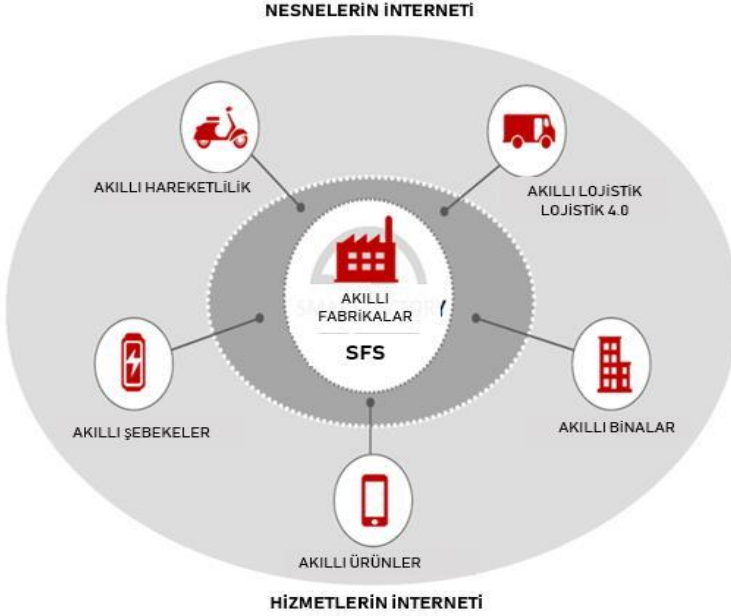
İkinci devrim niteliğindeki yenilik ise 20. Yüzyılın başlarında Henry Ford’un iş bölümü ve hareketli montaj hattı kullanarak seri üretime geçilmesidir. Henry Ford’un o dönemde üretimde verim ve ekonomikliği baza alan “Bilimsel Yönetim” kavramı üzerinde durması sonucu üretim tekniklerinde büyük dönüşümler yaşanmasına katkı sağlamıştır. II. Sanayi devrimi, özellikle çelik bazlı üretim tekniklerinin geliştirildiği, içten patlamalı motorların kullanıldığı, elektiriğin kullanıldığı, radyo ve telgrafın icat edildiği bir dönemdir. 2. Dünya savaşından sonra karşımıza çıkan III. Sanayi

Devrimi, Programlanabilir Mantık Denetleyiciler'in oluşturulmasıyla başlamıştır. Bu dönemde sentetik ürünler, nükleer enerji, bilişim teknolojisi, mikro- elektronik teknoloji, hologram, biogenetikler, fiber optikler, biotarım, lazerler gibi icatlar karşımıza çıkmaktadır (Sayer ve Ülker, 2014).

Son zamanlardaki devrim ise Almanya'da ileri sürülen Siber Fiziksel Sistem temelli üretimle karşımıza çıkmaktadır. Bu dönemde endüstriyel sistem ya da ürünlerde daha fazla gömülü zeka ve yazılımın kullanıldığı önsüzili zeka aracılığıyla otonom yönetimi içermektedir (Lee vd., 2014).

2 ENDÜSTRİ 4.0 ARAÇLARI

Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanıldığı bir üretim ağında, duyarlı iletişim, gerçek zamanlı izleme, otonom operasyonlar ve malzeme akışı sorunsuz bir şekilde uygulanabilir. Teknolojik ilerleme, bireyselleşmiş özelleştirme ve hizmet yeniliğiyle birlikte yeni iş modelleri ortaya çıkarmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerinden bazıları şunlardır; nesnelerin interneti diğer adıyla loT milyonlarca fiziksel objeyi internete bağlayan bağlantıdır. Bilginin, mal ve hizmetlerin geçişini kolaylaştırmak için farklı akıllı cihazların birbirine bağlanmasına kontrol edilmesine izlenmesine ve iletilmesine olanak tanır (Barreto vd., 2017:1247). Şekil 2' de nesnelerin internetini açıklayan bir şema gösterilmiştir.



Şekil 2: Nesnelerin İnterneti

Kaynak: Endüstri 4. 0 (Kagermann vd., 2013:23; Akt. Bartodziej, 2017:35)

Bir diğeri siber fiziksel sistemdir. Siber fiziksel sistem (CPS), sistemi kullanan insan ve sistem arasındaki iletişimi sağlar. Fiziksel ve siber bileşenleri entegre ederek zeka, otomasyon ve yüksek düzeyde bağlantı sağlamayı amaçlar. Bunun sonucunda CPS'nin hangi düzeyde olduğu Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli bir yer tutar. Bir diğeri büyük veri analitiğidir. Büyük miktardaki veriyi karmaşıklık çeşitlilik ve yüksek hızla işlemek için kullanılan büyük veri analitiği en gelişmiş analitik sistemdir. Büyük veri analitiği bir sistemin iş planlaması stratejileri operasyonları bunlarla birlikte karar vermede yardımcı iç görüler elde etmede kullanılır (Wang vd., 2016:162).

Bir diğeri araç yapay zekadır. Yapay zeka, insan zekasının yapabildiği görevleri yapabilen bilgisayar sistemleri ve uygulamalardır. Bununla birlikte toplanan verilerden eğitimle birlikte düşünme ve öğrenme, eylemin gelişmesi ve algılama kapasitesine sahiptir. Günümüzde yapay zeka, bakım ve güvenlik,

trafik yönetimi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Matlou ve Abu-Mahfouz 2017: 6131).

Bir diğer araç, bulut teknolojileridir. Bulut teknolojileri (BT) bilgi kaynaklarının depolanması ve entegrasyonu için merkezi bir alan oluşturur ve bu durum sonucu kaynakların erişimi kolaylaşır. Bulut teknolojileri, rasgele bir veriyi merkezi bir üs olmadan erişilmesini sağlar.

Blockchain, rasgele bir veriyi merkezi bir üs olmadan veri takibi sağlar.

Otonom robotlar; İnsan talimatı gerekmeden çeşitli görevleri yerine getirmek için bir kullanıcı olmadan kendini organize etme değerlendirme ve karar verme yetisine sahiptir. Otonom robotlar, çeşitli şekil ve boyutlarda farklı düzeylerde hareketlilik zeka ve otonomiye sahiptir (Bekey, 2005).

Bir diğer Endüstri 4.0 aracı insansız hava aracıdır (İHA). İnsansız hava aracı bir diğer adıyla drone, herhangi bir sürücüye ihtiyaç duymadan uçabilen bir cihazdır. Bilgisayar programları ve uzaktan kumandayla birleşik kontrolle yönetilir (Anurag 2020:20).

Bir diğer araç, eklemeli üretimdir. Eklemeli üretim aracı, malzemeyi katman üstüne yazarak, israf olmaksızın istenilen malzeme şekil ve boyut ve üründe doğru üretim fırsatı sunar. Eklemeli üretim, sürdürülebilirlik düşüncesi ve ilerleyen teknoloji sonucu lojistik sektör ve üretim sektörlerinde kullanımı giderek artmaktadır.

Artırılmış gerçeklik (AR) sistemi kullanan kişilerle etkileşime girebilen gerçek zamanlı talimat özelliğine sahip efektler metinler ve görüntüler oluşturulmasını sağlar.

Sanal teknolojiler ve simülasyonlar, dünyadaki herhangi bir sistemi, uygun maliyetle ve risk olmayan bir ortamda dijital olarak taklit edebilen optimize eden, inceleyen ve kontrol edebilen özelliklere sahiptir (Yang vd., 2020).

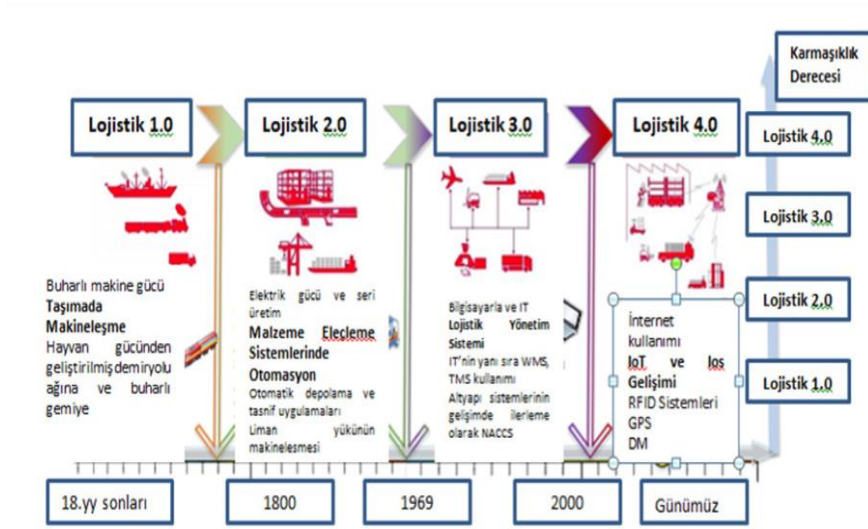
Bir diğer araç siber güveniktir. Siber güvenlik, bilgisayarlar sunucu ve yazılımların ve diğer kaynakların siber saldırılar karşı

savunma için geliştirilmiştir (Craig vd., 2014).

3 LOJİSTİK 4.0

Dördüncü sanayi devrimi lojistik sektörünü de etkilemiştir. Şirketler verimini arttırmak ve konumunu daha iyi yerlere taşımak için Endüstri 4.0'ın lojistik sektöründe uygulamalarının kullanılmasına önem göstermektedirler. Müşteriye teslimat, müşterinin ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir aşamadır. Lojistik; pazarlama, malzeme yönetimi, dağıtım tedarik zinciri gibi bölümlerde kullanımı yaygınlaşmıştır. Lojistik sektörüne atfedilen ürünlerin tedarik edilmesi, depolanması ve taşıma süreçlerinin tamamıdır. Endüstri 4.0 ile birlikte lojistik sektörünün de devrimleri belirlenmiştir. Bunun sonucunda lojistik 1.0, lojistik 2.0, lojistik 3.0 Lojistik 4.0 devrimleri karşımıza çıkmaktadır. Lojistik 1.0, ürün taşıma işlemlerinin ön plana çıktığı bir devrimdir. Lojistik 2.0' da yeni ulaşım araçları karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte yeni ortaklıklar ve iş birliği türleri görülmektedir. Lojistik 3.0'da yine klasik taşımacılık faaliyetleri karşımıza çıkarken müşteriye hizmet ve ürün tedariki daha fazla ön plana çıkmıştır. Bunların yanında bilgiye kolay ve hızlı erişim teknolojileri de kullanılmıştır (Poli vd., 2018:125).

Lojistik 4.0' a geldiğimizde tedarik zinciri boyunca değer yaratmayı amaçlar ve Endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre edilen bir platformdur. Donanım tabanlı lojistik sistemleri yerine yazılım altyapılı, kullanıcının ihtiyacına cevap verebilen ve gerektiğinde yeni işlevlerin yüklenebildiği esnek sistemle donatılmış cihazlar karşımıza çıkar. Lojistik 4.0, tedarik ağındaki ürünün akışını daha verimli bir duruma çekerek süreçlerin optimize edilmesine katkı sağlar. Bunun sonucunda rekabet avantajı yaratır. Lojistik 4.0, böylece talep ve üretim arasındaki dengesizliklerin önüne geçmiş olur (Poli vd., 2018). Şekil 3'de lojistik devrimleri gösterilmiştir.



Şekil 3: Lojistiğin Gelişimi

Kaynak: Lojistiğin Gelişimi Laura Domingo Galindo, “The Challenges of Logistics 4.0 for the Supply Chain Management and the Information Technology”, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2016, p. 25.

Lojistik sektöründe görülen ilk devrim niteliğindeki değişiklik, ani bir biçimde insanlığın karşısına çıkmıştır. Bu devrim işlerin manuel yöntemden makineye geçmesidir. Bu devrimle birlikte endüstriyel üretim makineleri, el aletleri ve hayvan gücüyle çalışmanın yerini aldı. Bunun sonucunda 1. Lojistik devrimi “taşımada makineleşme” anlamına gelmektedir (Karagöz ve Doyduk, 2020).

Üretim birimleri arasında ağ yoktu ve firmalar tedarikçilerine yakın yerlerde kurulmayı tercih etmişlerdir. İşletmelerin çoğu kısmı ortaklar veya bireysel kişiler tarafından yönetiliyordu. Bu firmalar operasyonların sorumluluğunda genel olarak az bir pay sahibiydiler. Lojistik 1.0’ da depolar, üretimi bitmiş ürün ya da malzemelerin depolandığı basit odalar şeklindeydi. 2. Lojistik devrim teknolojik olarak evrim kabul edilmektedir. Lojistik alanında 1960’lardan başlayarak “malzeme elleçlemede otomasyon” karşımıza çıkmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, tedarik ilişkilerinin devamlı

olduğu ve birden fazla sayıda tedarikçinin dikkate alındığı bir küresel düzen haline gelmiştir. Mühendislik ve mekanik alanında uzmanlığa ihtiyaç duyulan yeni işletme ve sanayi türleri, gereken donanımına sahip yöneticileri işe almaya başlamıştır. Depolar otomatik hale getirildi ve raf boyunca bir kutunun içinde depolandığı veya direkt raftan alınabileceği şekilde hareket ettirilen bir mekanizma geliştirildi. Endüstride çağ atlama bilgisayarın üretime girmesiyle gerçekleşmiştir.

Lojistik sektöründe “lojistik yönetim sistemi” geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılan bazı yönetim sistemleri, WPS (depo yönetim sistemleri), bilgi ve teknoloji sistemleri, TMS(Taşıma yönetim sistemleri) şeklindedir. Endüstri 3.0 ile birlikte tedarik zinciri yönetimi globaldir ve yönetici işe alınırken de küresel bazda en yeterli kişi işe alınır ve kısa ilişkiler kurulur. Bu durum, insan ve bilgisayar arasında bir iletişim kurulmasıyla birlikte “akıllı servis ve akıllı ürün” ün ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum geleceğin “akıllı fabrikası”, üretim aşamasındaki tüm aşamaları birbirine bağlanmasını ve alınabilecek maksimum verimin alınmasına olanak tanır. Otomatik sıralama ve otomatik depolar yaygın kullanılsa da yayılma aralığı oldukça sınırlı kalmıştır. Ancak daha sonra hazırlanan ve lojistik sektörüne geçen bir paket şekil ve karakterine göre taşıma ve depolanma yöntemleri geliştirilmiştir. Bunun sonucunda Endüstri 4.0 ile birlikte taşımada zaman tasarrufu sağlayan ve elleçleme işçiliğinin maliyetini azaltan yeni teknolojiler karşımıza çıkmaktadır.

Malların farklı konumlara taşınması, bir lojistik sistemin sürdürülebilirliğini belirler. Akıllı ulaşım sistemlerinde sürdürülebilirliğin artırılması için Endüstri 4.0 teknolojileri uygulanabilir. Yeşil filo yönetimi, araç rotalama, emisyon azaltımı teslim hizmetleri ve teslim alma kullanılabilecek Endüstri 4.0 uygulamalarından bazılarıdır. Yapay zeka ve nesnelerin interneti aracılığıyla araç bilgilerinin, aktif talep ve başvuruların gerçek zamanlı kullanılmasına ve yönetilmesine olanak tanır. Simüle edilmiş tavlama ve genetik algoritma gibi algoritmaları birleştiren bilgiler, kaza durumuna zamanında karar vermek ve kaza tepkilerini

arttırmak için kullanılmanın yanında ulaşım gecikmelerinin en aza indirilmesi ve ulaşım planlamasında kullanılabilir. Endüstri 4.0 araçlarıyla birlikte sera gazı yakıt tüketimi ve maliyet, nüfusun risk ve tehlikelere maruz kalması azaltılabilir (Anandhi vd., 2019:550).

Yapay zeka v büyük veri analitiği aracılığıyla toplanan verilerin işlenmesini ve doğru verilerin seçilmesi sağlanır bunun sonucunda verilere odaklanılması sağlanır (Su ve Fan, 2020: 1506).

Farklı ulaşım tiplerinin veri bazlı optimizasyon ve kapasite dengelemesi sayesinde çevre dostu ve düşü karbon içeren bir ulaşım ile sonuçlanır. Örneğin karayolu taşımacılığı sonrası demir yoluna geçişte maliyetlerin artması göz ardı edilmiştir. Sanal teknolojiler, lojistik sistemlerinin planlanıp kontrol edilmesinde oldukça güçlü modeller sunar. CPS destekli bir lojistik ağ planı kontrolü ve karar verilmesi sanal simülasyona dayalı bir analiz sunmuştur. Simülasyon aracılığıyla boş yüklü kamyonların sayısı en aza indirilmiş maliyet, yakıt. Tüketimi sera gazı emisyonları azaltılmıştır. Bununla birlikte Kamyon sürücülerinin çalışma saatlerinde düzenleme yapılmış ve nakliye stratejileri iyileştirilmiştir. Sürdürülebilir lojistik sistemlerinde kaynak paylaşım etkinliğini göstermek için de simülasyon modelleri kullanılmıştır (Hoffa-Dabrowska ve Grzybowska, 2020: 313).

Bununla birlikte her iki sistemin güçlü taraflarından faydalanmak için örneğin ağ optimizasyonu ve altyapı tasarımını optimizasyon ve simülasyon yöntemleri birleştirilerek daha fazla verim elde edilebilmektedir (Hong vd., 2019). Endüstri 4.0 teknolojileri ile birlikte mal teslim yöntemleri değişmiştir. Akıllı ve sürücüsü olmadan kendini sürebilen araçlar yani otonom araçlarla birlikte kaza oranları, maliyetler, CO2 emisyonları azalma eğilimine girmiştir. Bu değişime neden olan bir diğer gelişme ise birçok merkezde gıda, ilaç, paket, aşı ve kan örnekleri dağıtımında kullanılan birleşik araç ve drone sistemidir. Walmart ve Amazon şirketleriyle birlikte birçok büyük şirketin kullandığı bu yöntemle birlikte teslimat hızlanmış ve maliyetler azalmıştır. Ayrıca tıbbi malzeme gibi acil durum malzemelerinin uzak bölgelere teslimatı

için maliyeti azaltır. Bununla birlikte firmaların lojistik sistemlerinde karbon emisyonlarını takip etme ve ölçmede Blockchain tabanlı platformlar kullanılmaktadır. Yapay zeka teknolojileri ve derin öğrenme ile birlikte lojistik ve nakliye hizmetlerinde operasyonel verimliliği arttırmak için dijital ses yardımı ve akıllı bilgi sistemi kullanılmıştır (Hsiao ve Chang 2019: 140).

Sürdürülebilir lojistik için sistem entegrasyonu ve dijitalleşme ile birlikte veri odaklı operasyonlara dönüşümü hedefleyen Endüstri 4.0'ın en önemli özelliğidir. Bununla birlikte bahsedilen dijital dönüşüm gerçekleştiğinde operasyonel verimliliğini en üst düzeye çıkacağı ve katma değer yaratacak akıllı sistem ve teknolojiler üst düzey entegrasyonu gerektirir. Bunun sonucunda tüm lojistik sektörün dijitalleşmesinin üstüne pek çok çalışma yapılmıştır. Çoğu çalışmanın sonucunda farklı lojistik sistemlerin dijitalleşmesi ve sistem entegrasyonunda IoT tabanlı platformların ilk adım olduğu sonucuna varılmıştır (Tang vd., 2020).

Lojistik 4.0'ın işletmelerde uygulanabilir ve verimli olması için sistemlerin ve paydaşların doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Lojistik 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için altı temel özellik karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, yeni iş modelleri, örüntülü tanıma, lojistik değerler, öz-örgütlenme, genelleştirme ve çevikliklerdir. Aşağıda bu özellikler kısaca açıklanmıştır.

Yeni iş modelleri Lojistik 4.0 sonucunda yeni iş modelleri ve hizmetler aracılığıyla çeşitli fırsatların oluşturulmasını öngörmektedir. Lojistik 4.0' la birçok süreç, kendini organize edebilme yeteneği edinecek ve iş tanımları değişecektir. Bu değişimin ardından yönetim, yalnızca paylaşılan değerlerin entegrasyonunu sağlamaya yönelik bir role evrilecektir.

Örüntülü tanıma, gözlemlenebilen, ölçülebilen, tekrar edilebilen ortak düzen ve benzerliklere sahip olan kümeler şeklinde tanımlanmaktadır. Örüntü tanıma, karışık sembol veya nesnelerin belirli karakteristik özellikler veya tanımlı unsurlar aracılığıyla

sınıflandırılması ve tanımlanmasına olanak tanır. Bu teknolojiler temel bir amaca sahiptir. Bu amaç, belirsiz örüntüleri belirli bir düzen altına sokmak ya da belirli bir grupta yer alan örüntüleri ortaya çıkarmaktır. Örüntülü tanıma teknolojileri, tıp, deprem tahminleri, savunma sanayii, el yazısı ve parmak izi tanıma yüz tanıma sistemleri ve radar uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Lojistik değerler, müşterinin ihtiyacını karşılamak için tedarik maliyetinin minimize edilerek ve paydaşların karının da maksimize edilmesini sağlayan teknolojidir. Lojistik katma değeri ise Pazar payında artış olması amacıyla ek hizmet faaliyetlerini içeren hizmetler olarak tanımlamak mümkündür. Lojistik 4.0'da oluşabilecek yeni işler, halihazırda bulunan kurumsal lojistiğe katma değer yaratarak bu katma değerın tüm zinciri kapsaması hedeflenmiştir.

Öz örgütlenme, Lojistik 4.0'ın eleştirisi yapıldıktan sonra sistemin kendi kendini yönetmesini kapsar. Öz örgütlemelerde işletmelerde taşımacılık, paketleme, depolama vb. gibi lojistik faaliyetler uygulanmaktadır.

Genelleştirme, İyi bir hizmet verme amacı güden, müşterilerin katma değerine göre gruplar oluşturan ve bu gruplara uygun ağ yapılarının oluşturulması genelleştirilmiş lojistik yapısının temelini oluşturur.

Çeviklik, Lojistik 4.0 süreçlerinde stratejik bir öneme sahiptir. Çeviklik değişen durumlarda hızlı hareket etme olarak değerlendirilebilir. Lojistik yönetiminde, müşterilerden mal ve hizmet siparişlerinin alınmasından başlanarak müşterilere ilgili mal ve hizmetin teslim edilme sürecine kadar geçen zamanın hiç olmaması hedeflemesidir. Bununla birlikte çeviklik, Lojistik 4.0'ında başarılı bir şekilde uygulanabilmesine olanak tanır. Lojistik 4.0'da çevik olmak bilişim alt yapısında ve ilişkili uygulamalarda ufak döngülerle hareket anlamında da kullanılmaktadır (Şekkeli ve Bakan, 2018: 27-28).

Lojistik 4.0'ın uygulanabilmesi için yukarıda açıklanan altı

temel özelliğın yerine getirilmesi gerekmektedir. Lojistik 4.0'ın amacı Endüstri 4.0'ın nakliye sektörü ve kamu hizmetleri etkilerini işletmeler arası lojistik koordinasyon görevleriyle beraber otomasyon ve dijitalleşmeyi destekleyerek bütünleşik bir yapıya kavuşturmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, işletmeler arası malzeme akışlarının optimizasyonu ve kaynakların verimli kullanımı da Lojistik 4.0'ın temel amaçları arasında yer almaktadır. Otomasyon ve dijitalleşmeye dayanan işletmeler maliyetlerini azaltırken müşteri memnuniyetini artırırken teslimat sürecindeki hataları en aza indirerek rekabet avantajı kazanabilir. Lojistik 4.0'ın işletmelere sağladığı faydalar şu şekildedir;

- Daha avantajlı tedarik imkanı,
- Veri kalitesinin iyileştirilmesi,
- Yeni pazarlar oluşturma,

Küresel kaynaklara erişim,

Daha avantajlı tedarik imkanı; Küresel iletişim avantajına sahip işletmeler, ürünün elde edilmesinde daha geniş fiyat tekliflerine ulaşma imkanına sahip olmaktadırlar. Bunun sonucunda uluslararası pazardan uygun maliyetle tedarik sağlarken Pazar içindeki yerlerini de güçlendirmektedirler.

Veri kalitesinin iyileştirilmesi; Verilerin işlenmesi ve toplanması, ağ sistemlerinde kritik bir işlev taşımaktadır. Ürüne özgü temel verilerin yanı sıra, ürünlerin birbiriyle olan ilişkilerinin de değerlendirilmesi önemlidir.

Yeni pazarlar oluşturma; İşletmelerin sunduğu ürün ve hizmetler, Küresel ağ aracılığıyla tüm kıtalardaki potansiyel müşteriye ulaşabilmektedir, Bu durum sonucu dijital dönüşümle birlikte yeni pazarların keşfini kolaylaştırmaktadır.

Küresel kaynaklara erişim; İşletmeler, uluslar ağılar sayesinde yerel kaynaklara bağımlı kalmamanın yanında dünya genelindeki tedarikçilere erişim sağlayarak orta ve küçük ölçekli işletmelerin farklı bölümlerinden ürün temin etmesine olanak tanımaktadır. Lojistik 4.0 uygulamalarını kullanan işletmeler, bu avantajlardan yararlanarak rekabetçi ortam ve pazardaki konumlarını daha fazla

sağlamlaştırma imkanına sahip olacaktır. (Scherf, 2020).

4 LOJİSTİK MALİYETLER

Lojistik faaliyetlerin uygulanması için ortaya çıkan tüm harcamalara “lojistik maliyetler” denir. Bu maliyetler, anketler ve vaka çalışmaları, istatistiksel tekniker gibi yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bir işletmede üretim ve depolama süreçlerinin sistemli bir şekilde yürütülmesi ve bu faaliyetlerin maliyetlerini en aza indirmeti amaçlayan çalışmalar lojistik maliyet kavramının içinde değerlendirilmektedir (Rantasila ve Ojala, 2012: 10).

Geniş bir zaman dilimini kapsayan satın alma, depolama, nakliye, stok yönetimi, yükleme, ambalajlama, boşaltma ve bilgi yönetimi gibi faaliyetler için yapılan fedakarlıklar, lojistik maliyetleri ifade etmektedir. Bu maliyetler yalnızca lojistik departmanına yüklenen masraflar olarak değerlendirmek doğru değildir. Lojistik maliyetler, işletmelerin satış dağıtım, pazarlama yönetim ve üretim gibi hemen hemen tüm işlevlerine ait harcamaların bütünüdür (Gürsoy, 1997: 334-335).

İşletmelerin lojistik uygulamaları boyunca üstlendikleri mali yükümlülükler, lojistik maliyetler olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte ürünün tedarik sürecinden müşterilere teslimine kadar geçen aşamalardaki tüm hizmetleri içermektedir. Bu hizmetler içerisinde sevkiyat, depolama, ambalajlama taşıma, montaj gibi unsurlar bulunmaktadır. Bunun sonucunda, lojistik maliyetler; üretim, tedarik, satış, dağıtım süreçlerinden kaynaklanan maliyet unsurları olarak görülebilir (Gürsoy, 1997: 334-335).

İşletmelerde, üretim süreçlerinden son tüketim aşamasına kadar olan süreçte, toplam maliyetler içerisinde lojistik maliyetler oldukça büyük bir paya sahiptir. Gayri Safi Yurtiçi Hasıla içerisindeki lojistik maliyetlerin oranı, ülkeler bazında değerlendirme ve karşılaştırma kriteri olarak sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte, işletmelerin üretim ve satış çıktıları içerisindeki lojistik maliyetlerin

payı, üretim ve dağıtım aşamalarında oluşan lojistik faaliyetlerin maliyetlerinin ölçülmesi amacıyla tercih edilmektedir (Bayraktutan & Özbilgin, 2015: 97).

4.1 Lojistik Maliyetlerin Sınıflandırılması

Lojistik faaliyetler, insanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahip olup, zaman içerisinde teknoloji ve kurumların gelişmesiyle birlikte bu faaliyetlerin yapısı, kapsamı, işleyişi ve sınıflandırmaları da değişim göstermiştir. Bu bağlamda, lojistik maliyetlerin sınıflandırılması farklı kaynaklarda çeşitli şekillerde ele alınmaktadır. Aşağıda bu sınıflandırmalardan bazılarına yer verilmiştir (Bayraktutan & Özbilgin, 2015: 97).

Lojistik faaliyetler, insanlık tarihi kadar eski bir tarihe sahiptir. Zaman ilerledikçe teknoloji ve kurumların gelişmesi sonucunda lojistik faaliyetlerinin kapsamı, yapısı, sınıflandırılması ve işleyişinde değişimler görülmüştür bununla birlikte değişme ve gelişmeye devam etmektedir. Lojistik maliyetlerinin sınıflandırılması değişik kaynaklarda farklı şekillerde ele alınmıştır. Aşağıda bu sınıflandırmalardan bazılarına yer verilmiştir

- Temel lojistik faaliyetler ele alındığında, lojistik maliyetlerin bileşenleri aşağıdaki gibidir;
- Depolama Maliyeti
- Taşıma Maliyeti
- Envanter Maliyeti
- Tedarik, Elleçleme, Dağıtım ve Elden Çıkarma Giderleri
- Müşteri Hizmetleri Giderleri

Genel olarak lojistik maliyetler üç ana başlık altında toplanmaktadır.

- Giriş Lojistiği Maliyetleri
- Çıkış Lojistiği Maliyetleri
- Depolama ve Elleçleme Maliyetleri

Lojistik maliyetlerinin değer yaratma sürecinde fonksiyonel yapılarına göre de sınıflandırılması gerekir. Bu durumda lojistik

maliyetler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Giriş Lojistiği Maliyetleri
- Doğrudan Lojistik Maliyetler
- Dolaylı Lojistik Maliyetler
- Sabit Lojistik Maliyetler
- Değişken Lojistik Maliyetler

Doğrudan Maliyetler, diğer adıyla direkt lojistik maliyetler, ürün birimi, ürün tipi, maliyet merkezleri ya da siparişler gibi unsurlara bağlı olarak doğrudan hesaplanabilen maliyetleri içerir. Örnek vermek gerekirse, taşıma sırasında karşılaşılan herhangi bir zarar, bu maliyet türüne dahil edilir.

Dolaylı lojistik maliyetler, diğer adıyla endirekt lojistik maliyetler herhangi bir tedarik ve maliyet sürecinde doğrudan hesaba katılmayan, ancak çeşitli işlemler sonucu ortaya çıkabilen maliyetleri kapsar. Bu tür maliyetler dolaylı maliyet başlığı altında hesaplanır.

Sabit lojistik maliyetler, faaliyet hacmine ya da diğer değişkenlere bağlı olmadan ortaya çıkan maliyetlerdir. Örnek vermek gerekirse, işletmelerin faaliyetlerinden ayrı olarak ortaya çıkan hazırlık veya kapasite giderleri bu grubun içinde değerlendirilebilir.

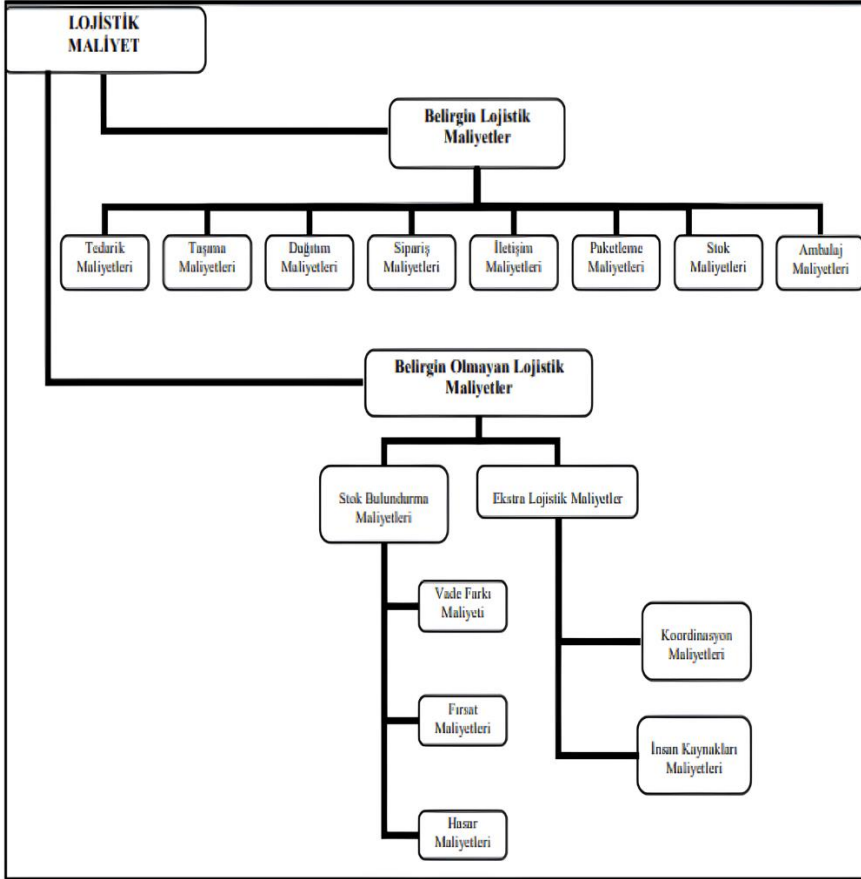
Değişken lojistik maliyetler, genel olarak faaliyet seviyesi ya da hacim gibi değişkenlere bağlı olarak değişen maliyetlerdir. Örnek vermek gerekirse, enerji tüketim giderleri, ısıtma maliyetleri, komisyoncu ücretleri bu maliyet kapsamı altında incelenmektedir (Çetin ve Öztürk, 2022:79-80).

Günümüzde bazı işletmeler, lojistik maliyet kalemini bağımsız olarak değerlendirmemektedir. Bununla birlikte bu maliyetleri ayrıca hesaplamamaktadır. Bu tür işletmelerde, lojistik maliyetler genel olarak satışların belirli bir yüzdesi alınarak hesaplanır. Bununla birlikte geçmiş tecrübeler ve öngörülere dayanarak tahmin edilmektedir. Bunlara ek olarak, geleneksel maliyet hesaplama yöntemleri ya da faaliyet bazlı maliyetleme yöntemleri de lojistik maliyetlerin hesaplamasında kullanılabilir. Bununla birlikte son

yıllarda toplam maliyetler içerisinde lojistik maliyetler payı giderek arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle, lojistik maliyet içerisinde en yüksek paya sahip olan taşıma maliyetleri, lojistik süreçler açısından önemli bir konumdadır (Tokay ve Arslan, 2011: 228).

Diğer yandan, işletmelerin lojistik maliyetleri ayrıntılı biçimde incelenebilmesi hem doğrudan maliyetlerin tespitinde hem de üretim miktarı ve maliyet ilişkisini daha iyi anlamada büyük yarar sağlamaktadır. Buna ek olarak lojistik maliyetlerinin detaylı olarak bilinmesi, maliyet düşürme fırsatlarının belirlenmesine ve yeni teknolojik yatırımlar konusunda karar alınmasına yardımcı olmaktadır (Demir, 2006: 120).

Lojistik maliyetler çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Detaylı bir inceleme yapıldığında bu maliyetlerin bir kısmının belirgin ve açık lojistik maliyetler, diğer kısmının ise belirgin olmayan ve gizli lojistik maliyetler olduğu görülmektedir. Örnek vermek gerekirse, bir işletmede tedarik, dağıtım, depolama, taşıma iletişim, ambalajlama ve paketleme maliyetleri, belirgin lojistik maliyetler kapsamında değerlendirilir. Stok bulundurma maliyeti, fırsat maliyeti, faiz, hasar gören ürünlerin maliyetleri ve ekstra lojistik hizmetler gibi maliyetler ise belirgin olmayan gizli lojistik maliyet örneğidir. Bu maliyet unsurları Şekil 4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4: Lojistik Maliyetlerin Yapısı

Kaynak: (Tokay ve Arslan, 2011:230)

İşletmelerde oluşan “belirgin lojistik maliyetler”, genel olarak gözle görülür ve istenildiği takdirde kontrol altına alınabilir özellik taşır. Bu nedenle işletmeler, “belirgin lojistik maliyet” türüne önem verirler. Buna karşın “belirgin olmayan lojistik maliyetler” ise tespit edilmesi, diğer maliyetlerle ilişkilendirilmesi, ölçülmesi zor olduğundan, genel olarak bu tür maliyetlerin yönetimi için özel bir çabaya girilmemektedir. Bu durum, firma yöneticilerinin hangi maliyet kalemlerinin lojistik maliyetleri azalttığını veya arttırdığını veya diğer maliyetlerle nasıl bir ilişki içinde olduğunu tam olarak öğrenmemelerine yol açmıştır. Bunun sonucunda bazı durumlarda yöneticiler kararlarını yanlış verebilmektedirler.

Lojistik maliyetlerinin toplamı, farklı. Bir kaynağa göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Ek Lojistik Maliyetler
- Yönetsel Lojistik Maliyetler
- Spesifik Lojistik Maliyetler

Ek lojistik maliyetler, lojistiğin olağan faaliyetleriyle doğrudan ilişkili olan, etiketleme, paketleme, boşaltma, yükleme ve kalite kontrol ve benzeri operasyonel işlemler sonucunda oluşan maliyetlerdir.

Yönetsel lojistik maliyetler, Kalite yönetimi, kalite kontrolü ve iş planlaması gibi lojistik performansların ve ek hizmetlerin birlikte yürütülmesi sonucu ortaya çıkan yönetimsel maliyetlerdir.

Spesifik lojistik maliyetler, Depolama, taşıma ve işletmeye kabul gibi temel operasyonel lojistik faaliyetlerin bir kar merkezi, performans birimi ve işletme bölümünü baza alan toplam maliyetlerdir (Tokay ve Arslan, 2011: 230-231).

SONUÇ

Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 teknolojileri, işletmelerin dijitalleşme süreçlerini hızlandırarak, lojistik operasyonlar ve tedarik zinciri yönetimi alanında büyük bir dönüşüm sağlanmaktadır. Yapay zeka, büyük veri analitiği, nesnelerin interneti ve siber sistemler gibi Endüstri 4.0 ile gelen teknolojiler, lojistik süreçlerinin verimliliğini arttırmanın yanında maliyetlerin düşürülmesi ve sürdürülebilirliği desteklemeye katkı sağlamaktadırlar. Bu yenilikler, aynı zamanda müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verebilmeyi ve esnek, özelleştirilmiş hizmetlerin sunulabilmesini mümkün kılmaktadır. Lojistik 4.0'ın temel özellikleri olan örüntü tanıma, öz örgütlenme, çeviklik ve lojistik değer yaratma gibi unsurlar, küresel rekabet ortamında işletmelere önemli avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, otonom araçlar, drone kullanımı ve Blockchain tabanlı çözümler, lojistik sistemlerin daha güvenilir ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkıda

bulunmuştur. Tüm bu gelişmeler sonucunda, lojistik faaliyetlerin optimizasyonu, kaynak kullanımı ve operasyonel verimliliği artırarak, üretim birimlerinin rekabet üstünlüğü kazanmasını desteklemektedir.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0'ın lojistik sektörlerde etkin bir şekilde kullanılması, işletme performansını artırmanın yanında çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilirlik gibi önemli katkılar sunmaktadır. Gelecekte bu teknolojilerin dahada yaygınlaşması ve gelişmesiyle, lojistik sektöründe dijitalleşmenin ve otomasyonun daha üst seviyelere taşınacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Anandhi, S., Anitha, R., & Sureshkumar, V. (2019). IoT enabled RFID authentication and secure object tracking system for smart logistics. *Wireless Personal Communications*, 104, 543-560.
- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of life Economics*, 3(2), 19-30.
- Arshad, M. I., Iqbal, M. A., & Shahbaz, M. (2018). Pakistan tourism industry and challenges: a review. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 23(2), 121-132.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Bekey, G. A. (2005). *Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control*. MIT press.
- Craigen, D. (2014). Assessing scientific contributions: a proposed framework and its application to cybersecurity. *Technology Innovation Management Review*, 4(11).
- ÇETİN, F. A., & ÖZTÜRK, S. (2022). LOJİSTİK 4.0 KAPSAMINDA LOJİSTİK MALİYETLERİ. *Uluslararası Ticaret ve Lojistikte Güncel Yaklaşımlar ve Değerlendirmeler-4*, 69.
- Demir, V. (2006). Lojistik Faaliyetler ve Maliyetleri. *Mali Çözüm Dergisi*, 74, 116-130.
- Domingo Galindo, L. (2016). The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology (Master's thesis, NTNU).
- Grzybowska, K., & Stachowiak, A. (2020). Classification of trends and supply chains development directions. *Smart and Sustainable Supply Chain and Logistics—Trends, Challenges, Methods and Best Practices: Volume 1*, 307-322.
- Karagöz, B., & Doyduk, H. B. B. (2020). Lojistik 4.0 uygulamaları ve lojistik firmalarının bakış açısı. *İnsan ve İnsan*, 7(23), 37-51.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6, 239-242.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia cirp*, 16, 3-8.

- Matlou, O. G., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017, October). Utilising artificial intelligence in software defined wireless sensor network. In IECON 2017-43rd annual conference of the IEEE industrial electronics society (pp. 6131-6136). IEEE.
- Mu, R., Hong, X., Ni, Y., Li, Y., Pang, J., Wang, Q., ... & Zheng, Y. (2019). Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 136-144.
- Nah, S., Baik, S., Hong, S., Moon, G., Son, S., Timofte, R., & Mu Lee, K. (2019). Ntire 2019 challenge on video deblurring and super-resolution: Dataset and study. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 0-0).
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, 11(5).
- Sayer, S., & Ülker, A. (2014). ÜRÜN YAŞAM DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ. *Engineer & the Machinery Magazine*, (657).
- Scherf, K. A., Catassi, C., Chirido, F., Ciclitira, P. J., Feighery, C., Gianfrani, C., ... & Koehler, P. (2020). Recent progress and recommendations on celiac disease from the working group on prolamins analysis and toxicity. *Frontiers in nutrition*, 7, 29.
- Sun, X., Yu, H., Solvang, W. D., Wang, Y., & Wang, K. (2022). The application of Industry 4.0 technologies in sustainable logistics: a systematic literature review (2012–2020) to explore future research opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-32.
- TANÇ, Ş. G., & ÖZ, A. Ö. ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA LOJİSTİK 4.0'IN İNCELENMESİNE YÖNELİK TEORİK BİR ÇALIŞMA ÖZ.
- Tokay, S. H., Deran, A., & Arslan, S. (2011). Lojistik maliyet yönetiminde izlenebilecek stratejiler ve muhasebe eğitiminden beklentiler. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (29), 225-244.
- Tong, Z. D., Tang, A., Li, K. F., Li, P., Wang, H. L., Yi, J. P., ... & Yan, J. B. (2020). Potential presymptomatic transmission of SARS-CoV-2, Zhejiang province, China, 2020. *Emerging infectious diseases*, 26(5), 1052.
- Zümrüt, H. Ş., & BAKAN, İ. (2018). By the Effect of the Industry 4.0 on Logistics 4.0. *Journal of Life Economics*, 5(2), 17.

- Xu, J., Shen, L., Zhou, Z., Li, J., Bai, C., Chi, Y., ... & Su, W. (2020). Surufatinib in advanced extrapancreatic neuroendocrine tumours (SANET-ep): a randomised, double-blind, placebo-controlled, phase 3 study. *The Lancet Oncology*, 21(11), 1500-1512.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer networks*, 101, 158-168.