



LOJİSTİĞİN GELECEĞİ - 2

Editörler

Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ
Arş. Gör. Makber TEKİN



LOJİSTİĞİN GELECEĞİ - 2

Editörler:

Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ
Arş. Gör. Makber TEKİN



Lojistiğin Geleceği-2
Editörler: Prof. Dr. Fahriye MERDİVENCİ
Arş. Gör. Makber TEKİN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: Aralık 2023
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-6585-99-7

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

www.duvar yayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

ÖNSÖZ

Artan doğal afetler, uzun yıllarca etkisi süren salgınlar, savaşlar sonucunda artış gösteren mülteci göçleri ve insan kaynaklı yaşanan krizler nedenleriyle birçok sektörün etkilendiği ve risklerle karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Bu sektörlerden biri de lojistikdir. Son yıllarda yaşanan olaylar birçok işletmenin lojistik performansını etkilemekte ve maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle işletmelerin lojistik performanslarını ve iş yapış anlayışlarını iyileştirmeleri gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Lojistik süreçlerine Endüstri 4.0 bileşenlerini dahil edilmesi ile beraber verimliliğin, şeffaflığın, etkinliğin ve maliyet tasarrufunun sağlanacağı belirtilmektedir. Lojistik sektörünün önde gelen firmaları teknolojik gelişmeleri lojistiğin her alanına dahil ederek iyileştirmelerin yapılabileceğini ileri sürmektedir ve bu amaçla güncel teknolojik tabanlı lojistik uygulamaları gerçekleştirmektedir. Bu kitapta lojistik sektöründe yaşanan gelişmeleri ele almakta ve sektörel uygulamaları göstermek amacıyla hazırlanan ve son zamanlarda ortaya çıkan güncel lojistik konulara yer verilmiş olan “Lojistiğin Geleceği-1” isimli kitabın devamı niteliğindedir.

Altı bölümden oluşan bu kitapta sürdürülebilirliğin, teknolojik gelişme ve dijitalleşmenin lojistik sektörüne getirdiği yenilikler tanıtılmıştır. Birinci bölümde, lojistik sektöründe çevresel yönetim konusu ele alınmış ve gereklilikler, uygulamalar ve gelecek perspektifleri incelenmiştir. İkinci bölümde lojistik sektöründe karbonsuzlaştırma konusu ele alınmış ve hem ülkeler hem de işletmelerin lojistik faaliyetlerinde karbonsuzlaştırma adına belirlenen stratejilere, politikalara ve teşvikler yer verilmiştir. Üçüncü bölümde yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama konusu araştırılmış ve tedarik zincirinde kullanım alanları ve sektörel uygulamaları gösterilmiştir. Dördüncü bölümde döngüsel ekonomi anlatılmış ve lojistikte döngüsel ekonomi uygulamaları incelenmiştir. Beşinci bölümde lojistikte kullanım alanı olan elektrikli araçlar üzerine araştırma yapılmıştır. Altıncı bölümde ise dijital ikiz ele alınarak lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde dijital ikiz uygulamaları anlatılmıştır. Dolayısıyla tüm bölümlerde lojistiğin gelecek perspektifine yön verecek olan yenilikler temel düzeyde açıklanmaya çalışılmıştır.

“Lojistiğin Geleceği-2” başlıklı bu kitabın oluşturulmasında katkısı olan tüm yazarlara verdikleri destekten, gösterdikleri çabalardan ve emeklerden dolayı teşekkürlerimizi sunuyoruz. Ayrıca kitabın tasarımı, basımı ve düzenlemesi kısmında katkıları için de “Duvar Yayınevi” personeline teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Kitabın başta ön lisans, lisans ve lisansüstü öğrenciler olmak üzere tüm okuyuculara faydalı olmasını dileriz.

Editörler
Prof. Dr. Fahriye MERDİVENÇİ
Arş. Gör. Makber TEKİN
Aralık, 2023

İÇİNDEKİLER

- 1. Bölüm.....1**
Lojistik Sektöründe Çevresel Yönetim:
Gereklilikler, Uygulamalar ve Gelecek Perspektifleri
Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan SAMUT
- 2. Bölüm19**
Karbonsuz Lojistik
Öğr. Gör. Hayrullah ALTINOK
- 3. Bölüm39**
Tedarik Zincirinde Yeni Nesil Sürdürülebilir Ambalajlama
Arş. Gör. Makber TEKİN
- 4. Bölüm63**
Döngüsel Ekonomi ve Lojistik
Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI
- 5. Bölüm..... 91**
Lojistikte Yeni Teknoloji Kullanımı:
Elektrikli Araçlar Üzerine Bir Çalışma
Öğr. Gör. Yavuz TORAMAN
- 6. Bölüm.....107**
Tedarik Zincirinde Dijital İkiz
Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI, Arş. Gör. Makber TEKİN

1. Bölüm

Lojistik Sektöründe Çevresel Yönetim: Gereklilikler, Uygulamalar ve Gelecek Perspektifleri

Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan SAMUT¹

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü , furkansamut@gmail.com ORCID No: 0009-0001-3028-699X

GİRİŞ

Lojistik sektörü, günümüzün global ekonomilerinde hayati bir rol oynamaktadır. Mal ve hizmetlerin tedarik zincirinin her aşamasında faaliyet gösteren lojistik şirketleri, üretimden tüketiciye kadar olan süreçte kaynakları etkin bir şekilde yönetmekte ve malların akışını sağlamaktadır (Stock ve Lambert, 2001:70). Ancak bu süreçlerin çevresel etkileri de göz ardı edilemez hale gelmiştir. Lojistik faaliyetlerin artmasıyla birlikte enerji tüketimi, emisyonlar, atık yönetimi ve doğal kaynakların kullanımı gibi çevresel sorunlar da büyük ölçüde artmıştır (Lam ve Olfat, 2017:783). Bu nedenle lojistik sektöründe çevresel yönetim, sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Lojistik sektöründe çevresel yönetimin önemi, çevresel sürdürülebilirlik ilkesine dayanmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da gözetmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır (Seuring ve Müller, 2008:1699). Lojistik faaliyetlerde çevresel etkilerin azaltılması, doğal kaynakların verimli kullanımı, enerji tasarrufu, atık yönetimi ve karbon emisyonlarının azaltılması gibi unsurların ön planda olduğu bir çerçevedir. Çevresel yönetimin lojistik sektöründe gerekliliği, hem çevre hem de ekonomi açısından bir dizi avantaj sunmaktadır. Çevresel etkilerin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve enerji verimliliğinin artırılması, lojistik şirketlerin maliyetlerini düşürebilir ve rekabet avantajı sağlayabilir (Zhu, Sarkis ve Lai, 2007:262). Ayrıca çevresel yönetim, kurumsal itibarın korunmasına ve müşteri sadakatine katkıda bulunabilir. Günümüz tüketicileri, çevreye duyarlı bir şekilde hareket eden şirketleri tercih etmekte ve çevresel etkilere dikkat etmektedir. Bu nedenle, çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründe benimsenmesi, rekabet gücünü artırmak için kritik bir faktördür (Clausen ve Jessen, 2003:681).

Bu çalışmanın amacı, lojistik sektöründe çevresel yönetimin önemini vurgulamak ve çevresel etkilerin azaltılması için etkin stratejileri incelemektir. Ayrıca çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründeki uygulanabilirliği, karşılaşılan zorluklar ve başarı faktörleri de ele alınacaktır. Bu çalışmanın kapsamı, çevresel yönetimin lojistik sektöründeki rolünü ve etkilerini anlamaya yönelik bir inceleme sunmaktır.

İlk olarak, lojistik faaliyetlerin çevresel etkileri detaylı bir şekilde incelenecek, özellikle sektörün karbon ayak izi ve emisyon profili ele alınacaktır. Ardından, çevresel yönetim için yasal düzenlemeler ve standartlar gözden geçirilecek ve lojistik sektöründeki mevcut yasal çerçevenin etkisi değerlendirilecektir. Dördüncü bölümde, lojistik faaliyetlerinde çevresel yönetim uygulamaları

vurgulanacak ve işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için benimsedikleri stratejiler ve uygulamalar ele alınacaktır. Beşinci bölümde, yeşil tedarik zinciri yönetimi bağlamında, tedarik zinciri süreçlerindeki çevresel etkilerin azaltılması üzerinde durulacaktır. Altıncı bölümde, teknolojinin rolü ele alınarak otomasyon, veri analitiği, akıllı ulaşım sistemleri ve Nesnelerin İnterneti gibi teknolojik gelişmelerin lojistik sektöründeki çevresel etkilere olan katkısı incelenecektir. Yedinci bölüm, çevresel yönetimin sektöre sağladığı faydaları ele alacak ve maliyet tasarrufu, verimlilik artışı, kurumsal vatandaşlık ve iş sağlığı güvenliği gibi konular detaylı bir şekilde tartışılacaktır. Sekizinci bölümde, sektördeki engeller ve gelecekteki trendler üzerinde odaklanan zorluklar ve gelecek perspektifleri ele alınacaktır. Son olarak, çalışmanın genel bir özeti sunularak, çevresel yönetimin lojistik sektöründeki kritik önemi vurgulanacaktır.

LOJİSTİK SEKTÖRÜNÜN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Karbon Ayak İzi ve Sera Gazı Emisyonları

Lojistik sektörü, dünya genelinde önemli bir sera gazı emisyonu kaynağıdır. Taşımacılık faaliyetleri, özellikle karayolu taşımacılığı, fosil yakıtların kullanımı nedeniyle büyük miktarda karbondioksit (CO₂) emisyonlarına yol açar (Holmström ve Tapaninen, 2018:2). Bunun yanı sıra diğer sera gazları olan metan (CH₄) ve azot oksitler (NO_x) gibi gazlar da lojistik operasyonları sırasında ortaya çıkabilir. Bu emisyonlar, küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi ciddi çevresel sorunlara katkıda bulunmaktadır (Seuring ve Müller, 2008:1701). Araştırmalar, lojistik faaliyetlerin küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır (McKinnon, 2014:671). Holmström ve Tapaninen'in 2018 tarihli araştırması, karbon ayak izinin değerlendirilmesi bağlamında lojistik faaliyetlerinin çevresel etkilerini incelemekte ve sektördeki çevresel performansı anlamak için önemli bir kaynak sunmaktadır (Holmström ve Tapaninen, 2018:503). Ayrıca, Lam ve Olfat'ın 2017 tarihli çalışması, lojistik şirketlerinde çevresel yönetim uygulamalarını ele almaktadır ve sektöre yönelik çevresel etkileri değerlendirmek adına bilgi sağlamaktadır (Lam ve Olfat, 2017). Bu araştırmalar, lojistik sektöründeki çevresel konulara dair farklı bakış açıları sunarak, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kullanılacak önemli bulgular içermektedir.

Lojistik ve taşımacılık sektörü, enerji tüketimi yüksek ve karbon emisyonu fazla olan bir sektördür. Bu sektördeki karbon ayak izini belirleyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, kullanılan taşıma aracının çeşidi, teknolojisi, seçilen rota ve lojistik sistemin tasarımıdır (Turgut ve Budak, 2022:917). Bu nedenle, lojistik sektöründe karbon ayak izini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını

kontrol altına almak, çevresel sürdürülebilirlik için önemli bir adımdır.

Hava ve Su Kirliliği

Lojistik faaliyetlerinin hava ve su kirliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Özellikle karayolu taşımacılığı, dizel motorlu araçların yaygın kullanımı nedeniyle atmosfere zararlı partikül maddelerin (PM), azot oksitlerin (NOx) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC'ler) salınmasına yol açar (González-Torre, 2011:184). Bu emisyonlar, hava kalitesinin bozulmasına ve solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarına neden olabilir. Lojistik sektöründeki faaliyetler aynı zamanda limanlar ve depolama alanlarında kullanılan kimyasallar ve atıklar nedeniyle su kaynaklarının kirlenmesine ve ekosistemlere zarar verme potansiyeline sahiptir (Macário ve Sousa, 2015:371). Lojistik sektöründeki çevresel etkileri inceleyen araştırmalardan biri, McKinnon'un 2014 tarihli çalışmasıdır. Bu çalışma, lojistik faaliyetlerin küresel sera gazı emisyonlarına önemli bir katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır (McKinnon, 2014). Diğer bir çalışma ise liman faaliyetlerinin deniz suyunun asiditesini artırarak deniz ekosistemlerine zarar verebileceğini göstermektedir (Monios ve Wilmsmeier, 2013). Bu nedenle, lojistik sektöründe çevresel yönetim önlemleri almak ve hava ve su kirliliğini azaltmak önemlidir. Bu iki önemli çalışma, lojistik sektörünün çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik açısından önemli bulgular içermektedir.

Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Lojistik sektörü, malzeme taşımacılığı ve depolama süreçleriyle birlikte önemli miktarda atık üretebilir. Bu atıkların yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Atık yönetimi, atıkların doğru bir şekilde toplanması, ayrıştırılması, geri dönüşümü ve uygun bir şekilde bertaraf edilmesini içerir. Lojistik firmaları, atık üretimini azaltmak ve atıkların geri dönüşümünü teşvik etmek için uygun politika ve uygulamaları benimsemelidir (González- Torre, 2011:187).

Geri dönüşüm, lojistik sektörde atık yönetiminin önemli bir parçasıdır. Malzeme geri dönüşümü, kullanılmış malzemelerin tekrar kullanıma kazandırılması ve yeni ürünlerin üretiminde kullanılmasıdır. Bu, doğal kaynakların tüketimini azaltır ve atıkların çevreye olan etkisini minimize eder. Lojistik sektörde geri dönüşüm uygulamaları, ambalaj malzemelerinin geri dönüşümü, taşıma ekipmanlarının yeniden kullanımı ve atık yönetimi süreçlerinde geri dönüşümün teşvik edilmesi gibi alanlarda yoğunlaşabilir (Macário ve Sousa, 2015:372).

Doğal Kaynakların Kullanımı

Lojistik sektörü, enerji ve doğal kaynakların önemli bir tüketici olduğu bir sektördür. Araştırmalar, taşımacılık faaliyetlerinin enerji yoğun olduğunu ve fosil

yakıtlara dayalı olduğunu göstermektedir (Seuring ve Müller, 2008:1700). Bu durum, fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel etkileri, özellikle de sera gazı emisyonlarını artırması gibi sorunları beraberinde getirir. Lojistik sektöründe doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılması büyük önem taşır. Enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, taşıma rotalarının optimize edilmesi ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik teknolojik gelişmeler gibi faktörler, doğal kaynakların kullanımını azaltmaya yardımcı olabilir (McKinnon, 2014:673). Aynı zamanda yeşil lojistik uygulamaları, çevreye daha az zarar veren malzeme kullanımını teşvik eder ve çevresel sürdürülebilirliği destekler.

Bu bağlamda, Johnson ve Williams'ın (2020) yaptığı bir araştırma, lojistik faaliyetlerinde enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmenin doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, Chang ve Chen'in (2018) karşılaştırmalı analizi, taşıma rotalarının optimize edilmesi ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik teknolojik gelişmelerin, lojistik sektöründe doğal kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Garcia ve Lee'nin (2017) çalışması ise yeşil lojistik uygulamalarının, çevreye daha az zarar veren malzeme kullanımını teşvik ederek çevresel sürdürülebilirliği desteklediğini göstermektedir.

ÇEVRESEL YÖNETİM İÇİN YASAL DÜZENLEMELER VE STANDARTLAR

Ulusal ve Uluslararası Çevre Düzenlemeleri

Lojistik sektöründe çevresel yönetim ve sürdürülebilirlik için önemli olan birçok ulusal ve uluslararası çevre düzenlemesi bulunmaktadır. Ülkeler, çevre kirliliğinin kontrol altına alınması, doğal kaynakların korunması ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlarla mücadele etmek için yasal düzenlemeleri benimsemektedirler. Örneğin, Avrupa Birliği'nde (AB), çevresel etkileri azaltmaya yönelik bir dizi yasal düzenleme bulunmaktadır. AB'nin "Yüksek Seviyede Uyumlu Sürdürülebilirlik Standartları" ve "Çevresel Performansa Dayalı Yasal Düzenlemeler" gibi politikaları, lojistik sektöründeki çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmektedir (Holmström ve Tapaninen, 2018:23). Çevre düzenlemeleri, ulusal düzeyde, atık yönetimi, hava ve su kirliliği kontrolü, enerji verimliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi çeşitli konuları içerir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD), Çevre Koruma Ajansı (EPA) çevre ile ilgili yasalara uyumu sağlar ve denetler (ISO, 2023). Türkiye'de ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen çeşitli politika ve standartlar,

endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerini sınırlamaya yöneliktir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). Bu düzenlemeler, ülke genelinde atık yönetimi, hava ve su kirliliği önleme, enerji verimliliği ve sera gazı salımlarının azaltılması gibi hususlarda etkili olmaktadır. Mesela, Avrupa Birliği'nin çevresel sürdürülebilirlik kriterleri Türkiye'nin çevre politikalarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Türkiye'de de aynı şekilde çevre koruma kurumları, çevresel düzenlemelerin uygulanmasını ve izlenmesini sağlar (Herold ve Lee, 2017:80).

Sürdürülebilirlik Sertifikaları ve Standartları

Lojistik sektöründe sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi ve belgelendirilmesi için birçok sürdürülebilirlik sertifikası ve standartı bulunmaktadır. Bu sertifikalar ve standartlar, çevresel etkilerin ölçülmesi, yönetilmesi ve raporlanması için bir çerçeve sunar. Bunlardan biri, "ISO 14001: Çevre Yönetim Sistemi" standardıdır. Bu standardın amacı, bir kuruluşun çevresel etkilerini sistematik bir şekilde yönetmesine yardımcı olmaktır. Lojistik şirketleri, ISO 14001 standardını uygulayarak çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilirlik performansını iyileştirmek için bir çerçeve oluşturabilir (Macário ve Sousa, 2015:372). Ayrıca sürdürülebilirlik sertifikaları da lojistik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, "LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)" sertifikası, yeşil binaların tasarımı, inşası ve işletilmesi için bir standart olarak kullanılır. Bu sertifika, lojistik tesislerinin çevresel performansını değerlendirmeye ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmaya yardımcı olabilir (Seuring ve Müller, 2008:1708).

LOJİSTİK FAALİYETLERİNDE ÇEVRESEL YÖNETİM UYGULAMALARI

Taşıma Optimizasyonu ve Rotalama

Lojistik sektöründe taşıma optimizasyonu ve rotalama, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Taşıma optimizasyonu, yüklerin en etkin ve verimli şekilde taşınmasını sağlar. Bu, nakliye maliyetlerinin düşürülmesine, yakıt tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur. Taşıma rotalarının doğru bir şekilde planlanması, yüksek doluluk oranlarının sağlanması ve boş dönüşlerin en aza indirilmesi gibi faktörler de çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur (González-Torre, 2011; Holmström ve Tapaninen, 2018:23-24).

Yakıt Verimliliği ve Alternatif Yakıt Kullanımı

Lojistik faaliyetlerinde yakıt verimliliği, çevresel etkilerin azaltılmasında

önemli bir faktördür. Araştırmalar, yakıt verimliliği artışının hem çevresel açıdan hem de işletme maliyetleri açısından avantaj sağladığını göstermektedir. Bu nedenle lojistik şirketleri, araç filolarının yakıt verimliliğini artırmak için teknolojik yeniliklere ve yakıt tasarrufu sağlayan yöntemlere yatırım yapmalıdır. Bunun yanı sıra fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için alternatif yakıt kaynaklarının kullanımı da çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir yaklaşımdır (Seuring ve Müller, 2008:1704-1705). Bu alandaki diğer bir araştırma, lojistik sektöründe elektrikli taşıma araçlarının kullanımının çevresel etkileri azaltabileceğini ve sürdürülebilir bir taşımacılık modeline katkıda bulunabileceğini belirtmektedir (Savelsbergh ve Van Woensel, 2016:169-172). Ayrıca, biyoyakıt kullanımının lojistik faaliyetlerde çevresel sürdürülebilirliği artırabileceğini belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Saifullah ve Hämäläinen, 2018). Bu nedenle, lojistik şirketleri sadece teknolojik yeniliklere değil, aynı zamanda alternatif yakıt kaynaklarının kullanımına da odaklanarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilirler.

Enerji Yönetimi ve Tasarrufu

Lojistik faaliyetlerinde enerji yönetimi ve tasarrufu, çevresel sürdürülebilirlik için kritik bir öneme sahiptir. Lojistik tesislerinde enerji verimliliğini artırmak, enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkileri azaltmak için önemli bir adımdır. Aydınlatma sistemlerinin optimize edilmesi, enerji etiketlemesi, enerji verimli ekipmanların kullanımı ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi gibi stratejiler, enerji yönetimi ve tasarrufunun sağlanmasına katkıda bulunur (Holmström ve Tapaninen, 2018:25).

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

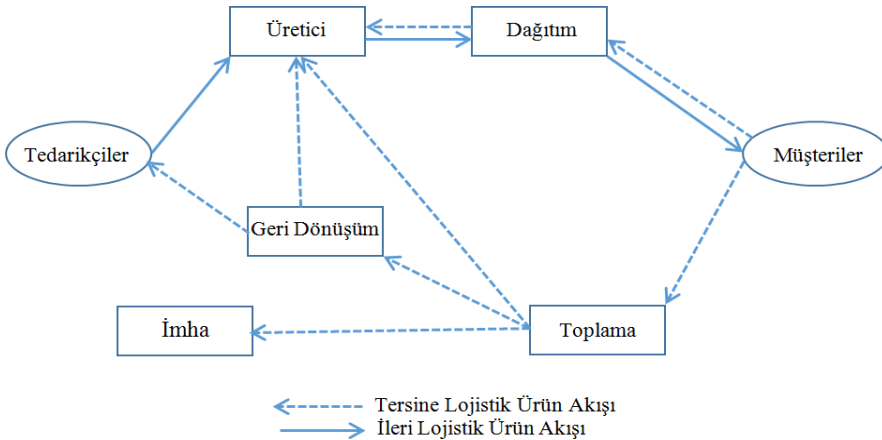
Yeşil tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin çevresel sürdürülebilirliği gözeterek tedarik zinciri faaliyetlerini planlama, uygulama ve kontrol etme sürecidir. Bu yaklaşım, malzeme tedarikinden ürün tasarımına, üretim süreçlerinden dağıtımına kadar olan süreçlerde çevresel etkileri azaltmayı amaçlar (Sarkis, 2012:202-203). Araştırmalar, yeşil tedarik zinciri yönetiminin, enerji verimliliğini artırarak kaynak kullanımını optimize etme, karbon ayak izini azaltma ve sürdürülebilir malzeme kullanımını teşvik etme gibi faktörlerle çevresel performansı artırdığını göstermektedir (Zhu ve Sarkis, 2004:267).

Yeşil tedarik zinciri yönetimi faaliyetleri Şekil 1'de verildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 1. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimindeki Yeşil Faaliyetler
Kaynak: Büyüközkan ve Vardaloğlu (2008: 6)

Tersine tedarik zinciri yönetimi ise ürünlerin tüketiciden üretime doğru hareket ettiği, geleneksel tedarik zinciri modelinin tam tersine işleyen bir süreçtir. Bu yaklaşım, ürünlerin geri dönüşümü, yeniden kullanımı veya yeniden değerlendirilmesini içerir. Tersine tedarik zinciri yönetimi, atık azaltma, dögüsel ekonomiye katkıda bulunma ve malzeme kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanma potansiyeli taşır (Guide ve Van Wassenhove, 2009:10). Bu çerçevede, işletmelerin hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliği artırmak için yeşil tedarik zinciri ve tersine tedarik zinciri yönetimini bir arada değerlendirmeleri önemlidir.



Şekil 2. İleri ve Tersine Lojistik Süreçleri
Kaynak: Demirel ve Gökçen, (2008:206)

Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi ve Değerlendirme

Lojistik sektöründe sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, sadece kendi faaliyetlerini değil tedarikçilerin de çevresel performansını dikkate almayı gerektirir. Sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve değerlendirme, çevresel kriterlere dayalı olarak tedarikçilerin performansını değerlendirmeyi ve çevresel sorumluluklarını yerine getirme kapasitelerini belirlemeyi amaçlar.

Sürdürülebilir tedarikçilerin seçilmesi, çevresel riskleri azaltmaya ve tedarik zincirinin genel çevresel etkisini düşürmeye yardımcı olur. Bu süreçte, sürdürülebilirlik sertifikaları, tedarikçi beyanları ve bağımsız sürdürülebilirlik değerlendirme şirketlerinin raporları gibi kaynaklar kullanılabilir (Pagell ve Wu, 2009; Zsidisin ve Siferd, 2001:62).

Çevresel Performansın İzlenmesi ve Raporlanması

Lojistik şirketleri, çevresel etkilerini anlamak, izlemek ve raporlamak için uygun mekanizmaları kullanmalıdır. Çevresel performansın izlenmesi ve raporlanması, lojistik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine ve iyileştirme fırsatlarının belirlenmesine olanak tanır. Bu süreç, enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, su kullanımı, atık miktarı gibi çevresel göstergelerin takip edilmesini içerir. Ayrıca çevresel raporlama standartları ve yönergeleri (örneğin, Global Reporting Initiative) çerçevesinde düzenli olarak çevresel performans raporları hazırlanmalıdır. Bu, şirketlerin çevresel hedeflerine ulaşma sürecinde ilerlemeyi değerlendirmelerine ve paydaşlarla şeffaf bir iletişim kurmalarına yardımcı olur (Gimenez ve Ventura, 2005; Pagell ve Wu, 2009:38).

Yeşil Tedarik Zinciri Stratejileri

Yeşil tedarik zinciri stratejileri, lojistik sektöründe çevresel sürdürülebilirlik için belirlenen hedeflere ulaşmayı amaçlayan stratejik yaklaşımlardır. Bu stratejiler, çevre dostu malzemelerin kullanımı, yenilikçi ambalaj çözümleri, geri dönüşüm ve atık yönetimi, enerji verimliliği, lojistik ağların yeniden yapılandırılması gibi çeşitli alanları içerebilir. Yeşil tedarik zinciri stratejileri, çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra maliyet tasarrufu, rekabet avantajı ve itibar geliştirmeye de katkıda bulunabilir. Bu stratejilerin başarılı bir şekilde uygulanması, tedarikçi işbirliği, teknolojik yenilikler, politika ve düzenlemelerin desteklenmesi gibi faktörleri gerektirir (Carter ve Rogers, 2008; Pagell ve Wu, 2009:38).

Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi

Tersine tedarik zinciri yönetimi, geleneksel tedarik zinciri modellerinden farklı bir perspektife sahiptir, çünkü ürünlerin tüketiciden üretime doğru hareket

ettiği bir süreçtir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998:1). Bu yaklaşım, ürünlerin geri dönüşümü, yeniden kullanımı ve tekrar değerlendirilmesi gibi faaliyetleri içerir. Geri dönüşüm, ürünlerin ömrünü uzatma, atık miktarını azaltma ve dögüsel ekonomiye katkıda bulunma potansiyeli sunar (Fleischmann, 2000:1). Malzeme kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik etkinlik açısından önemli bir stratejidir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998:2). Bu bağlamda, işletmelerin yeşil tedarik zinciri ve tersine tedarik zinciri yönetimini entegre bir şekilde ele almaları, sürdürülebilirlik hedeflerine daha etkili bir şekilde ulaşmalarına yardımcı olabilir (Guide ve Van Wassenhove, 2009:10).

TEKNOLOJİNİN ROLÜ

Otomasyon ve Veri Analitiği

Lojistik sektöründe otomasyon ve veri analitiği, çevresel yönetim ve sürdürülebilirlik açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Otomasyon, iş süreçlerinde insan müdahalesini azaltarak hataları ve kaynak israfını minimize etmeyi sağlar. Bu, daha verimli ve çevre dostu operasyonlar anlamına gelir. Otomasyon teknolojileri arasında otomatik depolama ve alım- satım sistemleri, otomatik etiketleme ve ambalajlama makineleri, otomatik araç takip sistemleri ve akıllı robotlar bulunur. Ayrıca veri analitiği, büyük veri ve yapay zeka tekniklerini kullanarak lojistik süreçlerindeki verilerin analiz edilmesini sağlar. Bu sayede, verimlilik artışı, yakıt tüketimi optimizasyonu ve atık miktarının azaltılması gibi sürdürülebilirlik hedefleri elde edilebilir (Kamble, 2019:11; Winkenbach ve Azimi, 2017:45).

Akıllı Ulaşım Sistemleri

Akıllı ulaşım sistemleri, lojistik sektöründe çevresel yönetimi destekleyen bir başka önemli teknolojik gelişmedir. Bu sistemler, verimli rota planlaması, trafik yönetimi ve taşıma modlarının entegrasyonu gibi özelliklere sahiptir. Akıllı ulaşım sistemleri, yakıt tüketimini azaltarak emisyonları ve trafik sıkışıklığını önlemeye yardımcı olur. Bunlar arasında trafik sinyalizasyonu optimizasyonu, gerçek zamanlı lojistik takip sistemleri, taşıma paylaşımı uygulamaları ve akıllı park yönetimi sistemleri bulunur. Bu sistemler, lojistik operasyonların verimliliğini artırırken çevresel etkilerini azaltmaya yardımcı olur (Jaller ve Hakimi, 2018:1; Macharis, 2017).

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve İzlenebilirlik

Nesnelerin İnterneti (IoT), lojistik sektöründe izlenebilirlik ve çevresel yönetim için büyük bir potansiyele sahiptir. IoT, nesnelerin birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan bir ağ teknolojisidir. Lojistikte, ürünlerin, envanterin ve taşıtların IoT sensörleri aracılığıyla izlenebilmesi, daha hassas envanter yönetimi, verimli rotalama ve teslimat süreçlerinin optimize edilmesi anlamına gelir. Bu da yakıt tasarrufu, atık azaltımı ve lojistik faaliyetlerin çevresel etkilerinin azaltılması anlamına gelir. IoT aynı zamanda geri dönüşüm süreçlerini de izlemek ve optimize etmek için kullanılabilir. Örneğin, geri dönüşüm malzemelerinin izlenebilmesi, geri dönüşüm oranlarını artırabilir ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayabilir (Hribernik, 2017; Korpela, 2017:1).

LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE ÇEVRESEL YÖNETİMİN FAYDALARI

Maliyet Tasarrufu ve Verimlilik Artışı

Çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründe maliyet tasarrufu ve verimlilik artışı sağladığı birçok araştırma tarafından belirtilmiştir. Örneğin, enerji yönetimi, atık yönetimi ve taşıma optimizasyonu gibi çevresel yönetim stratejileri, enerji ve kaynak tüketimini azaltarak işletmelere önemli miktarda tasarruf sağlayabilir. Bununla birlikte daha verimli lojistik süreçler, depo yönetimi, rotalama ve envanter kontrolü gibi alanlarda da verimlilik artışına olanak tanır. Bu da lojistik operasyonların daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar, hataları minimize eder ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar (Gimenez ve Ventura, 2005; Li, 2017; Seuring ve Müller, 2008:1703).

Lojistik sektöründe çevresel yönetim uygulamalarının maliyet tasarrufu ve verimlilik artışı sağladığı konusunda yapılan bir dizi araştırma, sektördeki işletmelerin sürdürülebilirlik stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Gimenez ve Ventura'nın (2005) çalışması, enerji yönetimi, atık yönetimi ve taşıma optimizasyonu gibi çevresel yönetim stratejilerinin, işletmelerin enerji ve kaynak tüketimini azaltarak önemli miktarda maliyet tasarrufu sağlayabileceğini belirtmektedir. Li'nin (2017) araştırması, daha verimli lojistik süreçlerin, depo yönetimi, rotalama ve envanter kontrolü gibi alanlarda artan verimlilikle sonuçlanmaktadır. Seuring ve Müller'in (2008) çalışması, çevresel yönetim uygulamalarının lojistik operasyonları etkili bir şekilde yönetmeye olanak tanıdığını ve bu sayede işletmelerin hataları minimize ettiğini, kaynakları daha verimli kullandığını ve genel olarak daha sürdürülebilir bir lojistik strateji oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu araştırmalar, çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründe hem maliyet tasarrufu hem de verimlilik artışı sağladığını göstermektedir (Gimenez ve Ventura, 2005; Li, 2017; Seuring ve Müller, 2008).

İyi Kurumsal Vatandaşlık ve Marka Değeri

Çevresel yönetim uygulamaları, lojistik sektöründe iyi kurumsal vatandaşlık ve marka değeri oluşturmanın önemli bir yoludur. Bir işletmenin çevre dostu uygulamaları benimsemesi, müşteriler ve paydaşlar tarafından takdir edilir. Bu, işletmeye itibar kazandırır, müşteri sadakati artırır ve rekabet avantajı sağlar. Ayrıca tedarik zinciri boyunca sürdürülebilirlik değerlerini paylaşan tedarikçiler ve iş ortaklarıyla daha güçlü ilişkiler kurulmasına olanak tanır. Bu da işletmenin sürdürülebilirlik hedeflerini daha etkin bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar (Pagell ve Wu, 2009; Zhu, 2018:144).

İstihdam ve İş Sağlığı Güvenliği

Çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründe istihdam ve iş sağlığı güvenliği açısından önemli faydaları vardır. İşletmelerin çevre dostu uygulamaları benimsemesi, işçilerin sağlığını ve güvenliğini ön planda tutmasını gerektirir. İş sağlığı güvenliği önlemleri, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesine yardımcı olur, çalışanların iş memnuniyetini artırır ve işletmenin işveren olarak iyi bir imajını yükseltir. Ayrıca çevre dostu uygulamaların benimsenmesi, yeşil iş fırsatlarının yaratılmasına ve yeşil işlerin artmasına katkıda bulunur, böylece sektörde istihdamın artması sağlanır (Özkanlı ve Güven 2020:1).

ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Lojistik Sektöründeki Engeller ve Sınırlamalar

Lojistik sektöründe çevresel yönetimin benimsenmesi ve uygulanması bazı engellerle karşılaşabilir. Bunlar arasında maliyetler, teknik zorluklar, yasal düzenlemeler, bilgi eksikliği ve işletmelerin çevre dostu uygulamalara yönelik isteksizliği yer alır. Örneğin, çevre dostu teknolojilerin yüksek maliyetleri ve yatırım gereksinimleri, küçük ve orta ölçekli işletmeler için önemli bir engel olabilir. Ayrıca çevresel düzenlemelerin karmaşıklığı ve farklı ülkeler arasındaki farklılıklar da işletmelerin çevre dostu uygulamaları benimsemesini zorlaştırabilir. Bununla birlikte çevre dostu uygulamalara yönelik farkındalık düşük olduğunda, işletmeler bu konuda eğitim ve bilgi eksikliği ile karşılaşabilir (Carter ve Rogers, 2008; Hofmann ve Busse, 2011; Wu, 2015:1).

Yenilikçi Çözümler ve Gelecekteki Trendler

Lojistik sektöründe çevresel yönetimle ilgili gelecekteki trendler ve yenilikçi çözümler, çevre dostu teknolojilerin ve dijital dönüşümün hızla gelişmesiyle şekillenmektedir. Örneğin, otonom taşıtlar ve elektrikli araçlar gibi çevre dostu taşıma teknolojileri, lojistik faaliyetlerde karbon ayak izini azaltmada önemli bir

rol oynayabilir. Ayrıca, yapay zeka ve veri analitiği gibi dijital çözümler, lojistik süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesini ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlayabilir. Bunun yanı sıra sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ve yeşil lojistik gibi stratejiler, lojistik sektöründe gelecekte daha fazla öneme sahip olacak trendlerdir (Fleischmann, 2014; McKinnon, 2015; Pacheco, 2020:1). Tablo 1’de lojistik sektöründe yaşanan zorluklar ve buna yönelik gelecek perspektifler yer almaktadır.

Tablo1. Lojistik sektöründe yaşanan zorluklar ve gelecek perspektifler

Engel ve Sınırlamalar	Çözümler ve Gelecek Trendleri
Maliyetler: Çevresel teknolojilere yüksek maliyetler ve yatırım gereksinimleri küçük ve orta ölçekli işletmeler için engel oluşturabilir.	Gelecekteki Trend: Çevre dostu teknolojilerin maliyetlerindeki düşüş ve destekleyici teşvik politikaları bu engeli azaltabilir.
Teknik Zorluklar: Çevresel yönetimin uygulanmasında karşılaşılan teknik zorluklar işletmeleri engelleyebilir.	Yenilikçi Çözüm: Dijital dönüşüm ve yapay zeka, lojistik süreçlerin daha etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir.
Yasal Düzenlemeler: Çevresel düzenlemelerin karmaşıklığı ve ülkeler arasındaki farklılıklar işletmeleri zorlayabilir.	Gelecekteki Trend: Küresel çapta standartlaşmış çevresel düzenlemelerin oluşturulması ve uygulanması, işletmeler için uygun bir ortam yaratabilir.
Bilgi Eksikliği: İşletmelerin çevre dostu uygulamalara yönelik bilgi eksikliği engel olabilir.	Yenilikçi Çözüm: Eğitim programları ve bilinçlendirme kampanyaları, işletmelerin çevresel yönetim konusundaki bilgi eksikliğini gidermeye yardımcı olabilir.
İsteksizlik: Bazı işletmelerin çevre dostu uygulamalara yönelik isteksizliği bir engel oluşturabilir.	Gelecekteki Trend: Toplumsal beklentilerin ve çevresel sorumluluk anlayışının artması, işletmeleri çevre dostu uygulamalara yönlendirebilir.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

SONUÇ

Bu çalışmada, lojistik sektöründe çevresel yönetimin önemi ve gerekliliği üzerine bir genel bakış sunulmuştur. Çevresel yönetim, lojistik faaliyetlerin çevresel etkilerini azaltmayı ve sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Çalışmanın amacı, lojistik sektöründe çevresel yönetimin önemini vurgulamak ve sektörde çevresel etkilerin azaltılması için çeşitli uygulamaları ve çözümleri incelemektir.

Lojistik sektöründe çevresel yönetimin önemi, çevre kirliliğinin azaltılması, doğal kaynakların korunması, enerji verimliliğinin artırılması ve atık yönetimi gibi konuları içermektedir. Bu bağlamda, karbon ayak izi ve sera gazı

emisyonlarının kontrol altına alınması, hava ve su kirliliğinin önlenmesi, atık yönetimi ve geri dönüşümün teşvik edilmesi, doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gibi konular önem arz etmektedir.

Çevresel yönetimin lojistik sektöründe benimsenmesi ve uygulanması, bir dizi zorluk ve sınırlamalarla karşılaşabilir. Bunlar arasında maliyetler, teknik zorluklar, yasal düzenlemeler ve bilgi eksikliği yer almaktadır. Ancak yenilikçi çözümler ve gelecekteki trendler, lojistik sektöründe çevresel yönetimin gelişimine ve başarılı bir şekilde uygulanmasına yardımcı olacaktır. Bu çözümler arasında otonom taşıtlar, elektrikli araçlar, yapay zeka, veri analitiği ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi gibi alanlardaki teknolojik gelişmeler önemli bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, lojistik sektöründe çevresel yönetim uygulamalarının benimsenmesi, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemesine, çevresel etkilerini azaltmasına ve rekabet avantajı elde etmesine yardımcı olacaktır. Çevresel yönetimin önemi ve gerekliliği, işletmelerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesini sağlayacak ve gelecek nesillere daha temiz ve sürdürülebilir bir dünya bırakılmasına katkı sağlayacaktır.

REFERANSLAR

- Carter, C. R., ve Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360-387.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). Türkiye'deki çevresel düzenlemeler], <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/dokumanlar/turkiye-cevre--8230-48359-20210421084531.pdf> adresinden 27 Kasım 2023 tarihinde alınmıştır.
- Chang, Y.-H., ve Chen, Y.-S. (2018). Sustainable logistics and supply chain management: A review. *Sustainability*, 10(11), 3662.
- Cheng, T. E., Ma, H., ve Hasan, I. (2014). The impact of environmental management system adoption on firm performance: Evidence from manufacturing firms in China. *Journal of Operations Management*, 32(1-2), 1-13.
- Clausen, U., ve Jessen, U. (2003). Environmental management in logistics: A literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(8), 681-701.
- Demirel, Ö. N. ve Gökçen, H. (2008). “Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri İçin Lojistik Ağı Tasarımı: Literatür Araştırması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 903-912.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., Van Nunen, J. A., ve Van Wassenhove, L. N. (2000). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Fleischmann, M., Krikke, H., Dekker, R., ve Flapper, S. (2014). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*, 36(6), 932-947.
- Garcia, J. E., ve Lee, L. H. (2017). Green logistics management and performance: A systematic literature review. *Sustainability*, 9(8), 1437.
- Gimenez, C., ve Ventura, E. (2005). Sustainability in the operation management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 13(11-12), 1141-1152.
- Gimenez, C., ve Ventura, E. (2005). Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1063-1078.
- González-Torre, P. L. (2011). Environmental sustainability in the transportation sector: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(1), 183-197.
- González-Torre, P. L., Adenso-Díaz, B., ve Artiba, A. (2011). Environmental and

- economic performance of international logistics providers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 836-852.
- Guide Jr, V. D. R., ve Van Wassenhove, L. N. (2009). The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, 57(1), 10-18.
- Herold, D. M., ve Lee, K. H. (2017). Carbon management in the logistics and transportation sector: an overview and new research directions. *Carbon Management*, 8(1), 79-97
- Hofmann, E., ve Busse, C. (2011). Corporate practices in sustainable innovation management—empirical evidence from an empirical analysis in large German companies. *International Journal of Innovation Management*, 15(03), 477-506.
- Holmström, J., ve Tapaninen, U. (2018). Carbon footprint of logistics service providers: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 204, 491-504.
- Holmström, J., ve Tapaninen, U. (2018). Driving sustainable supply chain management in European road freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 26, 22-30.
- Holmström, J., ve Tapaninen, U. (2018). *Sustainable logistics and green supply chain management: Insights from the food industry*. Routledge.
- ISO. (2023). Towards a net-zero logistics sector. <https://www.iso.org/contents/news/2023/01/a-net-zero-logistics-sector.html> adresinden 1 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- Jaller, M., ve Hakimi, N. (2018). Intelligent transportation systems for sustainable mobility: An overview. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(2), 393-401.
- Johnson, M. E., ve Williams, C. D. (2020). Sustainable logistics and transportation: An overview. In *Sustainable Logistics and Transportation: Optimization Models and Algorithms* (pp. 1-24). CRC Press.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., ve Gawankar, S. A. (2019). Sustainable supply chain management in the era of industry 4.0: A systematic literature review and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 11-32.
- Korpela, J., Hallikas, J., ve Dahlberg, T. (2017). Digital supply chain transformation toward blockchain integration. *Journal of Business Logistics*, 38(4), 1-17.
- Lam, J. ve Olfat, A. (2017). Green logistics: a review of the literature and implications for future research. *Aslib Journal of Information Management*, 69 (6), 783-810.
- Li, D., Zhu, Q., ve Sarkis, J. (2017). Green supply chain management and

- performance: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 252-267.
- Li, S. (2017). Green supply chain management and environmental sustainability: Insights from the Chinese automotive industry. *Business Strategy and the Environment*, 26(1), 25-38.
- Macário, R., ve Sousa, J. M. C. (2015). Sustainable performance indicators for freight transport. *Journal of Cleaner Production*, 96, 370-383.
- Macharis, C., Logghe, S., ve Vlassenroot, S. (2017). A conjoint analysis of acceptance of alternative fuel vehicles in Flanders-Belgium. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 30-42.
- McKinnon, A. (2014). The carbon footprint of global trade. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 322-328.
- McKinnon, A. C. (2014). Carbon footprinting in logistics: Challenging the assumptions of best transport mode choice. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 44(8/9), 670-685.
- McKinnon, A., Cullinane, S., ve Browne, M. (2015). *Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. Kogan Page Publishers.
- Monios, J., ve Wilmsmeier, G. (2013). Ports, logistics and climate change: A review. *Transport Reviews*, 33(6), 681-708.
- Özkanlı, Ö., ve Güven, A. G. (2020). Çevresel yönetim uygulamalarının lojistik sektöründe istihdam ve iş sağlığı güvenliği üzerine etkileri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(71), 1-14.
- Pacheco, R. R., Borenstein, D., ve Maletič, M. (2020). *Sustainable logistics and supply chain management: Principles and practices for sustainable operations and management*. Springer.
- Pagell, M., ve Wu, Z. (2009). Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies of 10 exemplars. *Journal of Supply Chain Management*, 45(2), 37-56.
- Pagell, M., Wu, Z., ve Wasserman, M. E. (2010). Thinking differently about purchasing portfolios: An assessment of sustainable sourcing. *Journal of Supply Chain Management*, 46(1), 57-73.
- Rogers, D. S., ve Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reverse Logistics Executive Council.
- Saifullah, S., ve Hämäläinen, R. P. (2018). A review of biogas production from different waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 247-260.
- Sarkis, J. (2012). A boundaries and flows perspective of green supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(2), 202-216.
- Savelsbergh, M., ve Van Woensel, T. (2016). Closed-loop supply chains for

- electric vehicle batteries: A review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 169-187.
- Seuring, S., ve Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710.
- Stock, J. R., ve Lambert, D. M. (2001). *Strategic logistics management*. McGraw-Hill.
- Turgut, A., ve Budak, T. (2022). Lojistik ve taşımacılığın karbon ayak izi: Sistematik bir literatür incelemesi. *Kent Akademisi Dergisi*, 15(2), 916-930
- Winkenbach, M., ve Azimi, M. (2017). The digital transformation of supply chain management. *MIT Sloan Management Review*, 58(2), 45-53.
- Wu, Z., Pagell, M., ve Wasner, M. (2015). The environmental performance of logistics service providers: Construct development and measurement validation. *Journal of Supply Chain Management*, 51(1), 56-79.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Lai, K. H. (2007). Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 261-273.
- Zhu, Q., Sarkis, J., ve Lai, K. H. (2018). Green marketing and consumerism as social change in China: Analyzing the literature. *Journal of Cleaner Production*, 198, 143- 156.
- Zhu, Q., ve Sarkis, J. (2004). Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. *Journal of Operations Management*, 22(3), 265-289.
- Zsidisin, G. A., ve Siferd, S. P. (2001). Environmental purchasing: A framework for theory development. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(1), 61-73.

2. Bölüm

Karbonsuz Lojistik

Öğr. Gör. Hayrullah ALTINOK¹

¹ Öğr. Gör.; Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, haltinok@bandirma.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6844-9160

GİRİŞ

Lojistik günümüzde ülkelerin gelişimi için kilit rol oynayan sektörlerden biridir. Milli geliri yüksek olan ülkelerin lojistik sektöründe de başarılı olduğu görülmektedir. Ülkeler lojistik faaliyetlerin etkin, verimli, esnek, etkili, çevik ve farklı gerçekleştirme durumunu gösteren lojistik performansını yükseltmeyi amaçlamaktadır. Ülkeler lojistik performansını yükselttikçe milli gelirinin de genellikle yükseldiği görülmüştür. Aynı durum ülkeler içerisinde faaliyet gösteren işletmelerde de geçerlidir. Lojistik performansı yükseltmek lojistiğin 7 doğrusu olarak bilinen “doğru ürün, doğru tüketici, doğru şartlar, doğru zaman, doğru yer, doğru miktar, doğru fiyat/maliyet” kriterlerinde fayda sağlayarak işletmelerin birbirlerine karşı üstünlüklerini gösteren rekabet avantajı sağlamasına destek olmaktadır. Dolayısıyla hem ülkeler hem de işletmeler için lojistik, ekonomik sürdürülebilirliği en önemli parçalarındandır.

Birçok pozitif dışsallığı mevcut olan lojistiğin negatif dışsallıkları da mevcuttur. Bunların en başında çevreye verdiği zarar gelmektedir. Dünyanın çevreye en fazla zarar veren sektörleri arasında genellikle üçüncü sırada gösterilmektedir. Bu durum ekonomik sürdürülebilirlik açısından gerekliliğinin yanında çevresel açıdan önemini ortaya çıkarmaktadır (Shen vd., 2022).

Çevresel kirliliğinin havaya yayılan gazlardan, suya sızan veya dökülen maddelerden, toprağa karıştırılan maddelerden, yayılan sestene ve çevre kirliliğinden oluştuğu bilinmektedir. Bu kirlilik türlerine neden olmak doğrudan olabildiği gibi dolaylı yoldan da gerçekleşebilmektedir. Lojistik sektörü bu kirlilik türlerinin hepsine neden olabilmektedir. Burada üzerinde durulması gereken en önemli konu ise hava kirliliğidir. Canlıların yaşaması için vazgeçilemez ve gereken en temel unsurların başında geldiği bilinen havanın temiz sayılabilmesi için havada %78 azot, %21 oksijen ve %1 diğer gazlar yer almalıdır. Fakat insan faaliyetleri sonucu bu denge değişmektedir. Faaliyetler sonucu en fazla salınan gazlar karbondioksit(CO₂), metan gazı(CH₄), azotoksitler (NO_x), kükürtdioksit (SO₂), karbonmonoksit (CO) olarak söylenebilir. Karbon atomları sürekli olarak atmosfer ve dünya arasında geçiş sağlayarak karbon döngüsü yaratır. Dünya üzerindeki karbon dengesini sağlayan en önemli canlılar bitkilerdir. Fakat sanayi devriminden sonra fosil yakıtların yanması sonucu çevreye yayılan karbondioksit salınımı günümüzde dünyadaki karbon yutakları tarafından emilebileceği miktarın yaklaşık 2 katına çıkmıştır. Bu kalan kısım ise atmosfere salınmakta ve orada ısıyı hapsederek dünyanın daha fazla ısınmasına dolayısıyla da küresel ısınmaya yol açmaktadır. Lojistik sektörü bu kirliliğe en fazla sebep olan sektörler içerisinde yer almaktadır(Abukhader ve Jönson, 2004).

Ekonomiye bu denli pozitif katkılar sunan lojistiğin çevresel kirliliğe olan negatif etkisi göz önünde bulundurularak azaltılması söz konusu değildir. Bunun yerine verilen zararı azaltmaya yönelik çalışmaların yapılması gerektiği görülmüştür. Birçok ülke ve ülke grupları bu konuda yapıcı politikalar belirlemektedir. Bu politikalar ülkelerin işletmeler üzerinde baskı kurmasına ve çevreye verilen zararı azaltıcı eylemler gerçekleştirmesine katkı sunmaktadır. Günümüzde bakıldığında bu durum başarılı olmuş gibi görülmemektedir. Giderek artan çevre kirliliği bunun en büyük göstergesidir. Bu değişimin birçok nedenden dolayı bir anda olamayacağı yıllar süren bir istikrar sonucu gerçekleşebileceği net bir şekilde görülmektedir (Day vd., 2011).

LOJİSTİK VE KARBON EMİSYONLARI

İnsan ihtiyaçlarını karşılamak için ihtiyaç duyulan ürünün hammaddeden nihai tüketiciye ulaşana kadar gerçekleştirilen faaliyetleri ve bu faaliyetlerin ileri yönlü olduğu gibi geri yönlüde ele alındığı, bilginin sürekli ön planda olduğu süreci ifade eden lojistik (Erturgut, 2016) bütün süreçlerinde çevreye gaz salınımı gerçekleştirmektedir (Shen vd., 2022). Lojistikte karbon emisyonuna neden olan faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Taşıma ve Elleçleme Araçları: En fazla karbon salınımı yapan sektörler sıralamasında genel olarak üçüncü gösterilen lojistikte bunun en önemli nedeni olarak taşıma ve elleçleme araçları gösterilebilir. Lojistik faaliyetlerde kullanılan kamyon, tren, uçak, gemi, vinç, forklift gibi taşıma ve elleçleme araçları genel olarak fosil yakıt (dizel, benzin vb) veya yanması sonucu ortaya çıkan enerjiyi tüketmektedir. Çevreye en çok karbon salınımı fosil yakıtların yanması sonucu ortaya meydana gelmektedir.

Enerji Kullanımı: Lojistik faaliyetlerde çevreye salınan gazların büyük bir kısmı fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce bitki ve hayvan kalıntılarının doğal süreçlerle parçalanması, birikmesi ve yer altında uzun süreli bir dönüşüme uğramasıyla oluşan organik kökenli yakıtlardır. Bu yakıtlar, genellikle kömür, petrol ve doğal gaz olmak üzere üç ana türde sınıflandırılır ve endüstriyel devrimden bu yana enerji kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Taşıma veya elleçleme araçlarının yanında taşıma dışında kalan depolama, ambalajlama gibi faaliyetlerde ısınma, soğutma, aydınlatma gibi alanlarda da genellikle fosil yakıt veya bunun yanması sonucunda elde edilen enerji kullanılmaktadır. Buda sera gazı salınımına yol açarak küresel ısınmaya ön ayak olmaktadır.

Fosil yakıt kullanımı günümüzde her ne kadar kısıtlanmaya çalışılsa ve bu konuda ciddi politikalar izlense de fosil yakıta olan talep giderek artmaktadır. Buna fosil yakıt saplantısı da denilmektedir (Topuz vd., 2017).

“Dünya nüfusunun artışı ve fosil enerji kaynaklarının zamanla azalması, ülkeleri alternatif enerji kaynakları aramaya yöneltmektedir. Bunun önündeki en büyük handikap “Fosil Enerji Saplantısı” dir. Ekonomilerin fosil enerji kaynakları olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kökenli kaynakların bir bağımlısı olarak, alternatif yenilebilir enerji kaynaklarının önemini bildiği halde bunu görmemezlikten gelmesine biz “ Fosil Enerji Saplantısı (Fossil Energy Obsession)” olarak tanımlıyoruz.”

Bu tanıma göre fosil yakıt tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmakta ve yenilenebilir enerjinin önemi bilinmekte fakat öngörülen azaltmayı sağlayamamaktadır. Bu durumu tersine döndürmek için stratejiler daha çevre dostu planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Lojistik Performansın Düşük Olması: Lojistik süreçlerin performansının düşük olması da karbon salınımını artırmaktadır. Süreçlerde etkinlik, etkililik, verimlilik, esneklik olarak bilinen lojistik performans doğru yönetilemediğinde gereksiz enerji kullanımı ortaya çıkabilir. Bu sorunlar;

- Rota optimizasyonunun sağlanamaması sonucu olarak taşıma mesafesinin gereksiz artması
- Eksik yükte taşıma veya yüksüz yol alma sonucunda enerji tüketiminin artması veya gereksizliği,
- Düşük kapasite veya boş depoların çalıştırılması sonucu gereksiz aydınlatma, ısınma veya soğutmanın yapılması,
- Ambalajlama faaliyetinin doğru planlanıp uygulanamaması sonucunda gereksiz enerji veya ambalajlama sarfiyatı,
- Satın alınan yetersiz yapılması sonucu üretim işlemlerinin aksaması veya yeniden sipariş verme sonucu daha sık taşıma yapılması. Ayrıca satın alınan fazla yapılması sonucu depoların gereksiz çalışması,
- Envanter takibinin doğru yapılamaması sonucu yaşanabilecek birden fazla satın alma işlemi ve taşıma işlemi gerçekleştirmek zorunda kalma. Örneğin; Envanterde var olan makinayı fark etmeme sonucu yeniden satın alma yoluna giderek ürünün tekrar üretilme sürecindeki veya satın alma sonrası elde fazla makina bulunduğu için depolamasının yapılması sonucu enerji tüketimine yol açma,

- Lojistik faaliyetleri dijitalleştirememesi sonucunda gereksiz insan kaynağı için veya üretim, depolama vb için bina kullanılması,
- Tesis yeri seçiminde optimum seçim yapılmadığından taşıma mesafelerinin gereksiz artması
- Sipariş yönetimi süreçlerinde doğru sistem veya kullanılmaması veya sistemli çalışılması sonucu birden fazla sipariş gönderme, eksik gönderilen ürünün tamamlanması vb. durumlardan kaynaklanan enerji kaybı,
- Lojistik faaliyetlerde iletişim ve iş birliğinin yeterli olmaması süreçlerin verimsiz çalışarak daha fazla veya gereksiz yakıt tüketimi olarak sıralanabilir.

Ambalaj Malzemeleri ve Atıklar: Ambalaj malzemelerinin üretilmesi, kullanımı ve daha sonra atılması da karbon emisyonlarına yol açmaktadır. Özellikle tek kullanımlık ambalajlar geri dönüşümü sağlanamadığından sürekli hammadde çıkarımı, taşınması ve üretimi gibi faaliyetlerden geçtiği için daha çok enerji tüketimine yol açacaktır.

Tedarik Zinciri Sürecinin Uzun Olması: Tedarik zincirinde süreçleri çeşitlendirmek veya uzatarak gerçekleştirmek daha uzun mesafelere sevkiyat gerçekleştirmeye yol açabilir. Bunun yanında maliyet avantajı sağlamak isteyen işletmeler genellikle çevreye verilen zararı ikinci plana koyarak çevreye daha az zarar verecek hammaddeye yakın üretim tesisleri yerine ucuz işgücüne sahip üretim yerleri tercih ederek yüksek miktarda taşımacılık yapılmasını sağlayabilirler. Bu durumda enerji tüketimini artırır.

SÜRDÜRÜLEBİLİR LOJİSTİK FAALİYETLERLE EMİSYONLARI AZALTMA STRATEJİLERİ, POLİTİKALAR VE TEŞVİKLER

Sürdürülebilir lojistik, faaliyetlerin ekonomik verimliliği, çevresel duyarlılığı ve sosyal sorumluluğu göz önünde tutularak gerçekleştirilmesidir. Geçmişte sürdürülebilirliğin ekonomik ve sosyal boyutları işletmeler açısından daha ön planda tutulsa da günümüzde artan çevre kirliliği sonucu çıkan strateji ve politikalarla birlikte toplumsal baskı çevre boyutu düşünülmeden sürdürülebilir olunamayacağını göstermiştir. Dolayısıyla hem ülkeler hem de işletmeler lojistik faaliyetlerini karbonsuzlaştırma adına stratejiler belirlemeli, politikalar üretmeli ve teşvikler vermelidir. Bu strateji, politika ve teşviklerin akademi dünyasında yapılan inceleme sonucunda önemli olarak görülenlerini başlıklar halinde inceleyelim.

Lojistik Faaliyetlerde Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Ekonominin yapı taşlarında biri olan lojistik hizmeti gerçekleştirilirken veya üretilirken yüksek miktarda enerji tüketmektedir. En fazla enerji tüketilen sektörler listelerinde genellikle ilk sıralarda yer almasıyla bilinmektedir. Kullandığı yakıt miktarının yüksek olmasının yanında bu miktarın büyük çoğunluğunu fosil yakıtların oluşturması çevresel açıdan önemini de ortaya koymaktadır. Fosil yakıtların kullanımının çevreye yüksek miktarda gaz salınımına yol açarak atmosfer dengesini bozduğu daha önce yapılan birçok çalışmada vurgulanmıştır. Buradan yola çıkarak lojistik sektörünün faaliyetlerinde çoğunlukla fosil yakıt kullanması çevreye verdiği zarar gözler önüne sermektedir.

Lojistiğin çevreye verdiği zararın nedenlerinin içerisinde birinci sırayı fosil yakıt kullanımından kaynaklanan karbon salınımıdır. Dolayısıyla yapılacak stratejiler, politikalar ve teşvikler daha çok lojistiğin enerji kullanımına ilişkin olmalıdır. Bunlardan ilki kullanılan enerjinin elde edildiği kaynağı değiştirmektir. Fosil yakıtlar doğada sınırlı bulunan ve kullanıldıkça tükenen yakıtlardır. Yakılması sonucu ise havaya gaz salar. Bunun yerine kullanıldıkça tükenmeyecek, doğada sınırsız bulunan, kullanıldığında doğaya zarar vermeyecek veya fosil yakıtlara göre çok daha az zarar verecek enerji türlerini tercih etmek gerekir. Bu enerji türlerinin genel ismine “*Yenilenebilir Enerji Kaynakları*” denilmektedir. Bu enerji kaynakları, doğal süreçlerle veya insan müdahalesiyle sürekli olarak yenilenebilir ve kullanıldıkça tekrar oluşabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevreye zarar vermeden veya karbon emisyonlarını minimumda tutarak elektrik, ısı ve mekanik enerji gibi farklı formlarda enerji sağlar. Tabloda yenilenebilir enerji türü ve elde edildiği doğal kaynaklar verilmiştir (Gross vd., 2003; Mohtasham, 2015).

Tablo 1: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Başlıca Yenilenebilir Enerji Türü	Enerji Elde Edilen Kaynak
Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
Güneş Enerjisi	Güneş
Jeotermal Enerji	Yer Altı Sıcak Suyu veya Su Buharı
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizlerde Meydana Gelen Dalga
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler
Hidrolik Enerji	Nehirler
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar

Kaynak: Mohtasham, J. (2015). Renewable energies. *Energy Procedia*, 74, 1289-1297.

Güneş Enerjisi: Güneş ışığından elde edilen enerjidir. Güneş panelleri aracılığıyla güneş ışığı, fotovoltaik hücrelerde elektrik enerjisine dönüştürülür veya termal güneş kolektörleri yardımıyla ısı enerjisi elde edilir.

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgârın kinetik enerjisi, rüzgâr türbinleri kullanılarak elektrik enerjisine çevrilir. Rüzgâr türbinleri genellikle rüzgârın bol olduğu açık alanlarda konumlandırılır.

Hidrolik-Hidroelektrik Enerji: Suyun kinetik enerjisi, hidroelektrik barajlar veya akarsu türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Barajlar, suyun potansiyel enerjisini elektrığe çevirirken akarsu türbinleri, nehirlerde veya akarsularda hareket eden suyun enerjisini kullanır.

Biyokütle Enerjisi: Organik maddelerden, örneğin bitkisel atıklar, odun, tarımsal artıklar veya hayvansal atıklar, biyogaz, biyokütle kazanları veya biyokütle enerji tesisleri aracılığıyla enerji üretmek için kullanılır.

Jeotermal Enerji: Yer altındaki sıcak su veya buharın termal enerjiye dönüştürülmesidir. Jeotermal enerji, ısıtma, elektrik üretimi veya sera tarımı gibi alanlarda kullanılabilir.

Dalga enerjisi: Okyanus veya deniz gibi su kütlelerinde meydana gelen dalga hareketlerinden elde edilen enerjiyi ifade eder. Bu enerji, dalga hareketlerinin kinetik enerjisinin veya su kütlelerindeki hareketin elektrik enerjisine dönüştürülmesi yoluyla elde edilir. Dalga enerjisi genellikle gelgit enerjisi ve dalga hareketlerinden kaynaklanan enerjiyi içerir. Gelgit enerjisi, dünyanın yer çekimi etkisi altındaki deniz seviyesinin düzenli olarak yükselip alçalmasından kaynaklanırken, dalga enerjisi, rüzgârlar veya yerçekimi gibi etkenlerden kaynaklanan dalga hareketlerinden gelir.

Hidrojen enerjisi: hidrojen gazının kullanılmasıyla elde edilen bir enerji türünü ifade eder. Hidrojen, en bol bulunan elementlerden biridir ve genellikle su veya doğal gaz gibi kaynaklardan elde edilebilir. Bu enerji türü, yakıt hücreleri veya doğrudan yakma gibi yöntemlerle elektrik ve ısı üretmek için kullanılır. Hidrojenin elde edilmesi, çoğunlukla suyun elektrolizi (hidrolizi) yöntemiyle gerçekleşir. Bu işlemde su, elektrik enerjisi kullanılarak hidrojen ve oksijene ayrıştırılır. Elde edilen hidrojen gazı daha sonra çeşitli alanlarda kullanılabilir.

Güncel duruma bakıldığında enerji ihtiyacının çok küçük bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Lojistik faaliyetleri karbonsuz hale getirmek istiyorsak kesinlikle yenilenebilir enerjiye yönelmeli ve gelecekte bütün kurguyu bu enerji üzerine kurmamız gerekmektedir. Yapılacak strateji, politikalar ve teşviklerde kesinlikle yenilenebilir enerji üretimi artırıcı veya kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır.

Yeşil Taşımacılık

Yeşil taşımacılık, çevreye daha az zarar veren, daha az enerji tüketen ve daha sürdürülebilir olan taşımacılık yöntemlerini ifade eder. Bu tür taşımacılık, karbon emisyonlarını azaltmak, çevre kirliliğini minimize etmek ve doğal kaynakların daha verimli kullanımını sağlamak amacıyla uygulanır. Yeşil taşımacılık birçok farklı şekilde gerçekleştirilebilir(Gucwa ve Schafer, 2013; Hue ve Tuyet, 2021):

Yeşil Yakıtlar: Fosil yakıtlar yerine biyoyakıtlar, hidrojen yakıtı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının taşıma araçlarında kullanılması da karbon salınımını azaltıcı faktörlerden birisi olacaktır.

Elektrikli Araçlar: Fosil yakıtlı araçların yerine elektrikli araçların kullanımı ve bu elektriğinde fosil yakıtlardan sağlanmaması karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur.

Toplu Taşıma, Bisiklet ve Yaya Ulaşımı: Lojistik faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde görev alan personelin taşınmasında veya yer değiştirmesinde otobüs, servis, raylı sistemler gibi toplu taşıma araçları, bireysel araç kullanımına kıyasla daha az enerji tüketir ve karbon ayak izini azaltır. Ayrıca özellikle kısa mesafelerde ve uygun koşullarda bisikletle veya yürüyerek ulaşım hem kişisel sağlık için faydalıdır hem de faaliyetin karbon salınımını önemli ölçüde azaltır.

Lojistik Faaliyetlerde Enerji Verimliliği

Lojistikte enerji verimliliği, malzemelerin tedarik edilmesinden depolanmasına, taşınmasından dağıtılmasına kadar olan süreçlerde daha az enerji kullanımıyla daha iyi hizmetin sunulmasını amaçlar. Lojistik, tedarik zinciri içerisindeki malların en uygun maliyetle, en düşük enerji tüketimiyle ve çevre etkilerini minimize ederek taşınmasını içerir. Lojistik faaliyetlerde kullanılan enerjinin genellikle fosil yakıt olması ve en çok enerji kullanılan sektörler listesinde ilk sıralarda yer alması lojistik faaliyetlerinde enerji verimliliğinin önemini ortaya koymaktadır. Lojistik faaliyetlerde enerji verimliliğini yükseltebilmek için öncelikle enerji verimliliği performans ölçümü ve buna bağlı iyileştirmeler yapmak gerekir.

Enerji Verimliliği Performans Takibi ve İyileştirmeleri: Lojistikte enerji verimliliğini artırmak için verimlilik takibi ve sürekli iyileştirme süreçleri, sürekli olarak performansın izlenmesi, değerlendirilmesi ve geliştirilmesini gerektirir. Lojistik süreçlerinde enerji kullanımını izlemek için ölçüm ve analiz yapılır. Taşıma, depolama ve dağıtım gibi kritik süreçlerde veri toplanır ve analiz edilir. Bu, enerji tüketiminin ve işletme performansının anlaşılmasını sağlar. Öncelikle belirli Anahtar Performans Göstergeleri (KPI'lar) belirlenir ve bu göstergeler, enerji verimliliğiyle ilgili hedeflerin izlenmesine yardımcı olur. Örneğin, yakıt

verimliliği, depo içi enerji kullanımı, taşıma maliyetleri gibi Anahtar performans göstergeleri takip edilebilir. Bunun yanında enerji tüketimi, atık üretimi ve kaynak kullanımı gibi faktörlerin izlenmesi, enerji verimliliği konusunda farkındalık yaratır ve gereksiz enerji kullanımını belirlemeye yardımcı olur. Daha sonra veri analizi ve performans ölçümleri sonucunda ortaya çıkan zayıf noktalar ve iyileştirme fırsatları belirlenir. Enerji tüketimini artıran veya gereksiz yere kaynak kullanımına sebep olan alanlar tanımlanır. Sonrasında ise sürekli iyileştirme süreçlerine geçilir. Belirlenen iyileştirme alanları için eylem planları oluşturulur ve uygulanır. Sürekli iyileştirme süreci, enerji tasarrufu sağlayacak yeni yöntemlerin, teknolojilerin veya iş akışlarının benimsenmesini içerir (Aydın vd., 2023).

Sürekli iyileştirmeler kapsamında çalışanlara belirli periyotlarla eğitim verilerek enerji verimliliği konusunda farkındalık yaratılır. Bu, doğru uygulamaların benimsenmesini ve enerji tasarrufunu teşvik eder. Ayrıca yapılacak iyileştirmelerde çevreci teknolojilerin veya verimlilik artırıcı sistemlerin entegrasyonu, enerji verimliliğini artırabilir. Otomasyon, akıllı lojistik yönetim sistemleri ve sürdürülebilir teknolojiler bu açıdan önemlidir.

Bu süreçler, lojistik operasyonlarının daha verimli bir şekilde yönetilmesini ve enerji verimliliğinin artırılmasını sağlar. Verimlilik performans takibi ve sürekli iyileştirme, lojistik endüstrisinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynar.

Lojistikte enerji verimliliği sağlamak için kullanılacak diğer bazı stratejileri inceleyelim.

Taşımada Enerji Verimliliği: Lojistikte çevreye verilen zararın en yüksek düzeyde olduğu faaliyet taşıma faaliyetidir. Taşıma faaliyetinde enerji tüketimini azaltmak ve alternatif enerji kaynaklarına yönelmek bu zararı en aza indirecektir. Taşımacılıkta enerji verimliliği, mevcut enerji kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanarak daha iyi taşıma hizmeti sunmayı amaçlar. Bu, çeşitli taşıma modları ve araçlar üzerinde yapılan çeşitli iyileştirmelerle olabilir (Ceylan vd., 2007; Guwva ve Schafer, 2013; Andres ve Padilla, 2015; Özbay vd., 2020; Zha vd., 2020; Aydın vd., 2023).

- Motorların daha verimli olması, daha az yakıt tüketimi anlamına gelir. Gelişmiş içten yanmalı motorlar, hibrit ve elektrikli araçlar, taşımacılıkta enerji verimliliğini artırır.
- Araçların yapımında hafif malzemeler kullanılması, daha az enerji tüketimi sağlar çünkü daha az enerji gerektirirler.
- Araçların aerodinamik tasarımı, hava direncini azaltır ve yakıt tüketimini düşürür.

- Biyoyakıtlar, hidrojen, doğalgaz gibi daha temiz ve düşük karbonlu yakıtların kullanımı, taşımacılıkta enerji verimliliğini artırabilir.
- Gelişmiş enjeksiyon sistemleri, daha verimli yakıt kullanımını sağlar ve motor performansını artırır.
- Farklı ulaşım modlarının (kara, hava, deniz, demir vb..) entegrasyonu, enerji verimliliğini artırır ve karbon ayak izini azaltır.
- Daha iyi rotalama, depolama ve teslimat planlaması, taşımacılıkta enerji verimliliğini artırabilir.
- Trafik yoğunluğunun azaltılması ve trafik akışının optimize edilmesi, daha az enerji tüketimine yol açabilir.
- Daha bilinçli sürücüler, daha verimli araç kullanımıyla yakıt tüketimini azaltabilir.
- Daha akıllı sürüş teknikleri kullanarak, frenleme ve hızlanmayı optimize ederek yakıt tüketimini azaltabilirsiniz.
- Araçlarda kullanılan otomatik sistemler ve sensörler, daha akıllı ve verimli sürüş sağlayarak enerji tasarrufu yapabilir.
- Bu sistemler, trafik yoğunluğunu analiz eder ve en verimli rotaları belirleyerek taşımacılık sürecinde enerji tüketimini azaltır. GPS, sensörler ve veri analitiği gibi teknolojiler kullanılarak gerçek zamanlı trafik bilgileri izlenir ve taşıma planlaması yapılır.

Taşımacılıkta enerji verimliliği, çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra işletme maliyetlerini düşürebilir ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayarak sürdürülebilir bir ulaşım sistemine doğru bir adım olabilir.

Taşımacılıkta yenilenebilir enerji kullanımına yönelik çalışmalar olsa da entegre süreci zorlu ve uzun olacaktır. Bunun temel sebebi hali hazırda kullanılmakta olan taşıma araçlarının büyük bir çoğunluğunun fosil yakıt kullanan araçlardan oluşmasıdır.

Depolama ve Stok Yönetiminde Enerji Verimliliği: Depolama ve stok yönetimi, lojistik süreçlerin önemli bir parçasıdır ve enerji verimliliğini artırmak için bir dizi strateji içerir. Bu stratejiler, depolama tesislerinin işletilmesi sırasında daha az enerji tüketilmesini ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar. Depolama ve stok yönetiminde enerji verimliliğini artırmak için kullanılan bazı yöntemler(Fichtinger vd., 2015; Pandian, 2019; Kato ve Kamoshida, 2020):

- Depo yapısının iyi bir şekilde izole edilmesi, ısı kaybını azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Doğru izolasyon, ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltabilir.

- Depo içinde doğal ışık kullanımı, elektrik kullanımını azaltır ve enerji tasarrufuna katkıda bulunur.
- Düşük enerji tüketen ve daha uzun ömürlü LED lambalar kullanmak, depo içi aydınlatma maliyetlerini azaltabilir.
- Forkliftler, konveyör bantları gibi depo ekipmanlarının daha az enerji tüketen modellerinin kullanılması, enerji verimliliğini artırabilir.
- Depo içi ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin daha verimli modellerle güncellenmesi, enerji tasarrufuna yardımcı olabilir.
- Sıcaklık kontrolü gerektiren ürünler için termal depolama yöntemleri, enerji verimliliğini artırabilir.
- Depo içi düzenleme, ürünlerin kolay erişilebilir olmasını sağlayarak malzeme hareketini optimize eder ve enerjiye olan ihtiyacı azaltır.
- Doğru envanter yönetimi ve talep tahmini, depoda gereksiz malzeme bulundurmaya önler ve depo alanının daha verimli kullanılmasını sağlar.
- Ambalaj malzemelerinin geri dönüşümü ve atık yönetimi, enerji tasarrufuna katkıda bulunabilir.
- Geri dönüştürülebilir veya çevre dostu malzemelerin kullanımı, depo içi atık miktarını azaltabilir.
- Otomasyon ve akıllı depo yönetim sistemleri, depo içi süreçleri optimize ederek enerji tasarrufu sağlar.
- Uzaktan izleme sistemleri, enerji kullanımını sürekli olarak izleyerek gereksiz enerji tüketimini belirleyebilir ve düzeltebilir.

Depolama ve stok yönetiminde enerji verimliliği, enerji maliyetlerini azaltmanın yanı sıra çevresel etkileri de minimize eder. Bu stratejiler, depo işletmecilerine enerji tasarrufu sağlayarak sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarında yardımcı olabilir.

Paketleme ve Ambalajlama da Enerji Verimliliği: Paketleme ve ambalajlama süreçleri, ürünlerin korunması, taşınması ve sunulması için önemlidir. Bu süreçlerde enerji verimliliği sağlamak, daha az enerji tüketimiyle çevre dostu ve sürdürülebilir bir ambalajlama yöntemi geliştirmeyi amaçlar (Zhang ve Zhao, 2012). Paketleme ve ambalajlama süreçlerinde enerji verimliliğini artırmak için kullanılan bazı stratejiler (Garcia-Arca vd., 2014; Palsson, 2018; Mahmoudi ve Parviziomran, 2020):

- Daha hafif ambalaj malzemeleri, taşıma sırasında daha az enerji tüketimi sağlar.
- Ambalaj malzemelerinin geri dönüşüme uygun olması, atık miktarını azaltarak enerji tasarrufu sağlar.

- Ambalajın ürüne uygun boyutta olması, gereksiz malzeme kullanımını azaltır ve taşıma sırasında daha az enerji harcanmasını sağlar.
- Ambalaj malzemeleri arasındaki boşlukları azaltmak, daha az ambalaj malzemesi kullanımını ve taşıma maliyetlerinde azalma sağlar.
- Otomatik ambalajlama sistemleri, daha hızlı ve daha verimli ambalajlama işlemleri sağlayarak enerji tasarrufu yapabilir.
- Ambalajlama makinelerinin daha az enerji tüketen modellerinin kullanılması, enerji verimliliğini artırabilir.
- Ambalaj atıklarının geri dönüşüm süreçlerine dahil edilmesi, enerji ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar.
- Atık miktarını minimize etmek için sıfır atık hedefleri belirlemek, enerji tasarrufu sağlayabilir.
- Daha yakın tedarikçilerle iş birliği yapmak, taşıma sürecinde enerji tüketimini azaltabilir.
- Daha iyi rotalama ve taşıma planlaması, ambalajlı ürünlerin daha az enerji harcanarak taşınmasını sağlar.
- Sensörler ve akıllı teknolojilerle donatılmış ambalajlar, ürünlerin daha iyi korunmasını sağlayarak israfı azaltabilir ve enerji verimliliğini artırabilir.
- Ayırıştırılabilir veya çevre dostu malzemelerden yapılan ambalajlar, doğaya daha az zarar verir ve enerji tasarrufu sağlar.

Paketleme ve ambalajlama süreçlerinde enerji verimliliği sağlamak hem işletme maliyetlerini düşürür hem de çevresel etkileri azaltır. Bu stratejiler, daha sürdürülebilir ambalajlama yöntemlerinin benimsenmesini teşvik eder ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olur.

Kapasite Kullanım Oranları ve Enerji Verimliliği: Lojistik faaliyetlerin her alanında kapasite kullanım oranlarının artması ekonomik ve çevresel olarak oldukça avantaj sağlayacaktır. En basitinden kapasite kullanım oranı arttıkça araç, bina, personel, ekipman, sistemler daha etkin ve verimli kullanılacağı için birim başına düşen maliyet ya da lojistik maliyetler azalacaktır.

Çevre açısından bakıldığında kapasite kullanım oranlarının artışı gereksiz taşımaları ya da eksik dolulukla yapılacak faaliyetleri önleyeceği veya azaltacağı için enerji tüketimini azaltacaktır. Ayrıca daha az atığın çıkmasına ve kaynak israfının azaltılmasına da fayda sağlayacaktır. Dolayısıyla lojistikte kapasite kullanım oranının artması çevre dostu bir lojistik uygulaması için önemli bir stratejidir (Aydın vd., 2023).

Tersine Lojistik

Tersine lojistik; ürünlerin tüketiciden geri dönüşü ve geri kazanılmasını içeren karbonsuz lojistik hedeflerini destekleyen bir süreçtir. Tersine lojistik, geri dönüşüm, yeniden kullanım veya atık yönetimi gibi amaçlarla ürünlerin tekrar tedarik zincirine dahil edilmesi için planlama, uygulama ve kontrol adımlarını içerir (Merdivenci vd., 2023). Bu süreç, enerji verimliliği açısından da önemlidir çünkü atık yönetimi, kaynakların tekrar kullanılması ve dönüşümüyle enerji tasarrufu sağlayabilir.

Ürünlerin tasarım aşamasında geri dönüşüme uygun olması, depolama merkezlerinde enerji verimliliğini artırmak için teknolojik yeniliklerin kullanılması ve geri dönüşüm malzemelerinin taşınması sırasında optimize lojistik planlamalar yapılması, bu süreçte enerji tasarrufunu sağlayabilir. Aynı zamanda, ürünlerin yeniden değerlendirilmesi, yeniden satışı veya ikinci el olarak pazarlanması gibi stratejiler, enerji yoğunluğu daha düşük olan geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasını teşvik eder ve bu da enerji verimliliğine katkıda bulunur (Ubeda vd., 2020).

Tersine lojistik, ürünlerin ömrünü uzatır, atık miktarını azaltır ve kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Bu süreçler, sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilirlik açısından da önemli bir rol oynar.

Lojistik Performansı Artırmak

Lojistik performans lojistik operasyonların etkinliğini, verimliliğini, etkililiğini, esnekliğini ve başarısını belirlemektedir. Karbon salınımı açısından lojistik performans üzerinde durulması gereken oldukça önemli bir konudur. Yapılan lojistik operasyonların performansındaki herhangi bir iyileştirme genellikle;

- Kapasite kullanım oranlarını artırır,
- Kaynakları daha etkin kullanarak atık azaltımını sağlar,
- Etkili rotalama yaparak enerji kullanımını azaltır,
- Müşteri memnuniyetini artırır.
- Geri dönüşüm programlarını destekler,
- Çevre dostu taşıma modlarının daha çok kullanılmasını sağlar,
- Teknolojik yeniliklerin entegrasyonuna daha fazla ve sık izin verir.

Dolayısıyla lojistik performans ve karbon salınımı arasında genellikle negatif bir ilişki vardır. Yani lojistik performans artarsa karbon salınımı azalırken lojistik performans azalursa karbon salınımı da artacaktır. Bundan dolayı ülkeler ve

burada bulunan işletmeler karbonsuz bir lojistiğe sahip olmak istiyorsa lojistik operasyonlarının performansını artırmalı veya başka bir işletmeden hizmet satın alıyorsa lojistik performansı yüksek işletmelerle çalışmalıdır(Aydin vd., 2023).

Teknoloji Kullanımı

Güncel teknolojilerin lojistiğe entegrasyonu ve kullanımı karbon salınımını azaltacaktır. Bunun birden fazla yolu mevcuttur. Bunlardan ilki ve en önemlilerinden biri yeni teknolojileri taşıma araç ve ekipmanlarının kullanılmasıyla daha az yakıt tüketimi ve bu yakıtların çevre dostu yakıtlardan oluşmasıdır (Hao vd., 2020). Günümüzde üretilmeye başlayan teknolojik araçlar daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz çevresel baskılar sonucu daha az yakıt tüketimi yapmalarıyla öne çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse elektrikli kamyonlar, hidrojen yakıtlı gemiler, otonom ve elektrikli depolama araçları vb. söylenebilir. Bunun sonucunda lojistikte karbon salınımı azalacaktır.

Teknolojik gelişmelerin karbonsuz lojistiğe ikinci desteği bilişim teknolojileri sayesinde oluyor diyebiliriz. Gelişmiş yazılımlar ve akıllı sistemler sayesinde rotaların daha optimize yapılması, stok yönetiminin optimizasyonu, doğru talep tahminleri, doğru verileri hızlı bir şekilde elde etme, izlenebilirliğin ve kontrolün daha iyi yapılabilmesi, bulut tabanlı sistemler sayesinde verilerin merkezi olarak depolanması ve erişilebilirliğinin sağlanması, kâğıt kullanımını azaltması gibi birçok noktada lojistik faaliyetlere pozitif katkısı olmaktadır. Bütün bu faydalar sonucunda lojistik faaliyetlerde enerji verimliliği artacak, enerji tüketimi ve karbon salınımı önemli ölçüde düşecektir(Jumadi ve Zailani, 2010; Barysiene vd., 2015).

Karbondioksit Ticareti ve Vergilendirme

Karbondioksit ticareti ve vergilendirme, havaya salınan gazları azaltmaya yönelik yapılan politikalarındandır. Karbendioksit ticaretinde öncelikle bir bölge veya sektör için sera gazı emisyonu tavanı belirlenir ve bu tavana göre kotalar koyulur. Kotalar firmalara veya endüstrilere belirli bir oranda sera gazı salınımı yapabilmek için izin verir ve bu oranın altında tutulması istenir. Eğer bu orandan daha fazla salınım neden olunursa bu sistem o işletmeleri salınım oranlarının altında kalan işletmelerden kota satın almaya yönlendirir. Bu sistem emisyonları azaltmak için ekonomik olarak baskı kurar ve teşvik eder (Biol ve Bilgici, 2021).

Vergilendirme de ise işletmeler veya endüstriler ürettikleri emisyon miktarı baz alınarak vergilendirilir. Bu uygulamanın karbon verilerini azaltmak isteyen işletmeleri karbon emisyonlarını azaltmaya yönlendirdiği dolayısıyla bir teşvik sistemi olduğu söylenebilir. Bu iki sistemde günümüzde kullanılmaktadır. Fakat araştırmalara göre başarılı olmuş değerlerdir. Bu konuda başarılı olunabilmesi için

politika yapıcılar tarafından yeniden kurgu veya detaylı iyileştirme yapılması gerekmektedir (Sumner vd., 2011; Marron ve Toder, 2014).

Daha Yakın, Kısa ve Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağları Kurma

Tedarik zinciri ağları çok karmaşık yapılardan oluşmaktadır. Üretilen bir ürünün her bir üretim faktörü veya bileşeni farklı bölge veya ülkelerden elde edilebilir. Örneğin; bilgisayar üretimi yapan bir işletme hammaddesini 20 farklı ülkeden toplayarak parçalarını bunlardan farklı ülke/ülkelerde ürettirebilir ve montajını da çok başka bir ülkede yaptırabilir. Bunun temel sebebi birim maliyeti azaltmaktır. Üretim faktörlerinin homojen dağılmaması ve fiyatının ülkeden ülkeye değişmesi üretim yerinin de değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu da tedarik zinciri ağını genişletmektedir. Tedarik zinciri ağları ne kadar farklı ülkeye, bölgeye yayılırsa taşımada bununla birlikte artacaktır. Taşımanın artması ise yakıt tüketiminin artmasına yol açmakta ve karbon salınımını artırmaktadır.

Kapalı döngü tedarik zinciri tedarikçiden müşteriye karar olan bilinen tedarik zincirine ek olarak müşteri tarafından kullanılmış ve bir şekilde ömrünü tamamlamış ürünlerin terine akışıyla yeniden kazanımı veya bertarafı anlamına gelmektedir. Kapalı döngü tedarik zincirleri kaynak israfı, atık israfı, hammadde kullanımının azaltılması gibi çevresel faydalar sağlamaktadır (Chopra ve Meindl, 2007; Görgülü vd., 2020).

Sürdürülebilirlik Sertifikaları

Lojistik sektörüne ilişkin çevresel standartlar genel anlamda bulunmakla birlikte yeterli olmadığı düşünülmektedir. Lojistik faaliyetlerin daha sürdürülebilir olması için daha detaylı bir çalışma yapılmalıdır. Faaliyetler veya daha da spesifik olarak faaliyetleri oluşturan işlemler veya süreçler incelenerek sürdürülebilir standartlar oluşturulmalı ve bu standartları sağlayanlar sertifikalandırılarak diğer işletmeler teşvik edilmelidir. Bunun yanında müşterilerde bilinçlendirilmeli ve sertifika sahibi olan işletmelere yönlendirilerek sertifikası bulunmayan işletmeler üzerinde baskı kurulmalıdır. Bu strateji lojistik operasyonlarının daha verimli bir şekilde yönetilmesini ve enerji verimliliğinin artırılmasını sağlar. Sürdürülebilirlik sertifikalarının lojistik endüstrisinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir (Olszewski-Strzyżowski, 2022; Xiaoqiang vd., 2023).

Bu stratejiler ve politikalar, lojistik sektöründe emisyonları azaltmak için geniş bir yelpazede uygulanabilir. Çoğu zaman, bu değişikliklerin gerçekleşmesi için sektöre yönelik regülasyonlar, teşvikler ve iş birlikleri gerekebilir. Hem devletlerin hem de işletmelerin bu konuda birlikte çalışması, lojistik sektöründeki emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynar.

ZORLUKLAR VE ENGELLER

Lojistiği karbondan arındırmak zor ve zaman gerektiren bir süreçtir. Her ne kadar çevreye verilen zarar azaltılmak istense de birçok işletme veya sektörün önceliğinde ekonomi ilk sırada yer almaktadır. Öncelikle yenilenebilir enerjiyi elde etmek yüksek maliyetlidir. Yenilenebilir enerji sağlansa dahi bunun kullanımı için altyapıyı sağlamakta yüksek maliyetlidir. Bunun yanında teknolojiye de yeterli seviyeye ulaşılamamıştır. Günümüzde elektrikli araçların piyasaya çıkışı çok eski değildir ve yayılım hızı yavaştır. Bununla birlikte bu araçların şarj istasyonları da maliyetlidir ve yaygın değildir. Ayrıca taşımacılıkta kullanılan araçların elektrikle çalışması teknolojisi henüz istenen performansı verememektedir. Bunun içinde geliştirmeler sürmektedir (Abbasi ve Nilsson, 2012; Schachenhofer vd., 2023).

Karbonsuz lojistiğin önündeki başka bir zorluk ise yaptırımların yeterince caydırıcı olmaması veya her ülkede ciddi bir şekilde denetlenmemesidir. Bazı ülkeler ekonomiyi ilk planda tutarak çevresel olayları göz ardı etmektedir. Burada amaç genellikle üretimi artırarak daha fazla gelir elde etmek isteğidir. Fakat çevreye verilen zarar yıllar sonra bütün dünyayı etkilemektedir. Bunun yanında müşterilerde de çevresel bilinç eksik olabilir. Çevresel bilinci eksik olan müşterilerde işletmeler gibi çevreye verilen zararı hesaba katmadan doğrudan malın ekonomik getiri veya götürüsüne odaklanabilir.

Karbonsuz lojistik uygulamaları bazı durumlarda verimliliği azaltma, taşıma kapasitesini kısıtlamaya yol açabilir. Buda işletmeler tarafından operasyonel verimlilikte istenmeyen bir durum olarak kabul görmeyebilir.

Tedarik zinciri süreçleri genellikle uzun ve karmaşıktır. Daha önce de bahsedildiği gibi bir tedarik zinciri ağında genellikle onlarca ülke, işletme, üretim yeri, hammadde veya yarı mamul bulunmaktadır. Bu karmaşıklık karbon ayak izini izleme ve iyileştirme süreçlerini olumsuz etkileyebilir.

SONUÇ

Lojistik Dünyada en önemli sektörler içerisinde genellikle ilk sıralarda yer almaktadır. İnsan ihtiyaçlarının giderilmesi sürecinin neredeyse her yerinde lojistiği görebiliriz. Ekonomik girdisi yüksek olmasıyla birlikte yükselişi de devam etmektedir. Bunun farkında olan ülkeler ve bu ülkede faaliyet gösteren işletmeler kendini geliştirmeye gayret etmektedir. Lojistiğin faaliyetlerin başarısını ölçen lojistik performansı artırmak hem ülkelere hem de işletmelere öncelikle rekabet avantajı sağlayacaktır.

Ekonomik katkısı yüksek olan lojistik sektörünün çevreye verdiği zararda yüksektir. Özellikle karbon salınımlarında sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bunun en temel sebebi lojistik faaliyetler gerçekleştirilirken kullanılan fosil yakıt miktarının yüksek olmasıdır. Bunu enerjinin verimli kullanılmaması, lojistik performansta yeterli seviyeye çıkamama, üretim faktörlerinin tam kapasite kullanılmaması gibi nedenler takip etmektedir.

Çevreye verilen zararı azaltmaya yönelik yapılan çevresel baskılar giderek artmaktadır. Uluslararası organizasyonlar ve halk ülkelere ve ülkelerde işletmelere bu baskıyı hissettirmektedir. Bu baskı neticesinde hem ülkelerde hem de işletmelerde çevresel düzenleme faaliyetleri artış göstermektedir. Karbon salınımı yüksek olan sektörler ve işletmelerin miktar azaltımı için çeşitli politika, strateji ve teşvikler uygulanmaktadır. Lojistik en fazla karbon yayılımına sebep olan sektörlerden biri olarak bu uygulamalardan elbette etkilenmektedir. Fakat sonuçlar istenildiği seviyeye henüz ulaşamamıştır.

Karbonsuz lojistik karbon salınımlarının sıfır ya da sıfıra yakın olması anlamına gelmektedir. Lojistikte karbon salınımlarını azaltmak günümüz şartlarında hızlı bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Buna teknolojik yetersizlik, altyapı yetersizliği gibi çok önemli konular sebep olmaktadır. Fakat işletmeler ve ülkeler birçok alanda kendini geliştirerek veya iyileştirerek giderek azaltmaya yönelebilir. Bunun için öncelikle sınırlı ve doğaya ciddi zararlar veren enerji yerine daha çevresel enerjileri kullanmalıdır. Sonrasında enerji verimliliği, kota ve vergilendirme, sertifikalama, yeşil araçlar kullanma, tersine lojistiği artırma, lojistik performansı yükseltici uygulamalara yönelme, teknolojik ürünleri entegre etme gibi strateji ve politikalarla karbon salınımlarını azaltabilirler.

REFERANSLAR

- Abbasi, M., ve Nilsson, F. (2012). Themes and challenges in making supply chains environmentally sustainable. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(5), 517-530.
- Abukhader, S. M., & Jönson, G. (2004). Logistics and the environment: Is it an established subject?. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 7(2), 137-149.
- Andrés, L., ve Padilla, E. (2015). Energy intensity in road freight transport of heavy goods vehicles in Spain. *Energy Policy*, 85, 309-321.
- Aydin, C., Aydin, H., ve Altinok, H. (2023). Does the level of energy intensity matter in the effect of logistic performance on the environmental pollution of OBOR countries? Evidence from PSTR analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(7), 1494-1512.
- Barysienė, J., Batarlienė, N., Bazaras, D., Čižiūnienė, K., Griškevičienė, D., Griškevičius, A. J., ... ve Vasilienė-Vasiliauskienė, V. (2015). Analysis of the current logistics and transport challenges in the context of the changing environment. *Transport*, 30(2), 233-241.
- Biol, U., ve Bilgici, Y. (2021). Karbon fiyatlandırmasında emisyon ticaret sistemi ve önemi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 47-72.
- Ceylan, H., Kardeşin, M., ve Haldenbilen, S. (2007). Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ulaşım: Yenilenebilir Enerjiye Karşın Enerji Azal (t) ımı. *Ulaştırma Kongresi*, 438-447.
- Chopra, S. ve Meindl, P. (2007). Tedarik zinciri yönetimi. Strateji, Planlama ve Operasyon. (Çeviri Editörü: Emrah Bulut). Ankara: Nobel Yayıncılık. (2021).
- Dey, A., LaGuardia, P., & Srinivasan, M. (2011). Building sustainability in logistics operations: a research agenda. *Management Research Review*, 34(11), 1237-1259.
- Ertugut, R. (2016). *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi*. 1. baskı, Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Fichtinger, J., Ries, J. M., Grosse, E. H., ve Baker, P. (2015). Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. *International Journal of Production Economics*, 170, 717-729.
- García-Arca, J., Prado-Prado, J. C., ve Gonzalez-Portela Garrido, A. T. (2014). "Packaging logistics": promoting sustainable efficiency in supply

- chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 44(4), 325-346.
- Görgülü, H., Paksoy, T., ve Çalık, A. (2020). Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Yeşil Lojistik ve Yer Seçimi İçin Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli Önerisi. *Verimlilik Dergisi*, (3), 201-217.
- Gross, R., Leach, M., ve Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment international*, 29(1), 105-122.
- Gucwa, M., ve Schäfer, A. (2013). The impact of scale on energy intensity in freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 41-49.
- Hao, J., Shi, H., Shi, V., ve Yang, C. (2020). Adoption of automatic warehousing systems in logistics firms: A technology–organization–environment framework. *Sustainability*, 12(12), 5185.
- Hue, P. T., ve Tuyet, N. T. A. (2021). Evaluation of energy intensity of transport service sectors in Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 11860-11868.
- Jumadi, H., ve Zailani, S. (2010). Integrating green innovations in logistics services towards logistics service sustainability: a conceptual paper. *Environmental Research Journal*, 4(4), 261-271.
- Kato, T., ve Kamoshida, R. (2020). Multi-agent simulation environment for logistics warehouse design based on self-contained agents. *Applied Sciences*, 10(21), 7552.
- Mahmoudi, M., ve Parvizomran, I. (2020). Reusable packaging in supply chains: A review of environmental and economic impacts, logistics system designs, and operations management. *International Journal of Production Economics*, 228, 107730.
- Marron, D. B., ve Toder, E. J. (2014). Tax policy issues in designing a carbon tax. *American Economic Review*, 104(5), 563-568.
- Merdivenci, F., Tekin, M., ve Toraman, Y. (2023). Reverse Logistics Practices In Humanitarian Supply Chain Management: A Content Analysis. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(4), 583-594.
- Mohtasham, J. (2015). Renewable energies. *Energy Procedia*, 74, 1289-1297.
- Olszewski-Strzyżowski, D. J. (2022). Promotional activities of selected National Tourism Organizations (NTOs) in the light of sustainable tourism (including sustainable transport). *Sustainability*, 14(5), 2561.
- Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., ve Tektaş, M. (2020). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.

- Pålsson, H. (2018). *Packaging Logistics: Understanding and managing the economic and environmental impacts of packaging in supply chains*. Kogan Page Publishers.
- Pandian, D. A. P. (2019). Artificial intelligence application in smart warehousing environment for automated logistics. *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks*, 1(2), 63-72.
- Schachenhofer, L., Kummer, Y., ve Hirsch, P. (2023). An analysis of underused urban infrastructures: usage opportunities and implementation barriers for sustainable logistics. *Applied Sciences*, 13(13), 7557.
- Shen, Y., Liu, J., ve Tian, W. (2022). Interaction between international trade and logistics carbon emissions. *Energy Reports*, 8, 10334-10345.
- Sumner, J., Bird, L., ve Dobos, H. (2011). Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations. *Climate Policy*, 11(2), 922-943.
- Topuz, H., Yılmaz, H., ve Ersoy, H. A. (2017). Küresel Enerji Lojistiği Bağlamında Türkiye'nin Merkez Ülke Olma Arayışı ve yenilenebilir Enerji Kaynakları Açılımlarında Fosil Enerji Saplantısı. *Journal of Suleyman Demirel University Institute of Social Sciences*, 29(4).
- Xiaoqiang, G. U. O., Xiao, L. I., Mohammed, A. H., Alenizi, F. A., Alasedi, K. K., Mohsen, K. S., ... ve Bostani, A. (2023). Green Certificate-Driven Photovoltaic Promotion in Distribution Networks Hosting Hydrogen Fueling Stations for Future Sustainable Transportation: A Risk-Adjusted Dominance Analysis. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104911.
- Zha, J., Tan, T., Fan, R., Xu, H., ve Ma, S. (2020). How to reduce energy intensity to achieve sustainable development of China's transport sector? A cross-regional comparison analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, 100772.
- Zhang, G., ve Zhao, Z. (2012). Green packaging management of logistics enterprises. *Physics Procedia*, 24, 900-905.

3. Bölüm

Tedarik Zincirinde Yeni Nesil Sürdürülebilir Ambalajlama

Arş. Gör. Makber TEKİN¹

¹Arş. Gör.; Adana Alaparslan Türkes Bilim ve Teknoloji Üniversitesi İşletme Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Finans Bölümü. mtekin@atu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5817-2962

GİRİŞ

Ambalaj sanayisi hızlı gelişen bir sektördür ve dünya ekonomisinde artan piyasa değeriyle önemli bir role sahiptir. Ambalaj sanayisinin hızlı gelişiminde; artan kentleşme, nüfus artması, yaşam standartlarının yükselmesi, yüksek bir oranda iş hayatına dahil olan kadınlar, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, alışveriş merkezlerinin yaygınlaşması ile perakende alışveriş eğiliminin artması, talep artışı ve dış ticaretin artması önemli etkenler arasındadır (T. C. Ekonomi Bakanlığı, 2020).

Hızlı bir sanayi gelişimi olan ambalajın, kendisini oluşturan hammaddenin tedarikinden başlayarak; üretilmesi, depolanması, nakliyesi, kullanımı ve kullanıldıktan sonra bertaraf edilmesine kadar olan her bir süreçte çevresel bir etkisi söz konusudur (Ünsal ve Gövdere, 2023:2). Kullanımı artan ambalajla beraber atık miktarı da artmaktadır. Avrupa Birliği'nde (AB) her yıl 2,2 milyar ton atık üretilmektedir. Bu atıkların dörtte birinden fazlasını (%27) belediyeler üretmektedir (belediyeler tarafından toplanan ve işlenen, çoğunlukla hane halkı tarafından üretilen günlük atıklar) (European Parliament, 2023). AB'de ambalajın %67'si ve belediye atıklarının %46'sı geri dönüştürülmektedir (Zarębska & Lewicka, 2020:56). Ortalama olarak her Avrupalı yılda yaklaşık 180 kg ambalaj atığı üretmektedir. AB'de kullanılan plastiğin %40'ı ve kâğıdın %50'si ambalajlamaya yöneliktir. Ambalaj, işlenmemiş malzemelerin ana kullanıcılarından biridir. Bu durumun devam etmesi doğrultusunda AB'de 2030 yılına kadar ambalaj atıklarında %19'luk bir artış, plastik ambalaj atıklarında ise %46'lık bir artış görülmesi muhtemeldir (European Commission, 2023)

“TÜİK verilerine göre 2020 yılında imalat sanayi işyerleri, maden işletmeleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri , sağlık kuruluşları ve hane halklarında 30,9 milyon tonu tehlikeli olmak üzere toplam 104,8 milyon ton atık oluşmuştur”. Toplam atık miktarı 2018'e göre %10,5 artmış durumdadır (TÜİK, 2023). Türkiye'de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından sunulan verilere göre 2020 yılında piyasaya sürülen ambalaj miktarı ise 3.707.329 ton ve geri kazanılan ambalaj miktarı da 2.300.425 tondur. Piyasaya sürülen ambalajların cinslerine göre kapsamı ise %34kağıt/karton, %24 plastik, %22 cam, %14 ahşap ve %6 metal ve kompozitten oluşmaktadır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Malların taşınması ve dağıtımını amacıyla ortaya çıkan ambalajın ilerlemesi, ürünlerin kaynak noktasından tüketim noktasına kadar olan süreci kapsayan tedarik zinciri ihtiyacı ile bir arada ilerlemektedir (Morashti vd., 2022:1). Günümüzde artan teknolojik ilerlemeler ve küreselleşmeyle beraber küresel tedarik zincirlerin yaygın bir şekilde kullanılması sonucunda bir ürün dünyanın

farklı bölgelerinde tasarlanmakta ve üretilmekte, başka bir ülkede montajı yapılmakta, paketlenmekte ve en sonunda satılmaktadır (Nicita vd., 2013:4). Bu durum, ham maddelerin, ürün parçalarının ve bileşenlerinin taşınması ve tüketiciye ulaştırılması için ambalaj kullanımını arttırmakta ve böylelikle her aşamada ambalaj atığının da artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu tür sürdürülemez paketleme ve bunu takip eden tüketim uygulamaları, sürdürülebilir kalkınmaya yönelik ilerlemeleri olumsuz etkilemektedir (Meherishi vd., 2019:1). Bu sebeple yaratılan çevresel etkinin azaltılması ve ambalajların sürdürülebilir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Günümüzün rekabetçi ekonomisinde sektörlerin tedarik zincirlerinde önemli bir rolü olan ambalajlamaya yönelik yeni gelişmeler söz konusudur (Asim vd., 2022:2). Bu gelişmeler teknolojik gelişmelerin dahil edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ambalaj sektöründe kullanılan teknolojik gelişmeler sayesinde daha az kaynağın daha verimli kullanılması sağlanmakta, kaynak ve ürünlerin görünürlüğünün sağlanması yoluyla sürdürülebilirliğe katkı sağlanması beklenmektedir (Ajwani-Ramchandani vd., 2021). Sektörde teknolojik gelişmelerden faydalanılarak ortaya çıkan ve literatürde son yıllarda araştırılan ve sektörel uygulamaları gerçekleştirilen kavramlardan biri yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamadır. Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama değiştirilmiş malzemeler ve ambalajlamaya eklenen yeni teknoloji, sayesinde çevresel değişiklikleri ve ambalaj içerisinde gerçekleşebilecek değişiklikleri algılar ve bunlara tepki verir. Ayrıca daha biyolojik bazlı, geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir ve biyolojik olarak parçalanabilen yeni ambalaj malzemelerini bir araya getirerek sürdürülebilirlik unsurlarını da barındırmaktadır (DHL Trend Research, 2023).

Ambalaj endüstrisi, çevre üzerinde ve tedarik zincirlerinde maliyet verimliliği üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki; ambalaj tasarım geliştirme aşaması, malzeme temin aşaması ve yaşam sonu işlem aşamasını içerir (Morashti vd., 2022:1). Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama teknolojileri sayesinde ortaya çıkan akıllı ve aktif ambalajlamanın tedarik zincirinin etkinliğini ve verimliliğini arttıracığı belirtilmektedir (DHL Trend Research, 2023).

Bu bölümde yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamanın anlaşılması ve tedarik zinciriyle olan ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ilk bölümünde yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama ve teknolojik gelişmeler sayesinde ortaya çıkan aktif ve akıllı ambalajlama ele alınmıştır. Daha sonra tedarik zincirinde yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamaya yer verilmiştir. Son olarak ise uygulamalar başlığı altında yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamanın sektörel uygulamaları örneklerle gösterilmiş ve sonuç bölümünde genel değerlendirmeler sunulmuştur.

YENİ NESİL SÜRDÜRÜLEBİLİR AMBALAJLAMA

Ambalajlama, bir ürünün çıkış noktasından tüketim noktasına ulaştırılmasına kadar, taşınması, korunması, saklanması ve satışa sunulması için kullanılmakta ve diğer tüm sektörleri doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir (Meherishi vd., 2019:1). Üreticiden tüketiciye kadar olan ürün zincirinde ürünün depolanması ve taşınması sırasında korunması için ambalaj gerekmektedir (Williams vd., 2008:853).

Ambalajlama, günümüzde sadece gıdanın muhafaza edilmesi, depolanması ve taşınması açısından kullanılan bir unsur değildir. Tüketicilerin satın alma kararlarını ve ürün seçimlerini etkileyebilecek bir araçtır (Pasta vd., 2023:2). Tüketicilerin çevre ve sürdürülebilirlik konusunda artan bilinci ürün seçimlerini etkilemektedir. Ambalajın doğa üzerindeki etkisi hakkında bilinçli olan tüketiciler artık daha çevre dostu ürünleri, cam, karton gibi daha az atık çıkaran ambalajları ve geri dönüştürülmüş malzemelerden elde edilmiş ambalajlı ürünleri tercih etmektedirler (Pasta et al., 2023:2). Ambalajlama çevresel kaygılara yol açmış ve kullanılmış ambalajlardan kaynaklanan atık miktarı nedeniyle uzun süredir siyasi çevre gündeminde yer almaktadır (Williams vd., 2008:853).

Petrol bazlı ambalaj malzemeleri düşük maliyetli olmaları, sağlıklıkları ve kullanım pratikliği gibi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak bu tarz ambalaj malzemelerin geri dönüştürülmesi ve bertaraf edilmesi çok da kolay olmamaktadır. Bu durum çevreye zarar vermekle beraber insan sağlığında olumsuz etkilemektedir (Liu vd., 2023:6437). Bilinçsiz kaynak kullanımı, doğanın zarar görmesi ambalaj endüstrisinin sürdürülebilir ambalajlamaya yönelmesini sağlamaktadır (Boz vd., 2020:1) Bu nedenle birçok araştırmacı, petrol bazlı ambalajlar yerine çevre dostu alternatifler olarak daha sürdürülebilir ambalaj malzemeleri geliştirmeye çalışmaktadır (Liu vd., 2023:6437)

Ambalaj endüstrisi, ambalaj atıklarının ve aşırı ambalajlamanın azaltılması ve geri dönüştürülebilirliğinin artırılması yönünde yoğun bir baskı ile karşı karşıyadır ve bu duruma yönelik ülkeler tarafından oluşturulan yasal düzenlemeler söz konusudur (Lewis vd., 2007:1; Koc ve Uysal, 2017:183). İşletmelerin bu baskılar sonucu ulaşması gereken çevresel hedefleri için Avustralya'daki Sürdürülebilir Ambalaj İttifakı (SPA) ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Sürdürülebilir Ambalaj Koalisyonu (SPC) gibi birçok kuruluş, karar verme sürecine rehberlik edebilecek ilkeler veya stratejiler dizisi oluşturarak 'sürdürülebilir ambalajı' tanımlamaya çalışmıştır (Lewis vd., 2007:1).

Sürdürülebilirlik 1987 yılında Brundtland Raporunda “*Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma*” şeklinde tanımlanmıştır (Pezzey, 1992:1). Yıllar içerisinde

daha sürdürülebilir bir dünya için küresel politikalar gerçekleştirilmiştir. Sürdürülebilirliğe yönelik artan ilgi doğrultusunda kuruluşlar, şirketler, STK'lar ve politika yapıcılar sürdürülebilirliği çeşitli alanlara uygulamışlardır (Boz vd., 2020:1; Aksay ve Güğerçin, 2022:1474). Bu alanlardan biri de sürdürülebilir ambalajlamadır.

Boz vd., (2020) sürdürülebilir ambalajın tanımının ilk kez 2002 yılında kurulan Sürdürülebilir Ambalaj İttifakı (SPA) tarafından yapıldığını belirtmiştir. SPA, sürdürülebilir ambalajın teşvik edilmesi ve ambalaj endüstrisinde bilim temelli araçlar ve stratejiler yoluyla uygulanması amacıyla oluşturulan paydaş anket çalışmasının sonucunda sürdürülebilir ambalajın tanımını oluşturmuştur (Boz vd., 2020:4). SPA tarafından sürdürülebilir ambalajlama için dört prensip belirlenmiş ve bu prensipler Tablo 1’de açıklamaları ile ele alınmıştır (Lewis vd., 2007:4).

Tablo 1. SPA'nın Sürdürülebilir Ambalaj İlkesi

Effective/ Etkili	Ambalaj sistemi, ürünlerin tedarik zinciri boyunca etkili bir şekilde korunmasını ve taşınmasını sağlayarak topluma gerçek değer katmasını sağlar ve bilinçli ve sorumlu tüketimi destekler.
Efficient/ Verimli	Ambalaj sistemi, ürün yaşam döngüsü boyunca malzemelerin ve enerjinin mümkün olduğunca verimli bir şekilde kullanılabilmesi şeklinde tasarlanır. Bu sistem, depolama, taşıma ve işleme gibi ilişkili destek sistemleri ile etkileşimlerde malzeme ve enerji verimliliğini içermelidir.
Cyclic/ Döngüsel	Sistemde kullanılan ambalaj malzemeleri, malzeme bozulmasını en aza indirgeyerek doğal veya endüstriyel sistemler aracılığıyla sürekli olarak döngüye alınır.
Clean/ Temiz	Sistemde kullanılan ambalaj bileşenleri, malzemeler, kaplamalar, mürekkepler, pigmentler ve diğer katkı maddeleri, insanlara veya ekosistemlere herhangi bir risk oluşturmaz.

Kaynak: (Lewis vd., 2007:4)

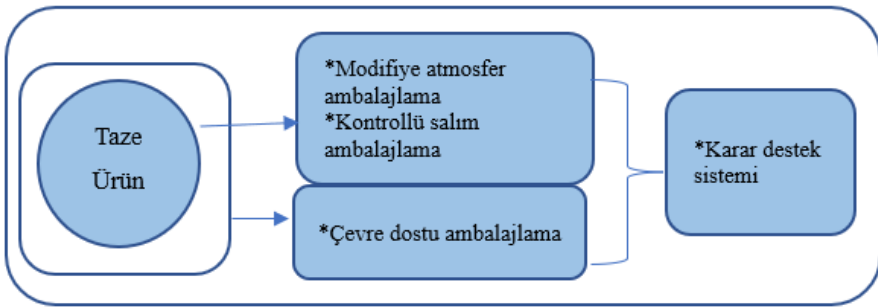
Yaygın olarak kabul edilmiş sürdürülebilir ambalajlama tanımlardan biri de Sürdürülebilir Ambalaj İttifakı (SPC) tarafından 2005 yılında oluşturulan tanımıdır. SPC’ye göre ‘sürdürülebilir ambalajlama’ (Lewis vd., 2007:9):

- ✓ *Yaşam döngüsü boyunca bireyler ve topluluklar için faydalı, güvenli ve sağlıklıdır;*
- ✓ *Performans ve maliyet kriterlerine uygundur;*
- ✓ *Yenilenebilir veya geri dönüşümlü kaynak malzemelerin kullanımını maksimize eder;*
- ✓ *Temiz üretim teknolojileri ve en iyi uygulamalar kullanılarak üretilmiştir;*

- ✓ *Malzemeleri ve enerjiyi optimize etmek için fiziksel olarak tasarlanmıştır,*
- ✓ *Biyolojik ve/veya endüstriyel cradle to cradle (C2C-Beşikten beşiğe)² döngülerinde etkili bir şekilde geri kazanılmakta ve kullanılmaktadır.*

Sürdürülebilir ambalajlama tanımlamaları doğrultusunda DHL'in 2023 yılında yayınladığı "The Logistics Trend Radar: Delivering insight today creating value tomorrow 6.0" adlı raporunda geçen yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama tanımı ise; birincil, ikincil ve üçüncül (ambalajlama, 4 çeşit farklı düzey materyalden oluşur) ambalajlamada kullanılan malzemelerdeki değişikliği ve bu ambalajlamadaki teknolojide gelişen değişiklikleri ifade etmektedir. Değiştirilmiş malzemeler ve ambalajlamaya eklenen yeni teknoloji, ambalajın, çevresel değişiklikleri ve ambalaj içerisinde gerçekleşebilecek değişiklikleri algılamasını ve bunlara tepki vermesini sağlar. Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama aynı zamanda daha biyolojik bazlı, geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir ve biyolojik olarak parçalanabilen yeni ambalaj malzemelerini bir araya getirerek sürdürülebilirlik unsurlarını da barındırmaktadır (DHL Trend Research, 2023). Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamada sürdürülebilirliğin sağlanması teknolojik gelişmelerin dahil edilmesiyle beraber gerçekleşmektedir. Literatürde sürdürülebilir ambalajlama teknolojisi, yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama ile benzer tanımlamalara sahiptir.

Sürdürülebilir ambalajlama teknolojisi, gıda ambalajlamalarında da son zamanlarda çokça araştırılmaktadır. Yam ve Takhistov (2016), taze gıda güvenliği için sürdürülebilir ambalajlama teknolojisinin dört bileşenden oluştuğunu belirtmiştir (Yam & Takhistov, 2016).



Şekil 1. Sürdürülebilir Ambalajlama Teknolojisinin Bileşeni

Kaynak: (Yam & Takhistov, 2016)

² C2C: Tüm materyallerin kullanım döngülerinde devamlı ve yeniden kullanılmasını sağlamak amacıyla tüm sistemlerin uygun bir şekilde yeniden tasarlanması. Yıldırım, L. (2017). "Geri Dönüşüm/İleri Dönüşüm/Tekrar Kullanım Kapsamında İkinci El Giysiler ve Sürdürülebilirlik", Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, 10(20): 484-503.

Bileşen 1 Modifiye atmosfer ambalajlama ve Bileşen 2 kontrollü salım ambalajlama, paketin içindeki gaz bileşimini kontrol etmek ve böylece ürünün içindeki mikrobiyal ve kalite bozulma reaksiyonlarını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bileşen 3 çevre dostu ambalajlama, ürünün raf ömrünü uzatmak için uygun çevre dostu paketler oluşturmak için bol ve yenilenebilir biyo-bazlı malzemeleri ve/veya geri dönüştürülmüş malzemeleri kullanır. Bileşen 4 Karar destek sistemi, gıda tedarik zinciri boyunca ürün güvenliğini ve kalitesini izlemeye ve takip etmeye yardımcı olan bilime dayalı, sosyo-ekonomik karar destek yazılımlarını kullanan akıllı ambalajlamanın bir ana bileşenidir. İlk üç bileşen, ambalajı üretmek için malzemeleri ve ekipmanı kullanmayı içerir, bu da teknolojinin "donanımı" olarak kabul edilebilir; dördüncü bileşen, paketi tasarlamak için bilgi ve verileri kullanmayı içerir, bu da teknolojinin "yazılımı" olarak kabul edilebilir (Yam ve Takhistov, 2016:2).

Gıda ambalajlama teknolojileri, tüketici talepleri, teknolojinin ilerlemesi ve gıda endüstrisinin eğilimlerine yönelik gelişme göstermektedir. Artan teknolojik gelişmeler sayesinde ambalaj materyaline fonksiyonel özellikler kazandırılmıştır. Bu durum sonucunda yeni ambalajlama teknolojileri ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler aktif ve akıllı ambalajlama teknolojileri olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır (Takma ve Nadeem, 2019:132).

Aktif Ambalajlama

Ürün kalitesini ve raf ömrünü korumak veya uzatmak için katkı maddeleri içeren aktif ambalaj, geleneksel gıda ambalajının koruma fonksiyonunun bir uzantısıdır. Aktif ambalaj, ürünlerinizin raf ömrünü, yaşam döngüsünü ve kalitesini henüz ambalajdayken iyileştirmeye yardımcı olur. Ürünün depolama ve nakliye de iyileştirilmesini sağlar. Çünkü paketlenmiş gıdaya veya gıdayı çevreleyen ortama maddelerin salınmasını veya emilmesini sağlayan bir bileşen içerecek şekilde tasarlanmıştır. (Vanderroost vd., 2014:48).

Aktif paketleme, raf ömrünü uzatmak, paketlenmiş gıdanın durumunu iyileştirmek veya başka türlü elde edilemeyecek bazı özellikleri elde etmek için ürünün, paketin ve çevrenin olumlu bir şekilde etkileşime girdiği bir sisteme sahiptir (Vanderroost vd., 2014:48). Aktif paketlemenin bazı örnekleri arasında gaz temizleme, nem kontrolü, oksidasyon önleme ve sıcaklık kontrolü yer almaktadır. (Madhurakavi, 2021).

Karagöz ve Demirdöven (2017: 15), aktif ambalajlama sistemlerinin “aktif salıcı-yayıcı sistemler” ve “aktif emici-tutucu sistemler” olmak üzere iki farklı çalışma prensibine ayrıldığını belirtmiştir. “*Aktif salıcı-yayıcı sistemlerde karbondioksit salıcılar, etanol salıcılar ve tat-koku salıcılar, aktif emici-tutucu sistemlerde ise oksijen tutucular, karbondioksit tutucular, nem tutucular, tat/koku*

tutucular, etilen tutucular kullanılmaktadır” (Karagöz ve Demirdöven, 2017:15). Aktif ambalajlamanın sahip olduğu, aktif emici–tutucu sistemi sayesinde, istenmeyen aroma ve koku maddelerinin paket içerisinden uzaklaştırması ya da tutulması mümkün olabilmektedir (Kasim ve Kasim, 2019:633). Aktif salıcı-yayıcı sistemi sayesinde ise özellikle meyve suyu endüstrisinde kullanılan aroma bileşenlerinin ambalaj tarafından emilebilme durumuna karşı ambalaj içine gıdanın karakteristik aromasını yayan aroma salıcılar yerleştirilebilmektedir (Karagöz ve Demirdöven, 2017:16).

DHL, aktif ambalaj çözümlerinin bugün küresel yeni nesil ambalaj pazarında %36’dan fazla paya sahip olduğunu ve önümüzdeki 10 yıl boyunca da hâkimiyetini sürdüreceğini belirtmiştir. Aktif ambalaj örnekleri arasında antimikrobiyal ambalaj, ısıtma/soğutma ambalajı, gaz yayıcılar, emiciler ve temizleyiciler dahil öğeler, nem/koku/tat emici ve serbest bırakan ambalajlar, korozyon kontrol ambalajları ve bozulmayı geciktirici ürünler yer alır. Bu ürünler sayesinde aktif ambalaj, dış ve iç atmosferindeki değişikliklere yanıt verecek ve tepki verecek şekilde tasarlanmaktadır ve bu nedenle ilaç ve nutrasötik endüstrileri için son derece önem sahiptir. (DHL, 2023). Şekil 2’de aktif ambalajlama için DHL raporunda paylaşılan görsel yer almaktadır.



Şekil 2.Aktif Ambalajlama

Kaynak: DHL The Logistics Trend Radar, 2023.

Modifiye Atmosfer Ambalajlama

Modifiye Atmosfer Ambalajlama (MAP), bir aktif paketleme teknolojisidir. Amacı, genellikle ürünlerdeki fizyolojik, patolojik ve fiziksel bozulma süreçlerini geciktirme faydalarıyla ilişkilendirilen, taze ürünlerin solunum ve etilen üretim oranlarını azaltmak için ambalajın içinde optimum düzeyde değiştirilmiş bir atmosfer yaratmak ve sürdürmektir (Yam ve Takhistov, 2016:3). Modifiye Atmosfer Ambalajlama (MA), yani yüksek karbondioksit konsantrasyonları ve

azaltılmış oksijen ve etilen seviyeleri, hasattan sonra taze meyve ve sebzelerin kalitesinin korunmasında optimum sıcaklık ve bağıl nem sağlamak için yararlı takviyeler sağlar (Kader vd., 1989:1).

Küresel nakliye ve taşıma kapasitesinin genişlemesi, çabuk bozulan malların ve atmosfere duyarlı ürünlerin dünya genelinde hızlı taşınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ürünlerin taşınması ve ulaştırılması sürecinde ürünlerin en iyi durumda teslim edilmesini sağlamak için saklama kabının veya ambalajın iç atmosferinin sürekli olarak korunması ve değiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, modifiye atmosfer ambalajlamanın (MAP) kullanımı, taşıma ve teslimatın etkinliği açısından merkezi hale gelmiştir. MAP teknolojisi sayesinde küresel gıda israfının azaltılması, ürün raf ömrünün günlerce, hatta haftalarca uzatılması ve daha kârlı ve güvenli bir küresel gıda tedarik zinciri elde edilmesi yer almaktadır. Kovid-19 salgını sürecinde küresel aşı sevkiyatlarını kolaylaştırmak, aşı sevkiyatının özellikle taşıma sırasında atmosfer sıcaklığının kontrol edilmesi ve değiştirilmesi açısından MAP çözümlerine olan ihtiyacın gerekliliği ortaya çıkmıştır (DHL,2023). Şekil 3'te modifiye atmosfer ambalajlama için DHL raporunda paylaşılan görsel yer almaktadır.



Şekil 3. Modifiye Atmosfer Ambalajlama
Kaynak: DHL The Logistics Trend Radar, 2023.

Akıllı Ambalajlama

Çeşitli şekillerde tanımlanan akıllı ambalajlama üreticiyi ve tüketiciyi ürünün tazeliği konusunda bilgilendirmeyi amaçlamaktadır. Akıllı ambalajlama, "ürünün yaşam döngüsü" boyunca ürünlerin tazeliğini izler bu doğrultuda müşterileri bilgilendirir (Dobrucka ve Przekop, 2019:9). Akıllı ambalajlamalar, gıda ürünlerinin ambalajı veya çevresi ile etkileşimine dayanan bir çözüm olarak

sunulmuştur ve gıdanın kalite özelliklerini etkileyen çevre koşullarını izleyebilmektedir (Heising vd., 2017:1674).

Vanderroost vd.(2014), akıllı ambalajların “üründeki veya çevresindeki değişiklikleri algılama, tespit etme ve kaydetme” özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir. Akıllı ambalajlar tüketicilere ve ilgili tüm gıda tedarik ağı ortaklarına ekstra faydalar sunabilen her türlü ambalajdır (Liegeard ve Manning, 2020:1054;Kabadurmus vd., 2023:3). Yam vd. (2005), akıllı ambalajlamayı: *“Karar vermeyi kolaylaştıran, raf ömrünü uzatan, güvenliği artıran, kaliteyi artıran, bilgi sağlayan ve olası sorunlar hakkında uyarı veren akıllı işlevleri yerine getirebilen bir paketleme sistemi”* olarak tanımlamıştır (Yam, vd.,2005:3).

Akıllı ambalajlama sistemleri, taşıma ve depolama sırasında paketlenmiş ürünlerin kalitesi hakkında bilgi vermek amacıyla ürünün iç durumunu izler (DHL,2023). Geleneksel ambalajlamaya göre akıllı ambalajlama, gelişmiş işlevsellik sağlamak için nem kontrolü ve izleme cihazları, algılama sensörleri, IoT cihazları, RFID etiketleri gibi gelişmiş ve entegre algılama ve iletişim teknolojilerini içermektedir (Kabadurmus vd., 2023:3).

Akıllı ambalaj, ambalaja akıllı işlevler ekleyerek ürünün değerini artırmaktadır. Bu durumda tüketici deneyimini olumlu yönde etkilemektedir. Akıllı ambalajlamanın en yaygın örneklerinden biri, şirket için taşımayı kolaylaştırmak ve pazarlama materyallerini tüketicilere iletmek amacıyla ambalaj üzerinde sırasıyla Near Field Communication (NFC-yakın alan iletişimi) etiketlerinin ve barkodların kullanılmasıdır (Mahdurakavı,2021) .

Lojistik ve tedarik zinciri operasyonlarında akıllı paketleme çözümleri, diğer birçok sektördeki ürünler için hayati öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Örneğin akıllı paketleme çözümleri; hırsızlık, son kilometre teslimatını saptırma, sahtecilik ve diğer suç riskini azalttığı için gerçek zamanlı izlemeyle ürünleri daha iyi koruyabilmektedir. LivingPackets şirketi tarafından geliştirilen, nakliye sırasında sıcaklığı, nemi ve şoku izleyen sensörlerle donatılmış akıllı bir paketleme çözümü olan BOX yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama için iyi bir örnektir (bkz. Şekil 4). BOX dijital ekrana sahip olduğu için etiket basılmasına gerek duyulmamaktadır. E-mürekkep teknolojisi kullanılmakta ve böylelikle enerji tüketiminin önüne geçmektedir. Bu durum kutunun yeniden kullanılabilirliğiyle birleştiğinde, döngüsellığe katkıda bulunan sürdürülebilir bir akıllı ambalaj çözümü haline gelmektedir (DHL, 2023).



Şekil 4.Akıllı Ambalajlama

Kaynak: DHL The Logistics Trend Radar, 2023

TEDARİK ZİNCİRİNDE YENİ NESİL SÜRDÜRÜLEBİLİR AMBALAJLAMA

Ambalajın gelişimi, üretim ve imalat kaynağının kullanım noktasından farklı olduğu durumlarda malların taşınması ve dağıtımını amacıyla ortaya çıkmıştır. Ürünlerin kaynak noktasından tüketim noktasına kadar olan süreci kapsayan tedarik zinciri ve bu süreçte ortaya çıkan ambalajlama ihtiyacı bir arada ilerlemektedir (Morashti vd., 2022:1). Günümüzde artan teknolojik gelişmelere rağmen ürünler için küresel tedarik zincirlerinin uzunluğunun artması, tedarik zinciri boyunca ambalaj katmanlarının ve ilgili atıkların kullanımında eş zamanlı bir artışa yol açmıştır. Bu nedenle ambalajlama, tedarik zinciri maliyetlerine etki edecek şekilde çevreye ve topluma yönelik zorluklar ve fırsatlar doğurmaktadır (Meherishi vd., 2019:1).

Ürünlerin tedarik zinciri süreçlerinde etkili bir şekilde dağıtılmasını sağlama, bozulmasını önleme ve atık etkilerinin azaltılmasını sağlama açısından ambalajlamanın önemli bir katkısı vardır. Ancak ambalajın çevre üzerindeki sürdürülemez etkileri de göz ardı edilemez derecededir. Çevre üzerindeki etkileri; yenilenebilir olmayan kaynakların tükenmesi, üretim, taşıma ve kullanım sırasında hava emisyonlarının oluşturulması ve depolama alanında atılması gereken katı atık üretimi gibi unsurlardır (Verghese ve Lewis, 2007:4382)

Ürünlerin korunması ve teslim edilmesi amacıyla ambalajlamaya zorunlu olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Ambalajlamanın çevre üzerindeki atık ve zararlı etkileri göz önünde bulundurulduğunda zorunlu kalınan bir kötülük olarak değerlendirilmiştir. Nedeni ise ürün tesliminden sonra ambalajın işlevini yerine getirmiş olması ve yaşam döngüsünün sona ermiş olmasıdır (Morashti vd., 2022:2). Bu nedenle doğa, iklim ve yarının dünyası için artan endişeler söz

konusudur. Bu endişelere yönelik artan kamu ve paydaş baskısı işletmeleri sürdürülebilirliği göz önüne alarak faaliyetlerini gerçekleştirmeye yönlendirmiştir. Özellikle işletmelerin rekabet avantajı elde edebilecekleri alanlardan biri olan tedarik zincirinde ambalajlamaya yönelik yeni gelişmeler söz konusudur (Asim vd., 2022:2). Bu gelişmeler arasında yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama yer almaktadır.

Tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin gelişimi ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda gerçekleştirilecek eylemlere bağlıdır. Aynı zamanda sürdürülebilirliğin sağlanması için ömrünü tamamlamış ürünlerin geri dönüştürülmesi önemli bir durumdur. Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama tedarik zincirinde sürdürülebilirlik boyutlarına katkıda bulunmaktadır (García-Arca vd., 2017:2). Sürdürülebilir ambalaj, ambalaj endüstrisini geri dönüştürülebilir malzemelere doğru yönlendiren önemli bir güç haline gelmiştir (Asim vd., 2022:2). Teslim edildikten sonra işlevini yerine getirmiş olması ve yaşam döngüsünün sona ermiş olması nedeniyle çevre üzerinde olumsuz etkisi olduğu düşünülen ambalajlamada (Morashti vd., 2022:2) geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması sürdürülebilir kalkınmanın boyutları açısından önemlidir (Koç ve Merdivenci, 2021:264). Dünya, genelinde birçok sürdürülebilir uygulamalara geçilmekte ve hızla sürdürülebilirliğe doğru ilerlemektedir. Yerel tedarik zinciri yönetiminin rekabet avantajını sürdürmek amacıyla operasyonel yönlerinde, lojistik süreçlerinde ve stratejik kararlarında sürdürülebilirliği benimsemesi önemlidir (Asim vd., 2022:2).

Ambalaj, bir ürünün 'yeşil' imajı üzerinde etkiye sahiptir. Ayrıca ambalajın, ürünün lojistik ve üretim düzeyinde verimliliğini artırmak amacıyla tasarlanması gerekmektedir. Ambalaj tasarımının lojistik ve üretim düzeyinde sağlayacağı verimlilik; tedarik, paketleme, nakliye, depolama ve taşıma gibi süreçlere olan etkileri açısından düşünülebilir. Bu nedenle, ambalaj, tedarik zinciri boyunca ortaya çıkabilecek atıkları ortadan kaldıracaktır. Bu tür atıklar, örneğin depolama alanlarında, taşıma ve satış noktalarında boşa harcanan veya kullanılmayan alan, fazla malzeme kullanımı veya ürün kırılmaları içerebilir. Ambalaj tasarımı, hem doğrudan maliyetleri (ambalaj alımları ve atık yönetimi) hem de dolaylı maliyetleri (paketleme, taşıma, depolama, taşıma ve kayıplar) etkilemektedir (García-Arca et al., 2017:2-3).

Ambalaj endüstrisi, çevre üzerinde ve tedarik zincirlerinde maliyet verimliliği üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki; ambalaj tasarım geliştirme aşaması, malzeme temin aşaması ve yaşam sonu işlem aşamasını içerir. (Morashti vd., 2022:1). Bu önemine rağmen tedarik zincirinde ambalajlamaya yönelik araştırmaların yeterli düzeyde olmadığı ama tedarik zincirinde

sürdürülebilir ambalajlamaya yönelik çalışmaların arttığı belirtilmiştir (Meherishi vd., 2019:2)

Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlama teknolojileri arasında yer alan akıllı ambalajlamanın tedarik zincirinin etkinliğini ve verimliliğini arttıracığı belirtilmektedir. Badhire 2022 yılında Future Market Insights sitesinde yazdığı makalede dünya genelinde her yıl 931 milyon ton gıdanın israf edildiğini ve bu israfın nedeninin tedarik zinciri ve lojistik süreçlerindeki verimsizlikler ve eksiliklerden kaynaklandığını belirtmiştir. Badhire akıllı ambalaj kullanımında tedarik zincirinde verimlilik açısından elde edilecek fırsatları aşağıdaki gibi sıralamıştır (Badhire, 2022):

- **Sipariş toplama sürecini kısaltmak ve gümrük muayene sürecini azaltmak:** Akıllı ambalaj, ürünlerin türü ve miktarı dahil olmak üzere çeşitli bilgileri depolamak üzere programlanabilir. Böylelikle depo çalışanları, ambalaj malzemelerine bir okuma cihazı yönlendirerek sipariş toplamak için ihtiyaç duydukları ürünleri hızlı bir şekilde tanımlayabilirler. Ayrıca gümrük görevlileri, yüklenmiş bir kamyonun içeriğini kontrol edebilir ve bu kontrol sonuçlarını akıllı ambalaja yönlendirilen el cihazlarından alınan okumalarla hızlı bir şekilde karşılaştırabilirler.

- **Hassas ürünler için uygun taşıma ve depolama koşullarını sağlamak:** Akıllı ambalaj, özellikle gıda gibi hassas ürünlerin güvenliği için sıcaklık, nem, eğim ve diğer kritik faktörleri izlemek için kullanılabilir. Ambalajın içine yerleştirilen sensörler, gerçek zamanlı ve yolculuk sürecinde okumalar sağlayabilir, böylece alıcı belirtilen nakliye koşullarının karşılanıp karşılanmadığını kontrol edebilir.

- **Transit halindeki ürünleri gerçek zamanlı olarak takip etmek:** Ürün hırsızlığı ve kaybı, küresel tedarik zinciri için hala önemli sorunlar arasındadır. Akıllı ambalaj ile hem alıcı hem de satıcı, ürünün yolculuğunu takip edebilir ve rota boyunca çeşitli kontrol noktalarından gerçek zamanlı okumalar alabilir.

- **Müşterilere detaylı ürün bilgilerini sağlamak:** Akıllı ambalajlama sayesinde müşteriler satın alacakları ürünler hakkında detaylı bilgilere sahip olabilir.

DHL Lojistik Trend Radar raporunda yeni nesil ambalajlama çözümlerinin, tüketicilerin ve üreticilerin yolculuk boyunca sevkiyat yerlerini takip etmelerine, açılan bir pakete ilişkin bildirim almalarına ve paketin durumunu izlemelerine olanak tanıdığını belirtmiştir (bkz. Şekil 5) (DHL,2023).



Şekil 5. Yeni Nesil Sürdürülebilir Ambalajlama

Kaynak: Madhurakavi, (2021).

UYGULAMALAR

BlakBear

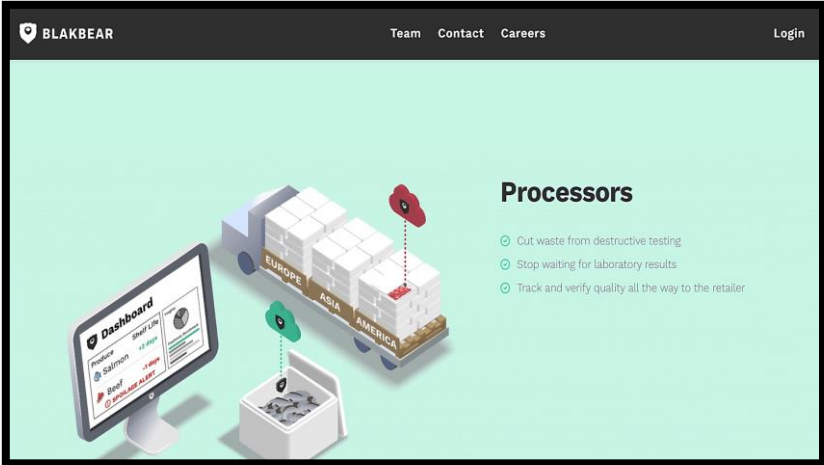
Gıda israfıyla başa çıkmak amacıyla Londra merkezli bir gıda tedarik zinciri şirketi olan BlakBear, paketlenmiş et, tavuk ve balıkların gerçek zamanlı olarak ne kadar raf ömrünün kaldığını gösteren bir kağıt tabanlı elektrikli gaz sensörü geliştirdiğini belirtmiştir (bkz. Şekil 6). Şirket, bu sensörün geleneksel son kullanma tarihlerinden daha doğru olduğunu ve tedarik zincirinde hesap verebilirlik sağladığını iddia etmektedir. Ambalajın içine yerleştirilen veya çok katmanlı bir ambalaj malzemesine gömülen etiket, bozulmuş gıdalardan yayılan gazları algılayarak paketlenmiş et, tavuk ve balıkların tazelik derecesini ölçer ve bunların raf ömrünü doğru bir şekilde belirler. Kağıt tabanlı etiket, üzerine basılmış iki elektrod ve gömülü bir RFID çipi içermektedir. Gıdalar bozulduğunda mikroplar amonyak gazı salar. Suda çözünebilen bu gaz, kağıdın selüloz liflerine emilir ve daha sonra iyonlara ayrılır. Elektrotlar, ürünün raf ömrünü belirlemek için kağıdın liflerinde zaten doğal olarak bulunan su tabakasındaki iyon iletkenliğini algılar ve ölçer. Şirket CEO'su , 'Çözülmüş gazdan ölçtüğümüz voltajı veya elektrik sinyalini gerçek mikrop ve organoleptik verilerle ilişkilendirdiklerini belirtmiştir. Sensör, 200 milyarda bir oranına kadar amonyak gazını ölçebildiğini ve bu ölçümün en iyi insan burnundan 100 kat daha iyi olduğunu belirtmiştir (BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023).



Şekil 6. BlakBear Kağıt Tabanlı Etiket

Kaynak: BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023.

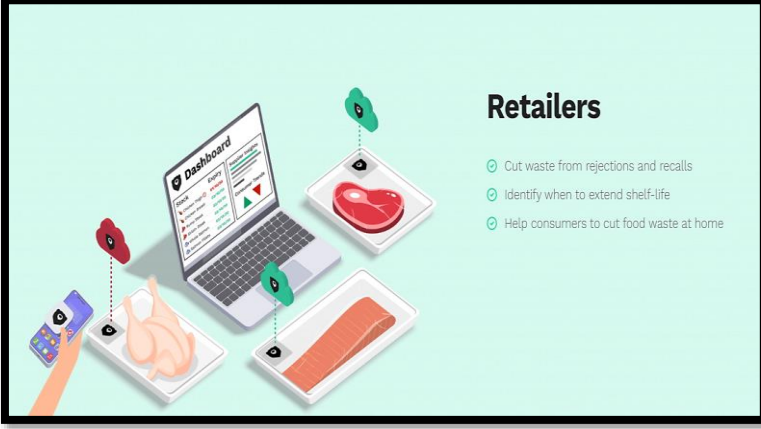
Tüketiciler, BlakBear etiketine gömülü RFID etiketlerini akıllı telefonlarıyla tarayarak raf ömrü verilerine gerçek zamanlı olarak ulaşabiliyor. BlakBear geliştirdikleri kâğıt tabanlı elektrikli gaz sensörünün avantajlarını aşağıdaki görseller üzerinden şu şekilde açıklamıştır.



Şekil 7. BlakBear Etiketinin İşleyiciler İçin Avantajları

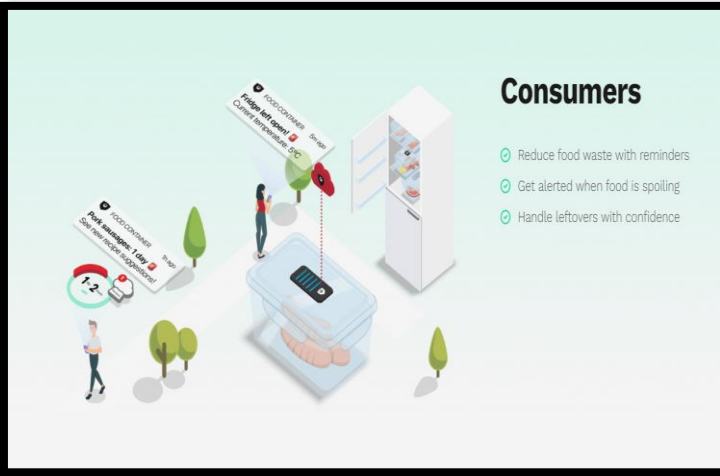
Kaynak: BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023.

Gıda tedarik zincirinde üreticilerden önce yer alan işleyiciler için; tahrip edebilecek testlerden kaynaklanan atık azaltılabilir, laboratuvar sonuçlarının beklenmesine gerek kalmaz ve kaliteyi perakendeciye kadar izlenebilir ve doğrulanabilir



Şekil 8. BlakBear Etiketinin Perakendeciler İçin Avantajları
Kaynak: BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023.

Perakendeciler için oluşabilecek avantajlar: Ürünün kabul edilmemesi ve geri çağırılmasından kaynaklanan israf azaltılabilir, raf ömrünün uzatılmasını belirlemeye yardımcı olur ve tüketicilerin evde oluşabilecek gıda atıklarını azaltmalarını sağlar.



Şekil 9. BlakBear Etiketinin Tüketiciler İçin Avantajları
Kaynak: BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023.

Tüketiciler için ise: Ambalajda yer alan hatırlatıcılarla gıda israfını azaltabilir, gıda bozulduğunda uyarı alabilir ve fazla kalan ürün artıklarını güvenle kullanabilirler.

Mondi

Yenilikçi, sürdürülebilir ambalaj ve kağıt çözümleri üreterek daha iyi bir dünyaya katkıda bulunmayı amaçlayan MONDİ bu yönde birçok sürdürülebilir ambalaj tasarımları geliştirmiştir. Bu tasarımlar hem sürdürülebilirlik açısından hem de tedarik zinciri süreçlerinde ürünlerin daha kolay taşınabilmesi ve sürecin verimliliği açısından çok önemlidir. Tasarımlardan bazıları aşağıda ele alınmıştır (MONDİ, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023).

Otomotiv Parçaları İçin Geliştirilen Lojistik Ambalajı

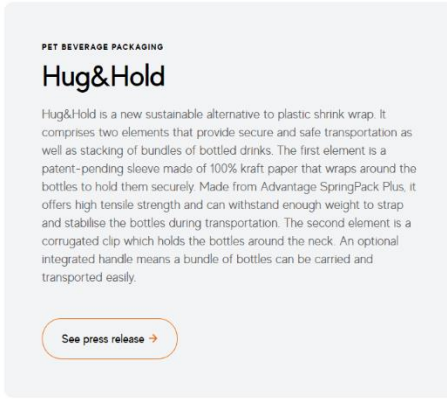
Standart taşıma tasarımlarından özel konfigürasyonlara kadar otomotiv bileşenlerini taşımak için oluklu çözümler geliştirmiştir. Firma Volvo için üretilen fren güçlendirici gibi araç parçaları için özel tasarımlı ve taşıma kapasitesini daha verimli kullanabilen sürdürülebilir oluklu bir paketleme geliştirmiştir. Bu paketleme sayesinde ürünler taşıma esnasında zarar görme durumu engellenir ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanıldığı için çevreye daha az zarar verme durumu söz konusudur (bkz. Şekil 10) (MONDİ, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023) .



Şekil 10. Otomotiv Parçaları İçin Geliştirilen Lojistik Ambalajı
Kaynak: Mondı, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023.

Hug and Hold

Hug&Hold, plastik shrink wrap'a (paketlenme yöntemi) sürdürülebilir bir alternatif olarak yapılmıştır. Şişelenmiş içecek demetlerini güvenli ve sağlam bir şekilde taşımak ve depolamak için iki öğeden oluşur. İlk öğe, şişeleri güvenli bir şekilde tutmak için kullanılan, %100 kraft kağıttan yapılmış, patent bekleyen bir kılıftır. Advantage SpringPack Plus'tan üretilmiş olup yüksek çekme dayanıklılığı sunar ve taşıma sırasında şişeleri birleştirmek ve sabitlemek için yeterli ağırlığa dayanabilmektedir. İkinci öğe, şişelerin üst kısımlarını sararak tutan bir oluklu klipsdir. Bu klips sayesinde şişeler kolayca taşınabilmektedir (bkz. Şekil 11) (MONDİ, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023) .



Şekil 11. Hug and Hold

Kaynak: Mondı, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023.

REMEDIES Projesi,

REMEDIES projesi, tedarik zinciri verimsizliklerinin üstesinden gelmek amacıyla ilaçlara yönelik akıllı ambalajların geliştirilmesi üzerinde çalışıyor. Bu, basılı elektroniklerin ambalajlara (RFID etiketleri gibi) entegre edilmesiyle yapılıyor. Sahteciliğin önlenmesi, üründe tahrifat yapılması ve ilacın tüketime uygun olup olmadığı konusunda bilgi ve doğrulama sağlayarak hasta sonuçlarının ve uyumluluğunun iyileştirilmesi beklenmektedir (Prescouter, <https://www.prescouter.com/2017/03/smart-packaging/> erişim tarihi: 30.11.2023).

SONUÇ

Bu bölümde yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamanın tanımına, özelliklerine, güncel teknolojik gelişmeler sayesinde ortaya çıkan yeni ambalajlama teknolojilerine ve tedarik zincirinde yeni nesil sürdürülebilir ambalajının kullanım alanına ve önemine yer verilmiştir. Yeni nesil sürdürülebilir ambalajlamanın dünya genelinde yer alan sektörel uygulamaları ele alınmıştır.

Ambalajlama, ambalaj malzemesi tedariki, ambalaj tasarımı ve geliştirme aşamalarından lojistik ve kullanım ömrü sonu işleme aşamalarına kadar tüm tedarik zincirinin maliyetlerini ve çevresel verimliliğini önemli ölçüde etkileyen sektörlerden biridir (Meherishi et al., 2019:3). Bu doğrultuda çalışmada tedarik zinciri süreçlerinde maliyet verimliliği ve çevresel etkisi üzerinde önemli bir yere sahip olan ambalajlamaya yönelik yapılan çalışmaların kapsamlı olmadığı ama tedarik zincirinde sürdürülebilir ambalajlama ve yeni nesil ambalajlama teknolojilerine yönelik araştırmaların arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Morashti vd., 2022:1; Meherishi et al., 2019:2).

Çalışmada ele alınan sektörel uygulamalar sonucunda aktif ve akıllı ambalajlamanın lojistik süreçleri için hızlı, ekonomik ve verimlilik sağladığı aynı zamanda gıda tedarik zincirinde gıda kaybı ve israfının azaltılmasında etkili sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür.

REFERANSLAR

- Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., Torres de Oliveira, R., Jha, S., Ramchandani, A., & Schuricht, L. (2021). Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 281, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125139>
- Aksay, B., & Güğerçin, S. (2022). Sürdürülebilir Girişimcilik: Adana'daki Plastik Geri Dönüşüm İşletmeleri Üzerine Nitel Bir Araştırma. 3. *Sektör SosyalEkonomiDergisi*, 57(2), 1473–1493. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.22.06.1884>
- Asim, Z., Shamsi, I. R. Al, Wahaj, M., Raza, A., Abul Hasan, S., Siddiqui, S. A., Aladresi, A., Sorooshian, S., & Seng Teck, T. (2022). Significance of Sustainable Packaging: A Case-Study from a Supply Chain Perspective. *Applied System Innovation*, 5, 1–18. <https://doi.org/10.3390/asi5060117>
- Boz, Z., Korhonen, V., & Sand, C. K. (2020). Consumer considerations for the implementation of sustainable packaging: A review. *Sustainability*, 12(6), 1–34. <https://doi.org/10.3390/su12062192>
- Dobrucka, R., & Przekop, R. (2019). New perspectives in active and intelligent food packaging. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(11), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14194>
- García-Arca, J., González-Portela Garrido, A. T., & Prado-Prado, J. C. (2017). “Sustainable packaging logistics”. The link between sustainability and competitiveness in supply chains. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su9071098>
- Heising, J. K., Claassen, G. D. H., & Dekker, M. (2017). Options for reducing food waste by quality-controlled logistics using intelligent packaging along the supply chain. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 34(10), 1672–1680. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1315776>
- Kabadurmus, O., Kayikci, Y., Demir, S., & Koc, B. (2023). A data-driven decision support system with smart packaging in grocery store supply chains during outbreaks. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101417>
- Kader, A. A., Zagory, D., & Kerbel, E. L. (1989). Modified atmosphere packaging for fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(1), 1–30. <https://doi.org/10.1201/EBK1420068627>
- Karagöz, Ş., & Demirdöven, A. (2017). Gıda Ambalajlamada Güncel Uygulamalar: Modifiye Atmosfer, Aktif, Akıllı ve Nanoteknolojik

- Ambalajlama Uygulamaları. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(1), 9–21.
- Kasim, M. U., & Kasim, R. (2019). Gıdalarda Akıllı Ambalajların Geleceği , Avantaj Ve Dezavantajları. *International Marmara Sciences Congress (Autumn) 2019, July*, 632–639.
- Koc, N., & Uysal, F. (2017). Reverse logistics and application of ARAS method. *Pressacademia*, 4(2), 178–185. <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.462>
- Koç Ustalı, N., & Merdivenci, F. (2021). Gemi Geridönüşümüne Yönelik Bir Yazın Taraması. *Uluslararası İşletme ve Pazarlama Kongresi*, 262–277.
- Lewis, H., Fitzpatrick, L., Verghese, K., Sonneveld, K., & Jordon, R. (2007). Sustainable Packaging Redefined. *DRAFT, November*.
- Liegeard, J., & Manning, L. (2020). Use of intelligent applications to reduce household food waste. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(6), 1048–1061. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1556580>
- Liu, F., Li, M., Wang, Q., Yan, J., Han, S., Ma, C., Ma, P., Liu, X., & McClements, D. J. (2023). Future foods: Alternative proteins , food architecture , sustainable packaging , and precision nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6423–6444. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033683>
- Meherishi, L., Narayana, S. A., & Ranjani, K. S. (2019a). Sustainable packaging for supply chain management in the circular economy: A review. *Journal of Cleaner Production*, 237, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.057>
- Morashti, J. A., An, Y., & Jang, H. (2022). A Systematic Literature Review of Sustainable Packaging in Supply Chain Management. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su14094921>
- Nicita, A., Oganivtsev, V., & Shirotori, M. (2013). Global Supply Chains: Trade and Economic Policies for Developing Countries. In *United Nations Conference on Trade and Development (Issue 55)*.
- Pasta, C., Russo, V., Bilucaglia, M., Licitra, G., Mangione, G., Micheletto, V., Rossi, F., & Zito, M. (2023). *Can Traditional Food Product Communication Convey Safety to the Younger Generations ? The Role of Sustainable Packaging*. 12, 1–14.
- Research, D. T. (2023). *The Logistics Trend Radar: Delivering insight today creating value tomorrow 6.0*.
- T. C. Ekonomi Bakanlığı. (2020). *Ambalaj Sektörü*.
- Takma, K. D., & Nadeem, Ş. H. (2019). Gıdalarda Akıllı Ambalajlam Teknolojisi Ve Güncel Uygulamalar. *Gıda*, 44(1), 131–142.

<https://doi.org/10.15237/gida.gd18106>

- Ünsal, S., & Gövdere, B. (2023). İşletmelerde Çevresel Sürdürülebilirliğin Sağlanmasında Sürdürülebilir Ambalaj Kullanımının Önemi. *Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi*, 5(11), 1–15.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science and Technology*, 39(1), 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009>
- Vergheze, K., & Lewis, H. (2007). Environmental innovation in industrial packaging: A supply chain approach. *International Journal of Production Research*, 45(18–19), 4381–4401. <https://doi.org/10.1080/00207540701450211>
- Williams, H., Wikström, F., & Löfgren, M. (2008). A life cycle perspective on environmental effects of customer focused packaging development. *Journal of Cleaner Production*, 16(7), 853–859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.05.006>
- Yam, K. L., Takhistov, P.T. and Miltz, J. (2005). *Intelligent Packaging: Concepts and Applications*. 70(1), 1–10.
- Yam, K. L., & Takhistov, P. (2016). Sustainable packaging technology to improve food safety. *IBM Journal of Research and Development*, 60(5–6), 1–7. <https://doi.org/10.1147/JRD.2016.2597018>
- Zarębska, J., & Lewicka, B. (2020). Changes in Waste Packaging Management and Implementation to Achieve A Circular Economy - Polish Case Study. *Acta Innovations*, 34, 50–57.
- Pezzey, J. (1992). “Sustainable Development Concepts An Economic Analysis”, World Bank Environment Paper Number 2, ISBN 0-8213-2278.

WEB

- Badhire, K.(2022). The Role of Intelligent Packaging in Supply Chain Transparency, <https://www.foodlogistics.com/sustainability/packaging/article/22043994/future-market-insights-the-role-of-intelligent-packaging-in-supply-chain-transparency>, erişim tarihi: 29.11.2023
- BlakBear, <https://blakbear.com/>, erişim tarihi: 30.11.2023).
- European Commission (2023), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155, erişim tarihi: 01.12.2023.
- European Parliament (2023), <https://www.europarl.europa.eu/news/en/>, erişim tarihi:19.10.2023.

- Madhurakavi, (2021), <https://packmojo.com/blog/everything-you-need-to-know-about-smart-packaging/>, erişim tarihi: 01.12.2023.
- MONDİ, <https://www.mondigroup.com/about-mondi/who-we-are/> erişim tarihi: 30.11.2023
- Prescouter, <https://www.prescouter.com/2017/03/smart-packaging/> erişim tarihi: 30.11.2023).
- DHL, (2023). The Logistics Trend Radar Delivering Insight Today, Creating Value Tomorrow 6.0, DHL Trend Research, <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/csi/documents/pdf/csi-logistics-trend-radar-6-dhl.pdf>, erişim tarihi: 30.11.2023.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023). <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ambalaj-atiklari-i-85757>, erişim tarihi: 06.12.2023.
- TÜİK (2023), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>, erişim tarihi. 06.12.2023.

4. Bölüm

Döngüsel Ekonomi ve Lojistik

Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI¹

¹ Arş. Gör.: Akdeniz Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü.
nesrinkoc@akdeniz.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4217-4212

GİRİŞ

Artan nüfus, gelişen ekonomi, hızlı kentleşme ve yükselen yaşam standartları başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere dünyada doğal kaynakların tükenmesini ve atık oluşumunu büyük ölçüde hızlandırmıştır (Liu, Liang, Song, ve Li, 2017: 1314). Bu durum, toplum tarafından üretilen atıkları, küresel bir sorun haline getirmiştir (Valenzuela, Alfaro, Fuertes, Vargas, ve Sáez-Navarrete, 2021: 1117). Dünya Bankası verilerine göre küresel yıllık atık üretiminin, 2016'daki 2,01 milyar tondan 2030 yılına kadar 2,59 milyar tona ulaşacağı ve 2050 yılına kadar bu miktarın dünya genelinde 3,40 milyar tona yükseleceği tahmin edilmektedir (WB, 2018). Dolayısıyla dünyadaki tüketimin mevcut endişe verici büyüme hızında çevresel, toplumsal ve ekonomik etkileri ve sonuçları dikkate alınmaksızın ürün yaratma, bu ürünleri kullanma ve ardından elden çıkarma şeklindeki doğrusal ekonomi modeli, sürdürülemez olan kusurlu bir üretim yaklaşımı olarak görülmeye başlanmıştır (Jawahir ve Bradley, 2016: 103). Bu nedenle, hiçbir şeyin israf edilmediği bir gelecek, ilk kullanımlarının sonunda tüm ürünlerin geri kazanıldığı ve yeniden kullanıldığı, yeniden üretildiği veya birden fazla nesil için geri dönüştürüldüğü bir gelecek, bir hayalden öte bir gereklilik haline gelmiştir (Jawahir ve Bradley, 2016: 103). Dolayısıyla "al-yap-at"a dayalı mevcut doğrusal ekonomik model, fiziksel sınırlarına ulaşmaktadır (MacArthur, 2015: 2) ve döngüsel ekonomi, kaynakların sorumlu ve döngüsel kullanımını teşvik eden ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunan, giderek büyüyen bir konu haline gelmektedir (Moraga vd., 2019: 452).

Döngüsel ekonomi, onarıcı ve yenileyici yönlere odaklanan kapalı döngü bir tedarik zinciridir ve amacı, tedarik zincirinin farklı seviyelerinde kaynak verimliliğini ve çevresel performansı artırmaktır (Rajput ve Singh, 2019: 98). Aynı zamanda döngüsel ekonomi, firmaların üretim sistemlerinde yer alan lojistik süreçleri düzene sokmak, üretim lojistiğini rasyonalize etmek ve döngüsel ekonomi sistemindeki firmaların tedarik zincirlerini yönetmek gibi görevlere sahiptir (Makarova, Shubenkova, ve Pashkevich, 2018: 1). Dolayısıyla döngüsel ekonomi, lojistik ve tedarik zinciri yönetimiyle yakından ilişkilidir (Ding, Wang, ve Chan, 2023: 387) ve uygun tedarik zincirlerinin tasarlanması ve planlanması, döngüsel ekonomi uygulamalarının hayata geçirilmesine yönelik önemli bir yapı taşı oluşturmaktadır (MahmoumGonbadi, Genovese, ve Sgalambro, 2021: 1). Bu nedenle bu çalışma, döngüsel ekonominin anlaşılmasını ve lojistikle olan ilişkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde döngüsel ekonomi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde döngüsel ekonominin amaçları, dördüncü bölümde döngüsel ekonominin prensipleri ele alınmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde döngüsel ekonominin faydalarından ve önündeki engellerden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde döngüsel ekonomi ve lojistik arasındaki ilişki anlatılmıştır. Çalışmanın yedinci bölümünde döngüsel ekonomi uygulama seviyeleri ele alınmıştır ve dünyadan ve Türkiye’den örnekler verilmiştir. Çalışmanın son bölümde ise genel değerlendirmeler sunulmuştur.

DÖNGÜSEL EKONOMİ

Döngüsel Ekonomi’nin (DE) iki kolu vardır; birincisi malzemelerin bir ekonomideki akışıyla ilgilidir, ikincisi ise böyle bir akışı sağlayabilecek ekonomik koşullar hakkında düşünmekle alakalıdır (Ekins vd., 2019: 7). Bu iki kavramsal akım, 1960’lar ve 1970’lerdeki modern çevre hareketinin ilk günlerine kadar uzanmaktadır ve onunla simbiyotik bir ilişkiye sahiptir (Ekins vd., 2019: 7). DE kavramı, iki İngiliz çevre ekonomisti Pearce ve Turner tarafından 1990’da yazılan eserde, tam olarak tanımlanmış ve ekonomik terimlerle birlikte ifade edilmeye başlanmıştır (Su, Heshmati, Geng, ve Yu, 2013: 215; Zhao, 2018: 49; Ekins vd., 2019: 7; Patwa vd., 2021: 726; Herrero-Luna, vd., 2022: 69). Pearce ve Turner, *Economics of Natural Resources and the Environment* (Doğal Kaynaklar ve Çevre Ekonomisi) adlı eserlerinde, çevreyi bir atık rezervuarı olarak yansıtan geleneksel açık uçlu ekonominin, geri dönüşüm eğilimi olmadan geliştirildiğine dikkat çekmiştir (Su vd., 2013: 215). Doğrusal ekonomik sistemi ifade eden bu geleneksel açık uçlu ekonomi, take-make-dispose (al-yap-at) olarak özetlenmektedir (MacArthur, 2015: 2). Bu sistemde üretim için hammadde tedarik edilir, üretim süreci sonunda ürün elde edilir ve tüketilmek üzere sunulur son olarak da tüketim sonrasında atık halini alır (Önder, 2018: 197). Oysa kapalı bir sistemde toplam enerji ve maddenin sabit kaldığı termodinamiğin birinci yasası uyarınca, kaynak kullanımı ve atıklar arasındaki ilişki göz önünde bulundurulduğunda, açık uçlu sistem döngüsel bir sisteme dönüştürülebilir (Su vd., 2013: 215). Bu sistemin basit mesajı, doğrusal üretim süreçlerinden döngüsel süreçlere geçişi içermekte olup, bu geçiş sadece birincil kaynak kullanımının etkinliğinin artırılmasını değil aynı zamanda halihazırda kullanılmakta olan ürünlerin ve ana üretim süreçlerinin yan ürünlerinin mümkün olan azami ölçüde kullanılmasını da içermektedir (Kledyński vd., 2020: 38). Başka bir deyişle DE, refahı kaynak tüketiminden ayırmayı, yani mal ve hizmetleri tüketirken bakir kaynakların çıkarılmasına bağlı kalmamayı ve böylece tüketilen malların nihai olarak çöp

sahalarında bertaraf edilmesini önleyecek kapalı döngüler sağlamayı amaçlamaktadır (Sauvé, Bernard, ve Sloan, 2016: 53). Yani malzeme ve kaynaklar ekonomide mümkün olduğunca uzun süre aktif kalmalı, ömürleri uzatılmalı ve atıklar en aza indirilmelidir (Neves ve Marques, 2022: 1). Çünkü DE, üretim, dağıtım ve tüketim süreçlerinde "yaşam sonu" kavramının yerini malzeme azaltma, alternatif geri kazanım, geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerinin aldığı ekonomik bir sistemdir (Kirchherr, Reike, ve Hekkert, 2017: 229). Dolayısıyla tamamen ekonomik, çevresel ve toplumsal etkileri dengelemeye odaklanan DE, eski endüstriyel uygulamaların yerini almıştır (Rosa vd., 2020: 1663).

DE, teknik ve biyolojik döngüleri birbirinden ayırarak ürünleri, bileşenleri ve malzemeleri her zaman en yüksek fayda ve değerde tutmayı amaçlayan yapısal olarak onarıcı ve yenileyici bir ekonomidir (MacArthur, 2015: 2). Başka bir ifadeyle DE, doğrusal (al, yap, at) modelin üstesinden gelen ve yenilikçi malzemeler, ürünler ve sistemler sayesinde sınırlı kaynakların tüketimini en aza indiren bir ekonomik model olarak tanımlanmaktadır (Taddei, Sassanelli, Rosa, ve Terzi, 2022: 2). Bununla birlikte DE kavramı, atıkların geri dönüştürüldüğü, geri kazanıldığı ve yeniden kullanıldığı, yani malzemenin ekonomik değeri olan yeni bir ürün haline geldiği bir malzeme üretim ve tüketim sistemini varsaymaktadır (Ridley, Ijomah, ve Corney, 2019: 259). Bu nedenle de DE modeli, ürün ve hammaddelerin geri dönüşümüne, atıkların geri kazanılmasına, enerjinin ve tüm kaynakların verimli kullanılmasına olanak tanıyan, hemen hemen hiç atık yaratmayacak şekilde temiz üretim yapan, bütünsel bir süreci ve sürdürülebilirlik için önemli bir aracı ifade etmektedir (Veral, 2021: 8). Dolayısıyla DE, tüm toplumsal faaliyetleri kapsayan malzeme, enerji ve atık akışları için döngülerin oluşturulmasıyla ilgili bütüncül bir yaklaşımdır (Bonciu, 2014: 84).

DE, çevreye ve insanlığa fayda sağlamayı amaçlayan bir kavramdır (Neves ve Marques, 2022: 1). Bununla birlikte DE, mevcut ve gelecek nesillerin yararına, azaltma ve alternatif yeniden kullanım yoluyla bir ürünün ömrünü sürdürebilen ve ardından bir dizi farklı süreç (üretim, dağıtım ve tüketim) yoluyla malzemelerin geri dönüşümü ve geri kazanımını sağlayan bir ekonomik sistem olarak ifade edilmektedir (Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022: 131). Ayrıca DE, yeniden kullanım ve geri dönüşüm ile hammadde kullanımına ikame sağlayan bir sistem olarak bizim ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetini geliştirir (Sauvé vd., 2016: 53). Bu nedenle de DE, sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için temel bir koşul olarak görülmekte ve yeryüzünde sürdürülebilirliği sağlamak için gereken sihirli bir değnek olarak kabul edilmektedir (Neves ve Marques, 2022: 1).

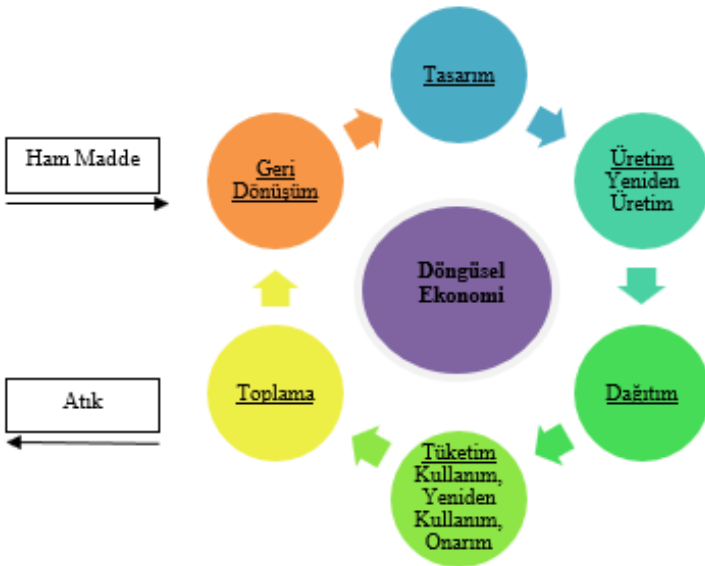
DÖNGÜSEL EKONOMİNİN AMAÇLARI

DE'nin temel amacı; tüm üretim, dağıtım ve tüketim süreçleri boyunca, kapalı döngü malzeme akışının verimlilik odaklı bir yaklaşımla yönetilmesidir (Su vd., 2013: 215-216). Başka bir ifadeyle DE, kapalı döngü üretim modellerinin benimsenmesini sağlayarak ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan daha iyi bir denge ve uyum elde etmek için kentsel ve endüstriyel atıklara özellikle dikkat ederek kaynak kullanımını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Ghisellini, Cialani, ve Ulgiati, 2016: 11). Bunun için ise DE yaklaşımı, önemli çevresel etkilere ve kaynak zorluklarına yol açmadan sürekli bir ekonomik kalkınmayı desteklemektedir (Zhu, Geng, ve Lai, 2010: 1325). Başka bir deyişle, doğal malzemelerin ekolojik dolaşımına dayalı bir ekonomik model olan DE, ekonomik kalkınmayı sağlamak için ekolojik yasalara uyulmasını ve doğal kaynaklardan doğru bir şekilde yararlanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır (Zhijun ve Nailing, 2007: 95).

Kirchherr vd. (2017)'ye göre DE'nin en önemli amacı ekonomik refahtır (Kirchherr vd., 2017: 227). Kirchherr vd. (2017) tarafından literatürde yer alan 114 DE tanımının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada, en sık ekonomik refahın dile getirildiği (tanımların %53'ü) ve DE'nin büyümeyi artıracak bir yol olarak görüldüğü ifade edilmektedir (Ghisellini vd., 2016: 11; Kirchherr vd., 2017: 227). Benzer şekilde Su vd. (2013)'ne göre DE'nin amacı, malzeme ve enerji kullanımının verimliliğini artırarak sürdürülebilir bir kalkınma stratejisi oluşturmaktır (Su vd., 2013: 215). Mavi ve Mavi (2019) tarafından yapılan bir çalışmada da DE'nin, kaynaklara güvenli erişimi garanti altına almak ve iklim değişikliği ve küresel ısınmayla mücadele etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına ve atıkların hassas yönetimine daha fazla odaklanarak sürdürülebilir kalkınmayı hedeflediği belirtilmiştir (Mavi ve Mavi, 2019: 651).

Kirchherr vd. (2017)'ye göre DE'nin ikinci sırada yer alan en önemli amacı ise çevresel kalitedir (Kirchherr vd., 2017: 227). DE, doğal kaynakların kullanımını ve kirlenici emisyonları en aza indirirken optimum üretimi, üretim atıklarının geri dönüşümü yoluyla atık miktarını en aza indirirken de teknik olarak işe yaramaz atıkların geri dönüşümü ve bertarafı yoluyla kirliliği en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Wu vd., 2014: 164). DE'nin amacı, atık sahalarına atılan atıkları, birincil malzemelerin çıkarılmasını ve endüstriyel işlemenin çevresel etkisini azaltarak çevreye fayda sağlamak için ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmaktır (Fellner vd., 2017: 494; Neves ve Marques, 2022: 2). Ekins vd. (2019)'e göre DE'nin amacı, kıt doğal kaynakların tükenmesini yavaşlatmak, işlenmemiş malzemelerin çıkarılması ve işlenmesinden kaynaklanan çevresel zararı azaltmak ve malzemelerin işlenmesi, kullanımı ve kullanım ömrünün sona ermesinden kaynaklanan kirliliği azaltmaktır (Ekins vd., 2019: 17).

DE hedefleri, ekonomik büyüme, kaynak ve atık konularının yanı sıra enerji verimliliği ve tasarrufu, toprak yönetimi ve su kaynaklarının korunmasını da içermektedir (Su vd., 2013: 2s15-216). Esasen DE, üretim sürecine kaynak girdisinin azaltılması, aynı kaynakların birden fazla kullanımını farklı şekillerde uygulanması ve bir tesisten gelen atıkların diğerlerinde kaynak olarak yeniden kullanılması amaçlarıyla "kaynak kullanımının azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi" ilkelerini takip eden ekolojik bir ekonomidir (Zhijun ve Nailing, 2007: 95). DE sürdürülebilir kalkınma, düşük karbon salınımı ve doğayla birleşme gibi yaygın olarak kabul gören diğer kavramlarla bütünleşmekte ve sinerjik bir şekilde hareket etmektedir (Bonciu, 2014: 89). Bu nedenle de DE uygulandığında, ekonomik sistemler doğal sistemleri destekleyen malzeme, su ve enerji döngüsü ilkelerine göre çalışabilmektedir (Zhu vd., 2010: 1325). Bu ilkeler, temel malzemelerin ve enerjinin geri dönüşümünü gerektiren eko-sistemik kendi kendini idame ettirme özelliklerini, bir organizmanın atıklarının başka bir organizma tarafından kaynak olarak kullanılması ve kendi kendini organize etmek için kapasitelerinin geliştirilmesini içerir (Zhu vd., 2010: 1325). Dolayısıyla DE, üreticilerin ürünlerini en başından itibaren dayanıklılık, yeniden kullanılabilirlik ve çevreyle biyolojik uyumluluk gerekliliklerini yerine getirecek şekilde düşünmelerini ve tasarımlarını sağlar (Bonciu, 2014: 89).



Şekil 1. Döngüsel Ekonomi

Kaynak: Völker, Kovacic, ve Strand, 2020: 111.

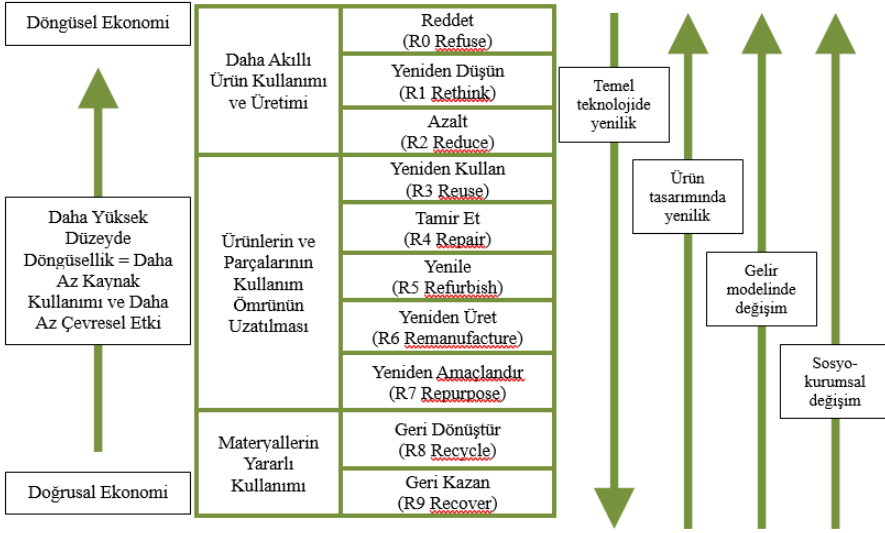
Vuşa vd. (2018)'e göre DE ile amaç, ürünün faydalı ömrünün sonunu uzatmaktır, böylece bir Őirketin atıkları veya ıktıları Şekil 1'de gösterilen süreçler aracılığıyla diğer üretim döngüleri için girdi haline gelmektedir (Vuşa vd., 2018: 249). Bu süreç, atıkların azaltılmasına ve üretim devresindeki ürün, hammadde veya kaynakların değerinin çoğunun daha uzun bir süre korunmasını sağlamaktadır (Vuşa vd., 2018: 249). Böylece daha az malzemenin atık haline gelmesi için malzemelerdeki değer ve bunlardan elde edilen toplam değer daha uzun süre korunacaktır (Ekins vd., 2019: 17). Bu da atığı, yeni bir kaynak olarak temsil etmektedir (Herrero-Luna vd., 2022: 69). Atığın bir kaynak olarak yeniden kavramsallaştırılması, mevcut tedarik zincirleri için yeni ve yenilikçi stratejilerin benimsenmesi anlamına gelmektedir (Perey vd., 2018: 632). Dolayısıyla sistemin tamamında uygulanan inovasyona dayanan DE, rn ve hizmetleri yeniden tanımlayarak sistemi atıksız bir tasarıma dönüştürmektedir (Shahsavani ve Goli, 2023: 6).

DÖNGÜSEL EKONOMİNİN PRENSİPLERİ

DE'ye yönelik yapılan ilk çalışmalarda, DE'nin temel prensipleri 3R terimleriyle ifade edilmiştir (Liu vd., 2017: 1315). 3R, Reduce (Azaltma), Reuse (Yeniden Kullanma) ve Recycle (Geri Dönüşüm) terimlerinin baş harfleriyle oluşturulmuştur. (Liu vd., 2017: 1315). Bu kavramlar aynı zamanda DE sisteminin tanımlanması için de kullanılmıştır (Yang, Zhou, ve Xu, 2014: 218). Zamanla DE zerine yapılan çalışmalarda, 3R yaklaşımının teknolojik perspektiften yoksun olduğu görüşü ortaya çıkmış ve Jawahir ve Bradley (2016) tarafından yapılan bir çalışmada 6R olarak ifade edilen unsurlar geliştirilmiştir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). 6R, DE'nin oluşturulmasını sağlayacak teknolojik unsurları sağlamak ve temel teşkil etmek üzere sürdürülebilir üretim prensiplerini sunmaktadır (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Bu prensipler; Reduce (Azaltma), Reuse (Yeniden Kullanım), Recycle (Geri Dönüşüm), Recover (Geri Kazanım), Redesign (Yeniden Tasarım) ve Remanufacture (Yeniden retim) olarak ifade edilmektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Daha sonra DE'yi konu alan çalışmalar bu prensipleri 9R'ye kadar genişletmişlerdir (Potting vd., 2017: 4). 9R yaklaşımı Şekil 2'de gösterilmektedir.

- **Refuse (Reddet):** rnn esas işlevinden vazgeçilmesi veya aynı işlevin tamamen farklı bir ürünle sunulmasıdır (Potting vd., 2017: 5).
- **Rethink (Yeniden Düşün):** rnn çok işlevli kullanım olanağı sunacak Şekilde piyasaya sürülmesini ve paylaşılabilmesini böylece kullanımının daha yoğun hale getirilmesini ifade etmektedir (Potting vd., 2017: 5).

- **Reduce (Azalt):** Esas olarak ürün yaşam döngüsünün ilk üç aşamasına odaklanmaktadır ve üretim öncesi kaynak kullanımının azaltılmasını, üretim sırasında enerji, malzeme ve diğer kaynakların kullanımının azaltılmasını ve kullanım aşamasında emisyon ve atıkların azaltılmasını ifade etmektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Başka bir ifadeyle üretim, dolaşım ve tüketim sürecinde kaynak tüketiminin ve atık/kirletici oluşumunun azaltılmasını ifade etmektedir (Yang vd., 2014: 218). Böylece daha az kaynak ve malzeme tüketerek üretimde veya kullanımda verimliliğin artırılmasını sağlamaktadır (Potting vd., 2017: 5).



Şekil 2. Döngüsel Ekonominin Prensipleri
Kaynak: Potting vd., 2017: 5.

- **Reuse (Yeniden Kullan):** Ömrünü tamamlamış bir ürünün iyi durumda ve orijinal işlevini yerine getirerek başka bir tüketici tarafından yeniden kullanılmasıdır (Potting vd., 2017: 5). Benzer bir ifadeyle ürünün bir bütün olarak veya bileşenlerinin ilk yaşam döngüsünden sonra, daha yeni ürünler ve bileşenler üretmek için işlenmemiş malzemelerin kullanımını azaltmak amacıyla sonraki yaşam döngüleri için yeniden kullanılmasını ifade etmektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Bu terim, atıkların doğrudan veya onarım, yenileme veya yeniden üretimden sonra ürün olarak yeniden kullanılmasını veya tamamen veya kısmen diğer ürünlerin parçaları olarak yeniden kullanılmasını içermektedir (Yang vd., 2014: 218).

- **Repair (Tamir Et):** Arızalı ürünün orijinal fonksiyonlarıyla tekrar kullanılabilmesi için tamir ve bakım işlemlerinin yapılmasıdır (Potting vd., 2017: 5).
- **Refurbish (Yenile):** Eski bir ürünün gerekli güncelleme işlemleriyle kullanılabilir duruma getirilmesini ifade etmektedir (Potting vd., 2017: 5).
- **Remanufacture (Yeniden Üret):** İşlevsellik kaybı olmadan mümkün olduğunca çok parçanın yeniden kullanılması yoluyla orijinal hallerine veya benzer yeni bir forma geri dönüştürmek için halihazırda kullanılmış ürünlerin yeniden işlenmesini içermektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Kısacası atılan bir ürünün parçalarının aynı işleve sahip yeni bir üründe kullanılmasıdır (Potting vd., 2017: 5).
- **Repurpose (Yeniden Amaçlandır):** Atılan bir ürünün parçalarının farklı işleve sahip yeni bir üründe kullanılmasını ifade etmektedir (Potting vd., 2017: 5).
- **Recycle (Geri Dönüşüm):** Atık geri kazanımından sonra doğrudan kullanım veya rejeneratif kullanım için atıkların hammadde olarak geri dönüştürülmesidir (Yang vd., 2014: 218). Başka bir ifadeyle atık olarak kabul edilecek malzemelerin yeni malzemelere veya ürünlere dönüştürülmesi sürecini içermektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Kısacası yeni malzemelerin üretiminde kullanılacak hammaddelerin üretilmesi için atıkların işlenmesidir (Potting vd., 2017: 5).
- **Recover (Geri Kazanım):** Kullanım aşamasının sonunda ürünlerin toplanması, ürünün sonraki yaşam döngülerinde kullanılmak üzere demonte edilmesi, ayrıştırılması ve temizlenmesi sürecidir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105). Bu süreç aynı zamanda malzemelerin enerji geri kazanımı için yakılmasını da içermektedir (Potting vd., 2017: 5).
- **Redesing (Yeniden Tasarım):** Önceki yaşam döngüsünden veya önceki nesil ürünlerden geri kazanılan bileşenleri, malzemeleri ve kaynakları kullanacak olan yeni nesil ürünlerin yeniden tasarlanmasını ifade etmektedir (Jawahir ve Bradley, 2016: 105).

Tüm bu R yaklaşımlarında amaç daha akıllı ürün kullanımının ve üretiminin yapılması, materyallerin yararlı kullanımının sağlanması ve ürünlerin ve parçalarının kullanım ömrünün uzatılmasıdır (Potting vd., 2017: 4). Bunlar döngüsellik seviyelerine göre öncelik sırasına konulabilmektedir (Şekil 2). Daha akıllı ürün üretimi ve kullanımı, örneğin ürün paylaşımı, genellikle ürünlerin kullanım ömrünün uzatılmasına tercih edilmektedir çünkü bu ürün aynı ürün işlevi için kullanılabilir veya bir ürün tarafından daha fazla kullanıcıya hizmet verilir (yüksek

döngüsellik stratejisi) (Potting vd., 2017: 5). Kullanım ömrünün uzatılması bir sonraki seçenektir ve bunu malzemelerin geri kazanım yoluyla geri dönüştürülmesi takip etmektedir. Enerjinin geri kazanıldığı yakma, döngüsel bir ekonomide en düşük önceliğe sahiptir. Çünkü bu, malzemelerin artık başka ürünlerde kullanılamayacağı anlamına gelir (düşük döngüsellik stratejisi) (Potting vd., 2017: 4). Bunların gerçekleştirilmesi sonucunda doğrusal ekonomiden DE'ye doğru daha yüksek düzeyde döngüsellik gerçekleşerek daha az kaynak kullanımı ve daha az çevresel zarar ortaya çıkacaktır (Potting vd., 2017: 5). Tüm bunlara ek olarak da doğrusal ekonomi yaklaşımından DE yaklaşımına doğru ürün tasarımında yenilik, gelir modelinde değişim ve sosyo-kurumsal değişim artacaktır (Potting vd., 2017: 5).

DÖNGÜSEL EKONOMİNİN FAYDALARI VE ÖNÜNDEKİ ENGELLER

Değer zincirinin bir noktasındaki atıkları başka bir noktada girdiye dönüştürerek endüstriyel döngüleri kapatan eko-endüstriyel girişimler, endüstriyel sistemlerin sürdürülebilirliği sorununa bir çözüm olarak giderek daha fazla ilgi çekmektedir (Mathews ve Tan, 2011: 435). Bu bağlamda DE ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları olumsuz etkileyen mevcut doğrusal üretim ve kaynak yönetimi modeline karşı sürdürülebilir bir çözüm olarak sunulmaktadır (Herrero-Luna vd., 2022: 65; Geissdoerfer vd., 2017: 766). Bununla birlikte DE, aynı anda gerçekleştirilmesi gereken ekonomik refah, çevresel kalite ve sosyal eşitlik olmak üzere üç amacı kapsayan kalkınma için yol gösterici bir ilke olarak görülmektedir (Kirchherr vd., 2017: 224). Dolayısıyla DE, bu boyutları içeren çok sayıda fayda sağlamaktadır. Örneğin DE, geleneksel “kaynaklar-ürünler-kirlilikler” modunu “kaynaklar-ürünler-yenilenmiş kaynaklar” moduna dönüştürerek, yani değer zincirinin bir noktasındaki atıkları başka bir noktada girdiye dönüştürerek, ekonomik sistemlerde kapalı bir kaynak ve enerji akışı döngüsü gerçekleştirmektedir (Zhao, 2018: 49). Özellikle, Vuşa vd. (2018) tarafından yapılan çalışma, döngüsel ilkelerle ilişkili önlemlerin kaynak verimliliği ve dolayısıyla ekonomik büyüme üzerinde doğrudan ve olumlu bir etkisi olduğunu kanıtlamaktadır (Vuşa vd., 2018: 258).

DE'de ekonomik ve çevresel faydalar, eş zamanlı olarak elde edilebilecek ayrılmaz bir parçadır (Rosa vd., 2020: 1673). An vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, yeşil uygulamaların enerji verimliliği ve daha yüksek ekonomik performans sağladığı bulunmuştur (An vd., 2021: 5267). Benzer şekilde Khan vd., (2021) tarafından yapılan çalışmada da döngüsel ekonomi uygulamalarının, yeşil büyüme ve verimli kaynak tüketiminin iyileştirilmesi yoluyla genel ekonomik performansı teşvik ettiği savunulmuştur (Khan vd.,s 2021: 4005). Bununla birlikte

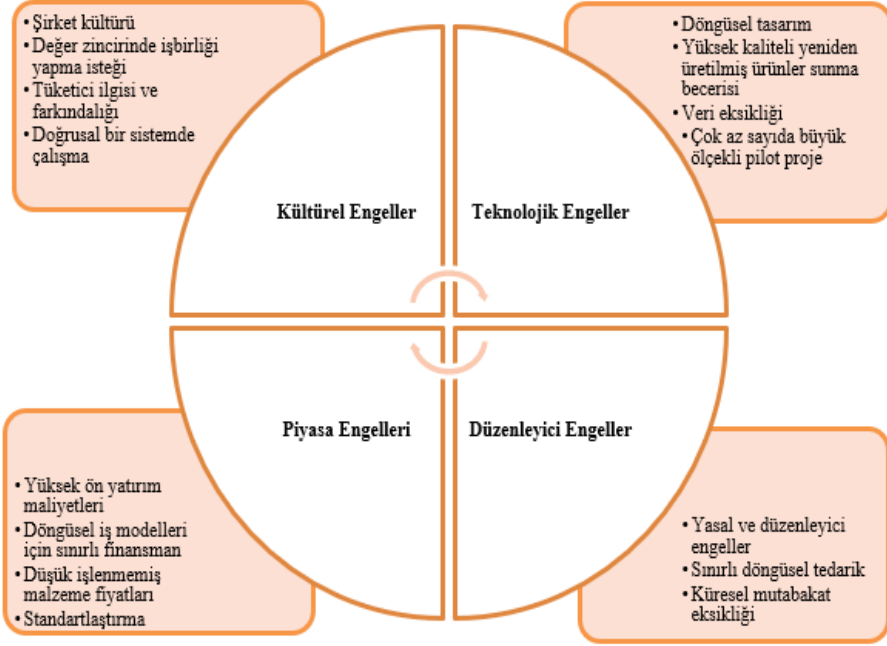
DE uygulamaları, müşterilerle ilişkileri geliştirerek ve çevresel etkiyi azaltarak, diğer ekonomik faydaların yanı sıra üretim maliyetlerinin düşürülmesini sağlamaktadır (Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022: 131).

DE'nin sosyal faydalar sağlayacağı çoğu araştırmacı tarafından (Zhijun ve Nailing, 2007; Geng vd., 2009; Ghisellini vd., 2016; Moraga vd., 2019; Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022; Neves ve Marques, 2022; Butt, Ali, ve Govindan, 2023; Shahsavani ve Goli, 2023) ifade edilmiştir. Örneğin Ghisellini vd., (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ortak tüketim anlayışı ile DE ilişkilendirilerek DE'nin sosyal faydası olarak araba paylaşımından, müzik, ders kitapları, moda ve sanata kadar farklı ürünlerin paylaşıldığı tüketim faaliyetleriyle sosyal uyumun teşvik edilerek tüketicinin yaşam tarzını değiştirdiği belirtilmiştir (Ghisellini vd., 2016: 23). DE uygulamaları, çevre koruması ile birlikte bilinçli tüketim yoluyla topluma sosyal ve ekonomik faydalar sağlayabilir (Sharma vd., 2023: 4). Ancak Kirchherr vd., (2017) tarafından yapılan araştırmada, DE tanımlarında sosyal faydanın ihmal edildiği ve dolayısıyla DE'nin sosyal faydalarının büyük ölçüde bilinmediği iddia edilmektedir (Kirchherr vd., 2017: 227).

DE düşünceleri ve uygulamaları, tüm işletmeler ve tüm endüstriler için sürdürülebilir sonuçlar elde etmek için çok önemlidir (Sharma vd., 2023: 4). Bu nedenle DE, dünya genelinde gelişmekte olan bir kavramdır (Patwa vd., 2021: 725). Ancak farklı ekonomilerdeki DE uygulamaları değişiklik göstermekte ve farklı zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Sharma vd., 2023: 4). Örneğin DE uygulamalarının benimsenmesinde yüksek başlangıç maliyeti, iş ortakları arasında işbirliği olmaması, tedarik zinciri karmaşıklığı, bir ürünün tasarımı ve üretimi ile ilgili yetersiz bilgi, beceri eksiklikleri ve uzun teslim süreleri gibi birçok zorluk bulunmaktadır (Farooque, Zhang, ve Liu, 2019: 681; Khan vd., 2021: 4003). Bununla birlikte, DE'ye geçiş aşamaları doğrusal ekonominin bazı özellikleriyle uyumsuzdur ve döngüsellik uygulanmasında çeşitli dış engellere ve zorluklara yol açmaktadır (Hopkinson vd., 2018: 72). Zwiers, Jaeger-Erben, ve Hofmann, (2020) döngüsel okuryazarlığı, yani sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için DE modellerini uygulamaya yönelik bilgiye dayalı beceriyi araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, sürdürülebilir bir üretim ve tüketim biçimi ve küresel siyasi ilişkilerin çeşitli zorluklarına ve belirsiz bir geleceğin sorunlarına bir çözüm olarak DE'nin dönüştürücü potansiyelini tam olarak kullanmak için belirli bir bilgi türüne ihtiyaç olduğunu savunmaktadır (Zwiers vd., 2020: 123). Kirchherr vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada ise DE önündeki engeller 4 ana başlık altında toplanmıştır (Kirchherr vd., 2017: 8). Bunlar Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3'te gösterilen kültürel engeller, DE konusunda farkındalığın ve/veya istekliliğin az olmasını; teknolojik engeller, DE'yi uygulamak için (kanıtlanmış) teknolojilerin eksikliğini; piyasa engelleri, DE iş modellerinin ekonomik

uygulanabilirliğinin olmamasını ve düzenleyici engeller ise DE'ye geçişi destekleyen politikaların eksikliğini ifade etmektedir (Kirchherr vd., 2017: 6). Diğer taraftan Herrero-Luna vd. (2022) DE'nin uygulanmasının önünde birçok zorluk ve engel olmasına rağmen, aynı zamanda üstesinden gelinebilecek ve aslında sınırlamalarını aşabilecek faydaları ve itici güçleri olduğunu savunmaktadır (Herrero-Luna vd., 2022: 73). Bu bağlamda, eko-inovasyonlar (EI) bu engellerin aşılması için çok önemlidir (Suchek vd., 2021: 3687). Prieto-Sandoval, Jaca, ve Ormazabal (2018), DE'yi geliştirmek için sekiz tür EI önermektedir: (1) iş modeli, (2) ağ, (3) organizasyon yapısı, (4) süreç, (5) ürün, (6) hizmet, (7) pazar ve (8) müşteri katılımı yenilikleri (Prieto-Sandoval vd., 2018: 612). Yazarlar, bu EI'lerin paradigmada DE'ye geçişi kolaylaştırdığını öne sürmektedir (Prieto-Sandoval vd., 2018: 612). Bununla birlikte de Jesus ve Mendonça (2018), çok boyutlu politikaları içeren sistematik inovasyonların CE'ye geçiş için en umut verici kolaylıklar sağladığını savunmaktadır (de Jesus ve Mendonça, 2018: 82).



Şekil 3. Döngüsel Ekonominin Önündeki Engeller

Kaynak: Kirchherr, vd. 2017: 8.

DÖNGÜSEL EKONOMİ VE LOJİSTİK

Çağdaş iş modellerinin sosyal, ekonomik ve çevresel hedefleri aynı anda içeren mal ve hizmetlerin üretim ve dağıtımını yeniden hayal etmesi gerekmektedir (Butt vd., 2023: 1). Bu amaçla DE, ürünlerin kullanım ömürlerinin bitiminden sonra eski haline getirilmesi için endüstriyel bir sistem haline gelmiştir ve aynı zamanda DE, yeni bir iş modelinin tasarlanmasına olanak tanıyan yeniden kullanılan ürünlere dayalı malzeme, ürün ve sistemlerin tasarımı ile birlikte tehlikeli atıkların ortadan kaldırılmasını desteklemektedir (Valenzuela vd., 2021: 1116). DE sisteminin etkinliği için kilit öneme sahip olan ise sanayinin üretim faaliyetinin bir parçası olan malzeme akışı ve şirketlerin endüstriyel sistemlerindeki ilgili enerji akışıdır (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 474).

DE ve endüstriyel ekolojinin ayrılmaz bir gerekliliği, şirketler arasında malzemelerin verimli bir şekilde akışını ve geri dönüşümünü sağlamaktır ve burada amaç, ürünlerin teslimatında yer alan şirketlerin üretim sistemlerindeki lojistik süreçleri düzene sokmak, üretim lojistiğini rasyonalize etmek ve DE sistemine katılan şirketlerin tedarik zincirlerini verimli bir şekilde yönetmektir (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 474). Bu nedenle DE'nin temelini, yeni lojistik yaklaşımların uygulanmasının gerekli olduğu kapalı döngü tedarik zincirleri oluşturmaktadır ve bu yaklaşımlardan biri Tersine Lojistik (TL) olarak belirtilmektedir (Makarova, Shubenkova, ve Pashkevich, 2018: 1). Başka bir ifadeyle DE, ileri lojistik (İL) ve TL'den oluşan çift yönlü çerçeveden destek almaktadır (Ding vd., 2023: 2). TL, DE'de kapalı döngü lojistik sistemini oluşturan İL'nin önemli bir karşılığı olarak kabul edilmektedir (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 472). TL, 1980'lerden bu yana perakende ve imalat sektöründe gelişen bir terimdir (Ding vd., 2023: 2). TL, Rogers ve Tibben-Lembke (2001) tarafından "hammaddelerin, süreç içi envanterin, mamul malların ve ilgili bilgilerin yeniden ele geçirilmesi veya değer yaratılması ya da uygun şekilde elden çıkarılması amacıyla tüketim noktasından çıkış noktasına verimli, uygun maliyetli akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi süreci" olarak tanımlanmıştır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001: 130). Bu doğrultuda Ding vd. (2023)'e göre İL ve TL kombinasyonu, atık akışlarını başlangıç noktasına geri yönlendirerek sistemden kaynak sızıntısını en aza indirme hedefinde DE ile uyumludur (Ding vd., 2023: 2). Benzer şekilde Butt vd. (2023)'de TL'nin DE'yi düzene soktuğunu ve döngüsel bir ekonomi inşa etmek için kritik bir kaldıraç olarak ortaya çıktığını ifade etmektedir (Butt vd., 2023: 1). Ayrıca DE'yi desteklemek ve atık üretimini azaltmak için işletmelerin çöpleri çevreye uygun bir şekilde bertaraf etmesi gerekmektedir (Wang vd.,

2019: 208). Bunun için etkin bir TL, en verimli yeniden kullanım, geri dönüşüm ve atık bertarafına yardımcı olmaktadır (Wang vd., 2019: 208). Bununla birlikte TL, atık ve israf sorunlarına bir çözüm olarak kullanılmış ürünlerin geri dönüştürülmesi sayesinde daha az atık oluşmasını sağlayacaktır (Merdivenci, Tekin, ve Toraman, 2023: 586). Sonuç olarak terk edilen ürün üreticiye iade edildiğinden, işlenir ve geri dönüştürülür, TL bu senaryoda hayati bir rol oynamaktadır (Butt vd., 2023: 3). Öte yandan (Zhang vd., (2021)'e göre DE, lojistiği ve tersine üretimi teşvik ederek istihdam yaratma ve çevre koruma gibi sosyal, çevresel ve ekonomik faydalar sağlamaktadır (Zhang vd., 2021: 6).

Üreticiler için kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin TL'i, DE uygulamalarının hayati bir parçası haline gelmiştir (Mallick vd., 2023: 327). DE uygulamaları için faaliyetlerini yeniden yapılandırmaya karar veren kuruluşlar çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar elde edebilmektedir (MahmoumGonbadi vd., 2021: 2). Örneğin bir ürünün geri kazanılması ve geri dönüştürülmesinin atıkları azaltmak için çok önemli olduğu iyi bilinmektedir ve verimli bir TL, ürün tasarım sürecinin başından üretim sürecinin sonuna kadar atıkları azaltabilmekte ve bu da bir marka için daha düşük bir karbon ayak izi ile sonuçlanabilmektedir (Butt vd., 2023: 3). Bununla birlikte TL ile geri kazanım sayesinde kıt kaynakların optimum seviyede kullanımı sağlanabilmektedir (Toraman, Merdivenci, ve Tekin, 2023: 398).

DE'nin temelini oluşturan diğer bir lojistik yaklaşımı Yeşil Lojistik (YL)'tir (Genovese vd., 2017: 345). YL, malların dağıtımının ekolojik ve enerji ayak izlerini azaltan, malzeme işleme, atık yönetimi, paketleme ve taşımaya odaklanan bir dizi tedarik zinciri yönetimi uygulaması ve stratejisi olarak tanımlanmaktadır (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 473). Bununla birlikte YL, sadece doğal kaynakların korunmasına hizmet etmemekte aynı zamanda doğal kaynaklar ile ürünler ve ürünler ile tüketiciler arasında bir köprü oluşturmaktadır (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 473). Bu nedenle YL, DE sistemindeki döngüyü kapatmak için bir araç olarak ifade edilmektedir ve DE kavramının önemli bir yönü, YL'nin geliştirilmesinde kullanılması mümkün olan maddenin ("yeşil madde") kapalı döngü dolaşımıdır (Seroka-Stolka ve Ociepa-Kubicka, 2019: 473). YL, DE uygulamalarını destekleyen bir organizasyonel unsur olarak görülmektedir (Liu vd., 2018: 795). Sh vd.arma vd., (2023) tarafından YL, DE'ye geçişte anahtar bir terim olarak nitelendirilmektedir (Sharma vd., 2023: 4). Çünkü hem YL hem de DE uygulamaları çevresel ve ekonomik sonuçları iyileştirmeyi hedeflemektedir (Liu vd., 2018: 795). Dolayısıyla da YL, DE ilkelerini entegre ederek çevresel faydalar sağlayabilir (Genovese vd., 2017: 355).

Ekolojik Lojistik (EL), DE'nin temelinde yer alan diğerk bir lojistik yaklaşımdır ve lojistik süreçlere, özellikle de toplama, depolama ve taşımaya yönelik bir lojistik alt sistem olarak kabul edilmektedir. (Seroka-Stolka ve Ociepa-bicka, 2019: 472). Dolayısıyla EL, şirketlerin faaliyetlerinin doğal çevre üzerindeki etkisinin azaltılmasıyla ilgilenmekte ve örneğin ambalajın yeniden kullanılmasını, nakliyeye bağılı enerji ve kirliliğın azaltılmasını ve ambalaj atıklarının geri dönüştürülmesini içermektedir (Michniewska, 2016: 29). Ekolojik faaliyetler, farklı atık türlerinin toplanması, depolanması, uzaklaştırılması ve geri dönüştürülmesi veya çevresel ve sosyal açıdan külfetsiz bir şekilde bertaraf edilmesi için en uygun çözümleri hedeflemektedir (Kaźmierczak, 2022: 29).

Sonuç olarak DE'nin temel yapı taşları olarak ifade edilen TL, YL, EL kavramları sürdürülebilirlik bakış açısıyla sürdürülebilir tedarik zinciri ve sürdürülebilir lojistikle önemli bağlantılara sahiptir (Theeraworawit, Suriyankietkaew, ve Hallinger, 2022: 2). DE perspektifinin entegrasyonu, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin ürün dönüşümüne ve tedarik zincirindeki ters döngülere daha fazla önem vermesi gerektiğı anlamına gelmektedir (Geissdoerfer vd., 2017: 759). Bunun için ise DE konsepti kapsamında atık ve kirliliğın ortadan kaldırılması, malzeme döngüselligi ve doğal yenilenmeyi amaçlayan Endüstri 4.0 teknolojileri, sürdürülebilirlik operasyonları ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin önemi vurgulanmaktadır (Nascimento vd., 2019: 608; Despeisse vd., 2017: 82).

DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMALARI

DE'nin mikro, mezo ve makro olmak üzere üç farklı uygulama düzeyi bulunmaktadır (Moraga vd., 2019: 454; Farooque vd., 2019: 679; Grafström ve Aasma, 2021: 2).

Mikro Uygulama Düzeyi

Tek bir ürün, şirket veya tüketiciye odaklanmaktadır (Moraga vd., 2019: 454; Ghisellini vd., 2016: 18). Literatürde genellikle 3R ilkeleri olarak ortaya çıkan firmaya özel girişimleri ifade etmektedir ve bunlar, dördüncü bölümde detaylı olarak anlatılan DE'nin prensipleri arasında yer alan azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm olarak belirtilmektedir (Grafström ve Aasma, 2021: 2). Mikro düzeydeki uygulama firmaların döngüselligi, üretim sistemlerine dahil etmelerini ve malzemeleri tedarik zincirleri boyunca döngüsel bir düzende taşımak için tedarik zinciri ortaklarıyla işbirliğı yapmalarını gerektirmektedir (Farooque vd., 2019: 679).

Ayrıca bu düzeyde, eko-tasarım ve temiz üretim hazırlayıcı DE uygulamaları olarak kabul edilmektedir (Ghisellini vd., 2016: 18).

Mikro uygulamalar arasında üretim sektörlerinde; eko tasarım ve temiz üretimin ortaya çıkışı, tüketim sektöründe; tüketicilerin sorumluluğu ve yeşil kamu alımları ve atık yönetiminde; kaynakların geri kazanımı ve çevresel etkilerin önlenmesi yer almaktadır (Ghisellini vd., 2016: 19-20; Liu vd., 2018. 796). Küresel olarak en çok benimsenen DE uygulaması olan temiz üretim, Çin'de 2002 yılından bu yana "Temiz Üretimi Teşvik Kanunu" kapsamında teşvik edilmektedir (Farooque vd., 2019: 679). Temiz üretimin benimsenmesi, üretilen atık miktarını ve bertaraf maliyetlerini azalttığı için şirketlere çevresel ve ekonomik faydalar sağlamaktadır (Ghisellini vd., 2016: 25). Çin Eko-Endüstriyel Parklar (EIP)'ında temiz üretim, bireysel şirketlerin CE'ye katılmaları için başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir (Ghisellini vd., 2016: 25). Bununla birlikte eko-tasarım, tasarımın ilk aşamalarından itibaren bir ürünün tüm çevresel etkilerini dikkate aldığından, malzeme ve kaynak kullanımının iyileştirilmesini destekleyerek döngüsel ekonomi yaklaşımını geliştirme potansiyeline sahiptir (Sherwin ve Evans, 2000: 112). Son olarak, CE'yi teşvik etmek ve çevresel sorunları ele almak için temiz üretimin etkinliği ve daha geniş çapta benimsenmesi kamu yetkililerinin çevresel performansların sürekli iyileştirilmesine yönelik olarak üreticilerin sorumluluğunun artmasını teşvik etme kapasitesine de bağlıdır (Ghisellini vd., 2016: 25). Tüketicilerin sorumluluğunun artması, bu erdemli döngünün daha da güçlenmesine katkıda bulunmaktadır (Ghisellini vd., 2016: 25). Bu bağlamda, AB Eco-Label (Çevre Etiket) örneğinde olduğu gibi kamu otoriteleri tarafından da desteklenen çevresel etiketleme, dünya çapında artmaktadır ve çevre etiketiyle işaretlenmiş ürünlerin yaygınlaşması ve Yeşil Kamu Alımları stratejilerinin artması oldukça umut verici hususlardır (Ghisellini vd., 2016: 25).

Mezo Uygulama Düzeyi

Bu düzey, bölgeler ve doğal çevre için faydalı ağların geliştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Ghisellini vd., 2016: 20; Moraga vd., 2019: 454). Mezo düzeyde veya diğer bir ifadeyle firmalar arası düzeyde, zincirler arası ve sektörler arası işbirliği ile ilgili girişimler bulunabilir (Grafström ve Aasma, 2021: 3). Örneğin işletmelerin kaynakları daha verimli kullanmak için işbirliği yaptığı ortak bir mülk olan EIP, mezo düzeyle bağlantılı DE faaliyetleridir (Grafström ve Aasma, 2021: 3). Başka bir ifadeyle mezo düzeydeki uygulama EIP'in, endüstriyel simbiyoz bölgelerinin ve ağlarının geliştirilmesidir ve böylece EIP'de endüstriler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olmak için kaynak alışverişi (malzeme, su, enerji ve yan ürünler) ve atık ve kirliliğin azaltılmasına yönelik işbirliğinin karmaşık bir etkileşimi olan

endüstriyel simbiyoz olarak adlandırılan sürece dahil olurlar (Ghisellini vd., 2016: 25). Bir EIP, kaynakları etkin ve verimli bir şekilde kullanarak sinerjik bir şekilde ortak ekonomik ve çevresel kazanımlar elde etmeyi amaçlayan bir işletmeler topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Liu vd., 2018: 796). Ghisellini vd. (2016)'ya göre EIP girişimleri Avrupa, Çin ve diğer ülkelerdeki EIP'lere ilişkin incelenen vaka çalışmalarında da gösterildiği üzere, endüstriyel alanlardaki çevresel performansları iyileştirme fırsatı sunmaktadır (Ghisellini vd., 2016: 25). EIP konsepti ilk olarak 1990'ların sonunda Çin'de tanıtılmıştır ve Çin, Ulusal Gösteri Eko-endüstriyel Parklar programı ve Ulusal Pilot Döngüsel Ekonomi Bölgeleri kapsamında, ulusal olarak onaylanmış çok sayıda EIP'ten oluşan dünyanın en büyük ulusal EIP ağını geliştirmiştir (Farooque vd., 2019: 679).

Makro Uygulama Düzeyi

Makro düzeydeki girişimler, hükümetler ve politika yapıcılar tarafından gerçekleştirilen uygulamaları ifade etmektedir (Grafström ve Aasma, 2021: 3). Makro düzeyde uygulama şehirlerde, illerde veya bölgelerde DE'nin geliştirilmesi için dört sistemin entegrasyonunu ve yeniden tasarlanmasını içermektedir; birincisi, endüstriyel sistem (şirketlerin büyüklüğünün küçükten büyüğe değiştirilmesi veya ağır kirletici işletmelerin yüksek teknoloji endüstrileri, turizm veya kültürle ilgili hafif ekonomik faaliyetler lehine aşamalı olarak kaldırılması); ikincisi, hizmet sağlayan altyapı sistemi (ulaşım ve iletişim sistemleri, su geri dönüşüm sistemleri, temiz enerji ve elektrik hatları, vb); üçüncüsü, kültürel çerçeve ve son olarak dördüncüsü, sosyal sistem (Ghisellini vd., 2016: 22). Kısacası makro uygulamalar endüstriyel sistemin, altyapının, kültürel çerçevenin ve sosyal sistemin entegrasyonu ve yeniden tasarlanmasını ayrıca il ve bölge düzeylerinde DE girişimlerinin desteklenmesini içerir (Farooque vd., 2019: 679). Bununla birlikte makro ölçek genellikle ulusal düzeyi içerecek şekilde sınırlandırılmaktadır (Moraga vd., 2019: 454). Ancak bazı yazarlar makro uygulamaların ülkelerin ötesine geçerek dünyayı da kapsadığını öne sürmektedir (Kirchherr vd., 2017: 223). Eko-kentler, işbirliğine dayalı tüketim modelleri ile yenilikçi atık yönetimi ve sıfır atık programları makro uygulamalar arasında yer almaktadır (Ghisellini vd., 2016: 22-23). Şehirler ve ülkeler arasındaki kapsamıyla bölgeler, Çin DE yasası için makro ölçek olarak kabul edilmektedir (Moraga vd., 2019: 454). Örneğin Çin'de Pekin, Şangay, Tianjin ve Dalian'da kaynak verimliliği, atık önleme ve emisyon azaltımı ile ilgili DE hedeflerine ulaşmayı amaçlayan makro düzeyde eko-kent pilot projeleri uygulanmıştır (Su vd., 2013: 217; Farooque vd., 2019: 679). Ulusal düzeyde atık yönetimi sektöründe, Hollanda örneği yüksek bir geri dönüşüm oranına ulaşmanın mümkün olduğunu gösterirken, aynı zamanda DE'ye doğru ilerlemenin, malzeme

döngüsünü kapatmanın ve düzenli depolama alanlarından kurtulmanın ne kadar zor olduğunu da kanıtlamaktadır (Ghisellini vd., 2016: 26). Bununla birlikte Japon ve Çin eko-kentlerinde, sıfır atık programlarında ve DE göstergelerinde (örneğin sıfır atık endeksi) olduğu gibi, DE boyutlarında ilginç gelişmeler göstermektedir (Ghisellini vd., 2016: 26). Tüketim tarafında, işbirliğine dayalı tüketim deneyimlerinin (örneğin araç paylaşımı) izlenmesi, tüketim kalıplarının kalitesinin çevreyi etkilediğini göstermektedir (Ghisellini vd., 2016: 26). Ayrıca Avrupa Komisyonu'nun 2014 yılında üstlendiği eylem planı olan AB Döngüsel Ekonomi Paketi makro uygulamalara bir örnektir (Grafström ve Aasma, 2021: 3).

DE'nin uygulanması Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya gibi gelişmiş ülkelerde etkili atık yönetimi, özellikle de entegre katı atık yönetimi yoluyla çevrenin daha fazla bozulmasını önlemede ve kıt kaynakları korumada büyük başarı elde etmiştir (Zhao, 2018: 49-50). Bununla birlikte DE uygulamalarının öncüsü olan ülkeler arasında, bu uygulamaları mikro düzeyden makro düzeye kadar çeşitli düzeylerde uygulayan Çin'in altı çizilmelidir (Neves ve Marques, 2022: 2). Çünkü Çin'deki DE uygulaması AB politikalarının yönünü etkilemiştir ve bu sayede Çin ile AB arasındaki ilk uluslararası DE işbirliği mutabakatı ortaya çıkmıştır (Neves ve Marques, 2022: 2). Türkiye'de ise DE süreci 2009 yılında çevre faslının açılışıyla başlamıştır (İnanç, 2022: 42). Ardından Near Zero Waste (NOW) Turkey programı (Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası, 2015-2020) ve sıfır atık yönetmeliği ve sıfır atık projesiyle (2017 – 2019) süreç devam etmiştir (İnanç, 2022: 42). DE uygulamalarının sürdürülebilirlik kapsamında ilerlemesi ise 2019'da başlamıştır ve 2021 yılından itibaren COVID-19 ve çevresel sorunlar nedeniyle AB tarafından Yeşil Mutabakat'ın zorunlu tutulmasıyla DE kavramı, hem ülke yönetimi hem de araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmeye başlamıştır (Balbay, Sarıhan, ve Avşar, 2021: 564). DE kavramının yaygınlaşmasıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca (ÇŞİDB), etkin kaynak ve atık yönetimi konusunda çalışmalar yapılmaktadır (ÇŞİDB, 2023). 2023 yılı itibarıyla Döngüsel Ekonomi Ulusal Eylem Planı'nın hazırlanmasıyla “geri dönüştürülmüş ikincil malzemelerin kullanımına yönelik teknik kriterlerin belirlenmesi” sağlanacaktır (ÇŞİDB, 2023). Türkiye'nin DE yol haritasını belirlemek, yukarıda bahsedilen çalışmaların yürütülmesini sağlamak ve AB Döngüsel Ekonomi Modeli çerçevesinde ülkemizin DE'ye geçiş kapasitesini güçlendirmek için “Türkiye'nin Döngüsel Ekonomiye Geçiş Potansiyelinin Değerlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi” 2022 yılında başlatılmıştır ve proje, Avrupa Birliği Katılım Öncesi Yardım Aracı (IPA)'nın II. Dönemi kapsamında Çevre ve İklim Eylemi Sektör Operasyonel Programı kapsamında desteklenmektedir (ÇŞİDB, 2023).

SONUÇ

Bu çalışma, son yıllarda oldukça ilgi odağı olmaya başlayan DE'nin anlaşılması için bir derleme niteliği taşımaktadır. Çalışmada DE'nin amaçları, prensipleri, faydaları, önündeki engeller, lojistikle ilişkisi, uygulama seviyeleri anlatılmış, dünyadan ve Türkiye'den örnekler verilmiştir.

DE kavramının açık ve net olarak tanımlanması 1990'lara uzanmasına rağmen DE, farklı tanımlamaları bulunan ve farklı anlamları bünyesinde barındıran şemsiye bir kavramdır. DE'nin amacı ekonomik, çevresel ve sosyal alanda aynı zamanda üretim, dağıtım ve tüketimin tüm aşamasında sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle entegre bir sistem oluşturmaktır. Bunu yaparken de 9R olarak nitelendirilen prensipleriyle, malzemenin kapalı döngü hareketini kontrol etmeyi amaçlamaktadır.

DE, üreticilerin ve tüketicilerin doğrusal ekonominin pasif "al-yap-at" kültürünü unutarak ürünlerin geri dönüşümünde veya yeniden kullanımında daha aktif katılımcılar olmalarını gerektirmektedir (Ghisellini vd., 2016: 27). Olumsuz ekonomik, çevresel ve sosyal sonuçları olan kaynakların üretimi ve yönetiminin doğrusal modeli yerine, sürdürülebilir bir çözüm olarak DE uygulanmaları ile iklim hedefleri ve çevresel kaynakların korunması konusunda işbirliği, daha fazla zenginlik yaratılması ve rekabet avantajı elde edilmesi mümkün olacaktır (Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022: 130). Ancak geri dönüşümdeki sınırlar göz önüne alındığında, DE'nin niceliksel ekonomik büyümeyi sonsuza kadar sürdürmesinin pek mümkün olmadığı göz ardı edilmemeli ve DE, refahın kaynak tüketiminden ayrıldığı yeni ve farklı bir iş modeline geçiş olarak görülmelidir (Ghisellini vd., 2016: 27). Dolayısıyla malzeme geri kazanımı küresel bir hedef olarak kabul edilse bile kültürel, teknolojik, piyasa ve düzenleyici engellerin aşılması gerekmektedir; örneğin şirketlerin iş modellerini DE ilkelerine uygun olarak tasarımları gerekmektedir (Gil-Lamata ve Latorre-Martínez, 2022: 130).

DE'nin temelini TL, YL ve EL yeni lojistik yaklaşımların uygulanmasının gerekli olduğu kapalı döngü tedarik zincirleri oluşturmaktadır (Makarova, Shubenkova, ve Pashkevich, 2018: 1). Bu yaklaşımlarla doğrusal tedarik zincirini, döngüsel tedarik zincirine dönüştürmek için uygulamalar yapılmakta ancak bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksiklikler, üretim ve tüketim kaynaklı olarak tüm insanlığı ilgilendirmektedir. Örneğin endüstri 4.0 teknolojileri, karbon emisyonunu azaltarak, yeniden üretim sürecini geliştirerek ve ayrıca lojistik sürecini optimize ederek DE tabanlı tedarik zincirine ulaşma amacına hizmet edebilir (Rajput ve Singh, 2019: 98). Dolayısıyla sürdürülebilirlik, DE ve Endüstri 4.0'ın entegrasyonu ile sağlanabilir.

Sonuç olarak DE'nin tüm uygulama düzeylerinde; mikro düzeyde (ürünler, şirketler, tüketiciler), mezo düzeyde (eko-endüstriyel parklar) ve makro düzeyde (şehir, bölge, ulus ve ötesi) sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek ve böylece aynı anda mevcut ve gelecek nesillerin yararına çevre kalitesi, ekonomik refah ve sosyal eşitlik yaratmak amacıyla faaliyet göstermektedir (Saidani vd., 2019: 545). Makro düzeydeki girişimler hem mikro hem de mezo düzeyleri etkileyebileceğinden ve mikro düzeydeki girişimler mezo düzeydeki işbirlikleri için önem taşıyabileceğinden, farklı uygulama düzeyleri birbirine bağlı ve ilişkilidir (Grafström ve Aasma, 2021: 3).

REFERANSLAR

- An, H., Razzaq, A., Haseeb, M., ve Mihardjo, L. W. W. (2021). The role of technology innovation and people's connectivity in testing environmental Kuznets curve and pollution heaven hypotheses across the Belt and Road host countries: new evidence from Method of Moments Quantile Regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5254–5270. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10775-3>
- ÇŞİDB (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı) (2023). Döngüsel ekonomi politikaları. <https://dongusel.csb.gov.tr/hakinda-i-105778> adresinden 30 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Balbay, Ş., Sarihan, A., ve Avşar, E. (2021). Dünyada ve Türkiye’de “döngüsel ekonomi / endüstriyel sürdürülebilirlik” yaklaşımı. *European Journal of Science and Technology*, (27), 557–569. <https://doi.org/10.31590/ejosat.971172>
- Bonciu, F. (2014). The European economy: From a linear to a circular economy. *Romanian Journal of European Affairs*, 14(4), 78–91.
- Butt, A. S., Ali, I., ve Govindan, K. (2023). The role of reverse logistics in a circular economy for achieving sustainable development goals: a multiple case study of retail firms. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2197851>
- de Jesus, A., ve Mendonça, S. (2018). Lost in transition? drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. *Ecological Economics*, 145(December 2016), 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A., Knowles, S., Minshall, T.H.W., Mortara, L., Reed-Tsochas, F.P., Rowley, J., Rowley, J. (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.021>
- Ding, L., Wang, T., ve Chan, P. W. (2023). Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 388(December 2022), 2-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135981>
- Ekins, P., Domenech, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N., ve Lotti, L. (2019). The circular economy: what, why, how and where. *Managing environmental and energy transitions for regions and cities. Managing environmental and energy transitions for regions and cities*, 1–89.

<https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf> adresinden 24 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.

- Farooque, M., Zhang, A., ve Liu, Y. (2019). Barriers to circular food supply chains in China. *Supply Chain Management*, 24(5), 677–696. <https://doi.org/10.1108/SCM-10-2018-0345>
- Fellner, J., Lederer, J., Scharff, C., ve Laner, D. (2017). Present potentials and limitations of a circular economy with respect to primary raw material demand. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 494–496. <https://doi.org/10.1111/jiec.12582>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., ve Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y., Zhang, P., Côté, R. P., ve Fujita, T. (2009). Assessment of the national eco-industrial park standard for promoting industrial symbiosis in China. *Journal of Industrial Ecology*, 13(1), 15–26. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00071.x>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., ve Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega (United Kingdom)*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Ghisellini, P., Cialani, C., ve Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Gil-Lamata, M., ve Latorre-Martínez, M. P. (2022). The circular economy and sustainability: A systematic literature review. *Cuadernos de Gestion*, 22(1), 129–142. <https://doi.org/10.5295/CDG.211492MG>
- Grafström, J., ve Aasma, S. (2021). Breaking circular economy barriers. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126002>
- Herrero-Luna, S., Ferrer-Serrano, M., ve Latorre-Martínez, M. P. (2022). Circular economy and innovation: a Systematic literature review. *Central European Business Review*, 11(1), 65–84. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.275>
- Hopkinson, P., Zils, M., Hawkins, P., ve Roper, S. (2018). Managing a complex global circular economy business model: Opportunities and challenges. *California Management Review*, 60(3), 71–94. <https://doi.org/10.1177/0008125618764692>

- İnanç, Z. (2022). Döngüsel ekonomi. https://www.oaib.org.tr/files/downloads/OA%C4%B0B_d%C3%B6ng%C3%BCsel-ekonomi_24.05.2022.pdf adresinden 28 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- Jawahir, I. S., ve Bradley, R. (2016). Technological elements of circular economy and the principles of 6r-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 40, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>
- Kaźmierczak, M. (2022). Ekologistyka a rozwój opakowań w łańcuchu dostaw (cz. 1). *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 2022(01), 21–35. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2022.1.3>
- Khan, S. A. R., Razzaq, A., Yu, Z., ve Miller, S. (2021). Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4001–4014. <https://doi.org/10.1002/bse.2853>
- Kirchherr, J., Hekkert, M., Bour, R., Huibrechtse-Truijens, A., Kostense-Smit, E., ve Muller, J. (2017). Breaking the barriers to the circular economy. *Deloitte*, (October), 1–13. https://www.uu.nl/sites/default/files/breaking_the_barriers_to_the_circular_economy_white_paper_web.pdf adresinden 17 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- Kirchherr, J., Reike, D., ve Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(April), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kledyński, Z., Bogdan, A., Jackiewicz-Rek, W., Lelicińskaserafin, K., MacHowska, A., Manczarski, P., Masłowska, D., Rolewicz-Kalińska, A., Rucińska, J., Szczygielski, T., Walczak, J., Wojtkowska, M., ve Zubrowska-Sudol, M. (2020). Condition of circular economy in Poland. *Archives of Civil Engineering*, 66(3), 37–80. <https://doi.org/10.24425/ace.2020.131820>
- Liu, J., Feng, Y., Zhu, Q., ve Sarkis, J. (2018). Green supply chain management and the circular economy: Reviewing theory for advancement of both fields. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 48(8), 794–817. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0049>
- Liu, L., Liang, Y., Song, Q., ve Li, J. (2017). A review of waste prevention through 3R under the concept of circular economy in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(4), 1314–1323.

<https://doi.org/10.1007/s10163-017-0606-4>

- MacArthur, F. E. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation (EMF).
- MahmoumGonbadi, A., Genovese, A., ve Sgalambro, A. (2021). Closed-loop supply chain design for the transition towards a circular economy: A systematic literature review of methods, applications and current gaps. *Journal of Cleaner Production*, 323(September), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129101>
- Makarova, I., Shubenkova, K., ve Pashkevich, A. (2018). The concept of the decision support system to plan the reverse logistics in automotive industry. *2018 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, SoftCOM 2018'de Sunulmuş Bildiri*. <https://doi.org/10.23919/SOFTCOM.2018.8555760>
- Mallick, P. K., Salling, K. B., Pigosso, D. C. A., ve McAloone, T. C. (2023). Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review. *Journal of Environmental Management*, 328(December 2022), 117017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117017>
- Mavi, N. K., ve Mavi, R. K. (2019). Energy and environmental efficiency of OECD countries in the context of the circular economy: Common weight analysis for malmquist productivity index. *Journal of environmental management*, 247, 651-661.
- Mathews, J. A., ve Tan, H. (2011). Progress toward a circular economy in China: The drivers (and inhibitors) of eco-industrial initiative. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 435–457. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00332.x>
- Merdivenci, F., Tekin, M., ve Toraman, Y. (2023). Reverse logistics practices in humanitarian supply chain management : A content analysis. *Journal of Economics and Administrative Sciences*, 24(4), 583–594. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.1249842>
- Michniewska, K. (2006). Nowe trendy w logistyce: logistyka odzysku, a ekologiczność. *Logistyka*, 1, 29-30.
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., ve Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146(November 2018), 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., ve Tortorella, G. (2019). Exploring

- Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Neves, S. A., ve Marques, A. C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341(April 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>
- Önder, H. (2018). Sürdürülebilir kalkınma anlayışında yeni bir kavram: Döngüsel ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (57), 196–204.
- Patwa, N., Sivarajah, U., Seetharaman, A., Sarkar, S., Maiti, K., ve Hingorani, K. (2021). Towards a circular economy: An emerging economies context. *Journal of Business Research*, 122(September 2019), 725–735. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.015>
- Perey, R., Benn, S., Agarwal, R., ve Edwards, M. (2018). The place of waste: Changing business value for the circular economy. *Business Strategy and the Environment*, 27(5), 631–642. <https://doi.org/10.1002/bse.2068>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., ve Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: Measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, (2544), 42.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., ve Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- Rajput, S., ve Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98–113.
- Ridley, S. J., Ijomah, W. L., ve Corney, J. R. (2019). Improving the efficiency of remanufacture through enhanced pre-processing inspection—a comprehensive study of over 2000 engines at Caterpillar remanufacturing, U.K. *Production Planning and Control*, 30(4), 259–270. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1471750>
- Rogers, D. S., ve Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129–148. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., ve Terzi, S. (2020). Assessing relations between circular economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662–1687. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>

- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., ve Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542–559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>
- Sauvé, S., Bernard, S., ve Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- Seroka-Stolka, O., ve Ociepa-Kubicka, A. (2019). Green logistics and circular economy. *Transportation Research Procedia*, 39(2018), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.049>
- Shahsavani, I., ve Goli, A. (2023). *A systematic literature review of circular supply chain network design: application of optimization models. Environment, Development and Sustainability*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03362-2>
- Sharma, M., Luthra, S., Joshi, S., Kumar, A., ve Jain, A. (2023). Green logistics driven circular practices adoption in industry 4.0 Era: A moderating effect of institution pressure and supply chain flexibility. *Journal of Cleaner Production*, 383(October 2022), 135284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135284>
- Sherwin, C., ve Evans, S. (2000). Ecodesign innovation: is ‘early’ always ‘best’?, *In Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment’de Sunulmuş Bildiri*.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., ve Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M., ve Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3686–3702. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Taddei, E., Sassanelli, C., Rosa, P., ve Terzi, S. (2022). Circular supply chains in the era of industry 4.0: A systematic literature review. *Computers and Industrial Engineering*, 170, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108268>
- Theeraworawit, M., Suriyankietkaew, S., ve Hallinger, P. (2022). Sustainable supply chain management in a circular economy: A bibliometric review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159304>
- Toraman, Y., Merdivenci, F., ve Tekin, M. (2023). Türkiye’de afet lojistiğinde tekrar kullanılabilir yardım malzemelerinin geri kazanım faaliyetleri

- üzerine bir araştırma: Tersine Lojistik süreçlerinin Kızılay özelinde incelenmesi. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(2), 391–400. <https://doi.org/10.35341/afet.1221711>
- Valenzuela, J., Alfaro, M., Fuertes, G., Vargas, M., ve Sáez-Navarrete, C. (2021). Reverse logistics models for the collection of plastic waste: A literature review. *Waste Management and Research*, 39(9), 1116–1134. <https://doi.org/10.1177/0734242X211003948>
- Veral, E. S. (2021). Döngüsel ekonomi engeller, stratejiler ve iş modelleri, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7–18.
- Völker, T., Kovacic, Z., ve Strand, R. (2020). Indicator development as a site of collective imagination? The case of European Commission policies on the circular economy. *Culture and Organization*, 26(2), 103–120. <https://doi.org/10.1080/14759551.2019.1699092>
- Vuță, M., Vuță, M., Enciu, A., ve Cioaca, S. I. (2018). Assessment of the circular economy's impact in the EU economic growth. *Amfiteatru Economic*, 20(48), 248–261. <https://doi.org/10.24818/EA/2018/48/248>
- Wang, H., Jiang, Z., Zhang, H., Wang, Y., Yang, Y., ve Li, Y. (2019). An integrated MCDM approach considering demands-matching for reverse logistics. *Journal of Cleaner Production*, 208, 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.131>
- WB (World Bank) (2018). Global Waste to Grow by 70 Percent by 2050 Unless Urgent Action is Taken: World Bank Report. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report> adresinden 24 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
- Wu, H. Q., Shi, Y., Xia, Q., ve Zhu, W. D. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.003>
- Yang, Q. Z., Zhou, J., ve Xu, K. (2014). A 3R implementation framework to enable circular consumption in community. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(2), 217–222. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2014.v5.481>
- Zhang, A., Wang, J. X., Farooque, M., Wang, Y., ve Choi, T. M. (2021). Multi-dimensional circular supply chain management: A comparative review of the state-of-the-art practices and research. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 155(October), 102509. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102509>
- Zhao, X. (2018). China's policies for promoting the circular economy: Past-

- decade experiences, future plans and success stories. *Unmaking Waste in Production and Consumption: Towards The Circular Economy*, 49–66.
<https://doi.org/10.1108/978-1-78714-619-820181006>
- Zhijun, F., ve Nailong, Y. (2007). Putting a circular economy into practice in China. *Sustainability Science*, 2(1), 95–101.
<https://doi.org/10.1007/s11625-006-0018-1>
- Zhu, Q., Geng, Y., ve Lai, K.H. (2010). Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1324–1331.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.013>
- Zwiers, J., Jaeger-Erben, M., ve Hofmann, F. (2020). Circular literacy. A knowledge-based approach to the circular economy. *Culture and Organization*, 26(2), 121–141.
<https://doi.org/10.1080/14759551.2019.1709065>

5. Bölüm

Lojistikte Yeni Teknoloji Kullanımı: Elektrikli Araçlar Üzerine Bir Çalışma

Öğr. Gör. Yavuz TORAMAN¹

¹ Öğr. Gör.; İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Dış Ticaret Programı
yavuz.toraman@nisantasi.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5196-1499

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler hızla insan hayatına girmekte ve birçok alanda kolaylık sağlamaktadır. Sanayi devrimiyle gerçekleştirilen teknolojik gelişmeler hali hazırda gelişimini sürdürmektedir. Ortaya çıkarılan her teknoloji kişilerin, belirli grupların, toplumların veya özel sektörün kullanımına sunulmaktadır. Örneğin, lojistik alından bireylere ve toplumlara hem ulaşım hem de ulaştırma süreçlerinde farklı avantajlar sağlamıştır. Hayvanların evcilleştirilmesi ve kullanımıyla başlayan lojistik ve ulaştırma süreci insan ve doğa olaylarının yardımıyla evrim geçirmiştir. Yelkenli ve kürekli tekneler söz konusu evrime gösterilen en önemli örneklerdendir. Ardından buhar gücüyle çalışan makinaların kullanımıyla başta denizyolu olmak üzere demiryolu içten yanmalı motorlarla ise karayolu ulaşımında büyük bir devrim yaşanmıştır. Ulaştırma ve lojistik alanında önemli yol kat edilmiştir. Fakat bu süreç CO2 salınımı hava kirliliğine neden olmuştur. Bu bağlamda devletler sürdürülebilir bir büyüme için emisyon hacimlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Örneğin, Avrupa Birliği (AB) 2050 yılına kadar sıfır emisyonu hedeflemektedir. Bu kapsamda elektrikli araçların üretimi teşvik edilmektedir (Anosike vd., 2023; Merdivenci vd., 2023; Ticaret Bakanlığı, 2023).

Türkiye’de ise içten yanmalı motorlu araçlara göre elektrikli araçlardan daha az vergi alınmaktadır. Ayrıca Türkiye’de elektrikli araç üretimi yapan firmalar Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) iadesinden faydalanabilmektedir. Bunun için ise firmaların yatırım teşvik belgelerini almalarının ardından Türkiye’deki elektrikli araç üretimlerini minimum 5 milyon Türk Lirası yatırım ile gerçekleştirmesi gerekmektedir. (Resmi Gazete, (2023).

Elektrikli araçlar şehir içi ulaşımında kullanılabildiği gibi lojistik operasyonlarda da kullanılmaktadır. Geline son süreçte şehir içi ulaşımında metro, tramvay, elektrikli otobüs, elektrikli binek araçlar, elektrikli motosikletler ve scooterler hali hazırda kullanılmaktadır. İlerleyen süreçte ise elektrikli otonom araçların şehir içi ulaşımında kullanılması beklenmektedir. Çin’de elektrikli otonom taksi denemelerinin yapıldığı bilinmektedir. Lojistik süreçlerde ise Elektrikli motosiklet, elektrikli taşıyıcılar, scooterler, otonom araçlar, elektrikli bisikletler kullanılmaktadır. Şehir içi ulaşım ve lojistik süreçlerde kullanılan araçlar çalışma prensibi olarak birbirine benzese de yolcu ve taşıma kapasiteleri birbirinden farklıdır (Sendek-Matysiak et al., 2022; Hao vd.,2023; Alnıpak ve Toraman 2023).

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN LOJİSTİK FAALİYETLERDE KULLANIMI

Sanayi devrimiyle birlikte teknolojik yenilikler insanların kullanımına sunulmuştur. Söz konusu yeniliklerden birisi de motor teknolojisidir. Önceleri fosil yakıt ve buhar gücü kullanılarak elde edilen güç daha sonra içten yanmalı motorların icadı ile farklı bir noktaya ulaşmıştır. Bu aşamadan sonra ise petrol önemli bir kaynak olarak görülmüştür. Petrol, tüm enerji tüketiminin 1/3'ünü fosil yakıtlarda ise %80'ininde fazlasını oluşturmaktadır. Petrol rezervlerinin miktarı ve sürdürülebilirliği tartışma konusudur. Hem yeterli rezervin olmaması hem de daha çevreci bir tutum açısından elektrikli araçların kullanımı oldukça önemlidir (Özbay et al., 2020). İnsanların sürdürülebilir bir gelecek için fosil yakıtlar yerine alternatif enerji kaynaklarını tercih ettiği görülmüştür. Ayrıca çevresel hassasiyetleri olan bireylerin elektrikli taşıtları tercih ettiği bilinmektedir (Alnıpak ve Toraman 2023). Bu bağlamda elektrikli araç kullanımı müşteri odaklı bir yaklaşımı benimseyen işletmeler için gereklilik haline gelmiştir. Hem tüketici tutumlarına uygun hareket edebilmek için hem de daha uygun maliyetlerle taşıma faaliyetlerini gerçekleştirmek için elektrikli araç kullanımı tercih edilmektedir. Lojistik faaliyetlerde kullanılan araçlar genel itibarıyla yüksek tonajda olması, elektrikli araçların yüksek güç üretememesi vb. gibi durumlar nedeniyle aktif kullanımları oldukça sınırlıdır. Gelenen süreçte yoğunlukla küçük paket veya evrak taşınmaktadır. Bunun yanı sıra hızlı tüketim mallarının elektronik ticaretinin artmasıyla görece küçük elektrikli kamyonetler sürece dahil olmuştur. Bu süreç Son Adım (Kilometre) Teslimat olarak adlandırılmaktadır. Son kilometre teslimat, ürünlerin perakende noktası, depo veya üretim noktasından direkt olarak nihai kullanım noktasındaki tüketiciye gönderilmesi sürecini kapsamaktadır. Diğer bir deyişle alıcının herhangi bir aracı olmaksızın direkt tüketici olduğu durumlardır (Boysen vd., 2021).

Elektrikli araçlar Türkiye'de sınırlı bir alanda sınırlı kapasite ile kullanılmaktadır. Fakat gün geçtikçe gelişen elektrikli araç teknolojisi özellikle şehir içi lojistik süreçlerde kullanılmaktadır. İlerleyen süreçte elektrikli araç kullanımı alt yapılar geliştikçe artacaktır. Hali hazırda elektrikli araçların şarj istasyonu, servis bakımı ve onarımı gibi etkenlerin yaygınlaşması gerekmektedir.

İlk bölümde lojistik süreçlerde kullanılan elektrikli araçlar incelenmiştir. Sırasıyla elektrikli araba, elektrikli kamyonet, elektrikli motosikletlerin, elektrikli bisiklet ve elektrikli scooterler ele alınmıştır.

Elektrikli Araçlar

Gelişen teknolojiyle birlikte insan hayatına pek çok yenilik girmiştir. Fakat bu yeniliklerin geçen sürede olumlu yanları kadar olumsuz yanları da bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlar hava kirliliğine neden olarak çevreye olumsuz bir etkiye bulunmaktadır. Karbon salınım miktarını artırmaktadır. Bu durum önlem alınmaz ise gelecekte çevre kirliliğinin artarak devam edeceğini göstermektedir. Bu bağlamda işletmeler sürdürülebilirlik açısından çeşitli faaliyetlerde bulunmaktadır. Lojistik firmaları bünyesindeki araçların dönüşümü için girişimlerde bulunmaktadır (Juan vd., 2016). Türkiye’de de bu konu da faaliyetlerini sürdürmektedir. Sonraki bölümlerde lojistiğin son adımı olarak nitelendirilen teslimat süreçlerinde kullanılan elektrikli araçlar incelenmiştir.

Elektrikli Arabaların Kullanımı

Elektrikli araçlar gelişim itibariyle ilk olarak binek araç olarak kullanıma sunulmuştur. Bu durumun temel nedeni ise daha az fosil yakıt kullanımıyla hava kirliliğine engel olmak ve daha düşük enerji maliyetleriyle taşıma operasyonları gerçekleştirmektir. Fakat süreç içerisinde binek elektrikli araçların teslimat süreçlerinde kullanılması düşünülmüş ve hayata geçirilmiştir. Bunun en başarılı örneklerini Posta Telgraf Teşkilatı (PTT) ve Yurtiçi Kargo’nun teslimat faaliyetlerinde görmek mümkündür (Koç ve Uysal 2017; Erturgut ve Ustalı 2021; TRT Haber, 2023; Li vd., 2020). PTT’nin dağıtımda kullandığı elektrikli araç Şekil 1’de ve Yurtiçi Kargo’nun kullanıldığı elektrikli araçlar şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Araba-1

Kaynak: TRT Haber, 2023.

Filolar araçlarını yenileme süreçlerinde elektrikli araçlara da yer ayırmaya başlamıştır. Teslimatlarda yeni teknolojilerin kullanımı gerçekleştiren PTT deneme aşamasından sonra daha fazla elektrikli aracı bünyesine katarak filosunu genişletmiştir.



Şekil 2. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Araba-2

Kaynak: Toraman, 2022.

Elektrikli araçların performansı içten yanmalı motorlara göre daha düşüktür. Gelecekte elektrikli araç teknolojisi geliştikçe performans ile ilgili süreçler de optimize edilecektir. Türkiye’de hali hazırda kullanımda olan elektrikli araçlar hafif ve enerji tasarrufu felsefesiyle tasarlanmıştır. Bu durum enerji tasarrufu sağlarken taşınacak yük miktarını azaltmaktadır. Gün geçtikçe ilgili teknolojinin üretimi ve kullanım alanı artacaktır. Teknoloji kullanımının tabana yayılması bakım ve onarım faaliyetlerinin de yaygınlaşmasını sağlayarak elektrikli araç ekosistemi gelişimini sürdürecektir (Melo vd., 2014).

Elektrikli Kamyonetlerin Kullanımı

Elektrikli arabaların bireysel kullanım için üretilmiş olması nedeniyle lojistik faaliyetlerde kullanımını sınırlı kalmıştır. Bunun en önemli nedeni yük taşıma miktarının az olmasıdır. Fakat geçen süreç içerisinde bireysel kullanımın yanında Şekil 1’de ve Şekil 2’de gösterilen elektrikli kamyonetler kullanıma sunulmuştur (Toraman, 2022).



Şekil 3. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Kamyonet-1
Kaynak: Toraman, 2022.

Elektrikli kamyonetlerin içten yanmalı motorlu taşıtlara göre daha az güce sahip olması nedeniyle aracın yük taşıma kısmının hacmi de görece küçük kalmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2’de görüleceği üzere sınırlı miktarda kargonun teslimatı gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda elektrikli araçların kullanımı belirli bir menzil dahilinde gerçekleştirildiği için dağıtım faaliyetlerinde çok uzun süre bulunamamaktadırlar (Toraman, 2022; Juvvala ve Sarmah 2021).



Şekil 4. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Kamyonet-2
Kaynak: AA, 2023a.

Elektrikli kamyonet ve araç kullanımıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Elektrikli araçlarla yapılan kargo süreçlerinde konunun uzmanları 7 kat enerji tasarrufu sağlandığını belirtmiştir. Bu bağlamda lojistik faaliyetlerde elektrik

kamyonet kullanımını artıran yakıt maliyetlerinin azaltılması başvurulacak yöntemlerden birisi olarak görülebilir. Elektrikli kamyonetlerin taşıyabilecekleri yük miktarının artması sektördeki aktif kullanımı direkt etkileyecektir (Juvvala ve Sarmah 2021; TRT Haber, 2023).

Elektrikli Motosikletlerin-Bisiklet Kullanımı

Elektrikli araçların alt bir unsuru olan elektrikli motosiklet ve bisikletler kullanım kolaylığı, uygun üretim maliyeti ve düşük yakıt tüketimi ile gelecekte tercih edilmesi muhtemel teknolojilerden birisidir. Elektrikli bisikletler de diğer elektrikli araçlar gibi ilk aşamada kişisel kullanıma yönelik üretilmiş olsa da geçen süreçte ticari amaçla kullanılmıştır (Nocerino vd., 2016).



Şekil 5. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Bisiklet

Kaynak: Webrazzi, 2023.

Motosiklet veya bisikletlerin sahip oldukları taşıma yetenekleriyle son adım lojistik faaliyetlere önemli bir katkı sunmaktadır. Şehir içi trafiğin yoğun olduğu bölgelerde bisiklet veya motosiklet gibi 2 veya 3 tekerli taşıtlar oldukça kullanışlıdır. Ayrıca fosil yakıt kullanan araçların aksine C2O emisyonlarının azaltılması ve daha düşük enerji maliyetleriyle lojistik faaliyetler sürdürülmektedir (Nocerino vd., 2016).

Elektrikli bisikletler taşımacılığın yanında kişisel kullanım için de sıklıkla tercih edilen bir ulaşım yöntemidir. İlerleyen süreçte scooter, elektrikli kamyonet ve elektrikli araçlar ile teslimat süreçlerini optimize eden PTT gibi kargo şirketlerinin elektrikli bisiklet veya motorları da kullanması muhtemeldir. Bisikletler karma bir yapıda olabilmektedir. Hem kas gücü hem elektrik gücü aynı anda veya sırasıyla kullanılabilir. Bu tür hibrit bisikletler de şehir içi son adım teslimatta kullanılmaktadır. Hibrit bisikletler Türkiye’de özellikle İstanbul ilinde nüfusun yoğun olduğu ve paket servislerin sık işlendiği

bölgelerde kullanılmaktadır. Bu tür bisikletlerle teslimat hem sürdürülebilirliği hem maliyetlerin azaltılmasını hem de yeni bir iş modelini sunmaktadır. Türkiye’de hızlı tüketim mallarının e-ticaretinde önemli bir yere sahip olan Yemeksepeti elektrikli bisiklet, normal bisiklet ve yaya olmak üzere yeni tür taşıma faaliyetlerini sürdürmektedir (AA, 2023b).

Teknolojik gelişmeler devam etse dahi bisiklet veya yaya gibi modeller de son adım teslimatta kullanılacaktır. Bu durum teknolojinin gelişimiyle birlikte geleneksel modellerin de varlığını sürdürebileceğini göstermektedir.



Şekil 6. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Motosiklet

Kaynak: Rakunmobilité, 2023.

Elektrikli araç türlerinden elektriğe en uygun modellerden birisi motosikletlerdir. Bunun nedeni ise motosikletlerinden hacim, kütle ve boyut olarak görece küçük olması ve elektrik enerjisinden maksimum fayda sağlayabilmesidir. Gelecekte lojistik faaliyetlerde elektrikli motosikletleri daha sık görülmesi muhtemeldir.

Elektrikli Scooterlerin Kullanımı

Scooter iki tekerli ve tek kişinin belirli noktalar arasında ulaşımın tamamlanmasını sağlar. Scooterler ilk olarak kişisel kullanım amacıyla farklı bir lokasyona gitmek için kullanılmıştır. Fakat özellikle COVID-19 salgınının

ardından artan e-ticaret hacminin son adım teslimat süreçlerinin optimizasyonunu zorunluluk haline getirmiştir (Bieliński ve Ważna 2020).



Şekil 7. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Scooter
Kaynak: Toraman, 2022.

Müşteri odaklılık 21. yüzyılın kabul görmüş gerçekliğidir. Ayrıca müşteri memnuniyetine önem veren şirketlerin rekabet avantajına sahip olması bu konudaki çalışmaların derinleşmesini sağlamıştır. Bu bağlamda şirketler müşterilerinin taleplerini etkin ve hızlı bir şekilde karşılayabilmeleri için özellikle son adım teslimat süreçlerinde farklı yollar aramıştır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte ulaşım faaliyetlerinin çeşitlenmesi lojistik operasyonları da olumlu yönde etkilemiştir. Scooterler gelinen son süreçte işletmelerin ve kargo firmalarının teslimatlarında tercih ettikleri bir taşıma yöntemi haline gelmiştir (Toraman, 2022).

Scooterler PTT tarafından kullanılmaya başlamış olup kısa süre içerisinde önemli yol katedilmiştir. Şekil 7’de görüleceği gibi scooterler yaya olarak yapılacak teslimatlarda kullanılacaktır. Bu durum yaya teslimat süreçlerini hızlandıracaktır. Söz konusu hız ise gün içinde daha fazla kargo teslimatının gerçekleştirilmesinde önemli rol oynayacaktır (Toraman, 2022; Alnıpak ve Toraman 2023). Bu bağlamda müşteri memnuniyetinin artacağı ve dolayısıyla bu hizmeti sunan şirketlerin dağıtıcı pazarında daha aktif rol alacağı öngörülmektedir.

Otonom Araçlar

Otonom araç, bir insan sürücüyü ihtiyaç duyulmadan çeşitli kameralar, radarlar ve sensörler veya uzaktan kumanda edilerek belirli noktalar arasında seyahat edebilmektedir. İlk olarak şahsi kullanımlarda sürücüsüne destek olmak için geliştirilen yazılımlarla araçlara entegre edilmiştir. Teknoloji geliştikçe sürücünün müdahalesi olmadan seyahat gerçekleştirilebilmiştir. Lojistik sektörü bu tür

araçların taşıma faaliyetlerinde de kullanılmasının insan hatasının azaltılması, enerji ve zaman tasarrufu gibi önemli faydaları olacağı için kullanılmasına karşı pozitif bir tutuma sahiptir (Toraman, 2022; Li vd., 2021).



Şekil 8. Teslimatlarda Kullanılan Elektrikli Otonom Araç
Kaynak: Toraman, 2022.

Şekil 8’de Yemeksepeti’nin örnek bir teslimat uygulaması görülmektedir. Perakendeciler ürünlerini özellikle COVID-19 salgını gibi süreçlerde tüketicinin taleplerine daha sağlıklı şartlarda cevap verebilmesi adına önemlidir. Otonom araçlar da diğer elektrikli araç türlerinin kullanımında olduğu gibi nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu ve görece ulaşım şartlarının uygun olduğu yerlerde kullanımı tercih edilmektedir. Bu durumun nedeni ise teslimatların başarılı bir şekilde gerçekleştirilmek istenmesidir.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEHİR İÇİ ULAŞIMDA KULLANIMI

Kentlerdeki nüfusun giderek artmasıyla şehirlerde çevresel kirlilik artmıştır. Özellikle kişisel ve toplumsal olarak ulaşımında kullanılan içten yanmalı motorlu araçlar bu süreci hızlandırmıştır. Son yıllarda elektrikli araç yatırımları kentlerdeki hava kirliliğini ve CO2 salınımını en aza indirmek için yapılmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak binek araçlarda hibrit üretime geçilmiştir. Hibrit araçlar hem içten yanmalı motora hem de elektrikli bir motora sahiptir. İlk olarak hibrit seçeneğiyle piyasaya sürülen araçların ardından tam elektrikli araçlar üretilmiştir. Bu durum ise elektrikli araçların gelecekte şehir içi trafikte daha fazla karşılaşılabileceğine bir işarettir (Ağaoğlu ve Başdemir 2019). Araştırmada ele alınan elektrikli araçlar binek ve toplu taşıma gerçekleştirilen araçlar olarak ayrı ayrı ele alınacaktır.

Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar artan şehir nüfusuna ulaşım süreçlerinde alternatif sunmak, içten yanmalı motorların neden olduğu hava kirliliği ve karbon salınımını azaltmak, yenilenebilir enerji kullanımıyla çevreye zarar vermemek ve enerji tasarrufu gibi tasarrufu gibi nedenler ile kullanılabilir.

Elektrikli araçlar şehir içinde bireysel kullanım ve toplu taşımada kullanılabilir. Binek elektrikli araçlar enerji maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda şehir içi trafikte maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca sahip oldukları teknoloji doğal çevrenin korunması hususunda fayda sağlamaktadır. Fakat gündelik kullanım için üretilen araçların güç açısından içten yanmalı motora sahip araçlara göre dezavantajlı olduğu görülmektedir. Gelecekte elektrikli araç teknolojisinin gelişmesiyle daha güçlü ve uzun menzilli araçların üretilebileceği öngörülmektedir. Bu durum ise elektrikli araçların gelecekte şehir içi trafikte daha fazla kullanılacağına işaret etmektedir. Sonraki bölümlerde elektrikli araçların bireysel ve toplu taşımadaki kullanımına değinilmiştir (Murat ve Şahin 2010).

Elektrikli Araçların Bireysel Ulaşımındaki Kullanımı

Artan kent nüfusunun ulaşım ihtiyacını gidermek için bireysel ve toplu taşıma araçlarının kullanımı geçmişten günümüze gelen süreçte artış göstermiştir. Fakat bu ulaşım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi esnasında artan emisyon oranı ve çevresel olumsuzluklar beraberinde yeni alternatif çözümlerin getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda elektrikli arabalar başta bireysel olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 9. Bireysel Ulaşımında Kullanılan Elektrikli Araç

Kaynak: Motor1.com.

Fakat ilerleyen süreçte elektrikli arabaların taksi olarak kullanımıyla şehir içi trafikteki kullanımı artacaktır. Şekil 9’da gösterilen elektrikli araba hali hazırda şehir içi bireysel ve aktif olarak kullanılmaktadır. Bu durumun yanı sıra gelecekte menzil ve batarya sorununun çözülmesiyle taksi ve dolmuş gibi toplu ulaşım süreçlerinde de aktif olarak kullanılacaktır.

Ayrıca paylaşımlı araçların yakıt tasarrufu nedeniyle hibrit veya elektrikli araçlardan seçiliyor olması da şehir içi trafikte kullanılan elektrikli araçları artıracaktır. Bu durum ise sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Alternatif enerji kaynaklarından daha yüksek oranda faydalanılan bir dönemde şehir içi trafikte elektrikli araç kullanımının çevreye ve ülke ekonomilerine olumlu bir etkide bulunması muhtemeldir (Ağaoğlu ve Başdemir 2019; Önçağ vd.,2021).

Nihai olarak elektrikli arabaların gelecekte aktif olarak geniş bir alanda kullanılması kuvvetle muhtemeldir. Fakat hali hazırda elektrikli araç teknolojisi gelişimini sürdürmektedir. Gelişim aşamasında en önemli noktalardan birisi de menzil ve batarya teknolojilerinin gelişimi sürecidir. Araçların sahip olduğu bataryanın yapısı ve özellikleri doğrudan menzillerini etkilediği için hayati bir öneme sahiptir.

Elektrikli Araçların Toplu Taşıma Ulaşımındaki Kullanımı

Şehirleşme oranı arttıkça şehir içi trafiğin bir sorun haline geldiği bilinen bir gerçekliktir. Şehir içi trafikte kullanılan araçların çoğunluğu içten yanmalı motorlara sahiptir. Fosil yakıt kullanımı ile artan karbon salınımını azaltmak ve sürdürülebilir bir dünya için yeni teknolojilerden faydalanılması gerekliliği doğmuştur. Ayrıca AB’nin 2050 sıfır emisyon hedefi çerçevesinde üye devletlerin gerçekleştirilmesini taahhüt ettiği değişimlerden birisi de şehir içi trafikte elektrikli araçların kullanımınıdır. Bu kapsamda Türkiye’nin de yerli üretim faaliyetleri bulunmaktadır. Bu alanda faaliyet gösteren firmalardan birisi de Karsan Otomotivdir. Şekil 1’de Türkiye’de Karsan Otomotiv tarafından üretilen E-ATAK isimli otobüs gösterilmiştir. (Önçağ vd.,2021; Karsan, 2023).



Şekil 10. Bireysel Ulaşımda Kullanılan Elektrikli Otobüs

Kaynak: AA, 2023c.

Elektrikli otobüslerin kapasitesi dikkate alındığında şehir içi trafiğin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Fakat elektrikli otobüslerin aktif kullanımı lojistik açıdan önemli olsa da geliştirilmesi gereken alt sistemlere sahiptir. Bu kapsamda elektrikli arabalarda olduğu gibi batarya, şarj süresi ve menzile bu tür araçların aktif kullanımı etkileyen en önemli etkenlerdendir. Şehir içi trafikte kullanılan araçların tamamı neredeyse günün tamamında faaliyet göstermektedir. Bu bağlamda düşünüldüğünde batarya, menzile ve şarj elektrikli araçların kullanımında oldukça önemli bir konu haline almıştır. Hem şehir içi trafiği azaltmak hem de enerji tasarrufu sağlamak adına elektrikli otobüsler diğer elektrikli araçlar gibi lojistik süreçlerdeki kullanımı önemlidir. (Önçağ vd.,2021). Elektrikli araç teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrikli otobüslerin menzilleri artacak olup kullanımı avantajlı hale gelecektir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknoloji gelişiminin her geçen gün farklı bir yansıması insanlarına karşısına ürün veya hizmet olarak çıkmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte pazar yerleri çevrim içi platformlara taşınmıştır. Tüketiciler birden fazla markanın ürününe tek bir noktadan ulaşabilmektedir. Bu durum insanlara farklı ürünleri aynı platformdan takip edebilme imkanı sunmuştur. İnsanlara zaman ve hız anlamında fayda sağlamıştır. Dünyada yaşanan COVID-19 pandemisiyle birlikte e-ticaret faaliyetleri bir tercih olmaktan çıkarak zorunluluk haline gelmiştir. Hatta internet veya mobil uygulamalardan verilen siparişlerin teslimat süreçlerinde salgın nedeniyle temassızlık önemli bir şart haline gelmiştir. (Toraman vd., 2023; Toraman ve Yüksel 2022). Bu bağlamda son adım teslimat

süreçlerinde farklı uygulamalar ve farklı taşıma araçları kullanılmıştır. Bunlardan en önemlisi de otonom araçlardır. Aktif olarak Türkiye'nin tamamında kullanılsa da ilerleyen süreçte daha geniş bir tabanda kullanım alanı bulacaktır.

E-ticaret faaliyetlerinde işlem hacminin artması son adım teslimat süreçlerinin de çeşitlendirilmesini bir zorunluluk haline gelmiştir. Burada ise sürdürülebilirlik açısından elektrikli araba, kamyonet, motosiklet, bisiklet, scooterlerin kullanımı önemli bir yer tutmuştur. Elektrikli araçlar hem zaman hem enerji tasarrufu hem de çevreci olmasıyla sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir.

Elektrikli araçlardan lojistik faaliyetlere en uygun olanı elektrikli kamyonetler, bisikletler ve scooterler olduğu söylenebilir. Elektrikli arabaların ve motosikletlerin yük kapasitesinin sınırlı olması bunun en önemli nedenlerindedir. Fakat yaya olarak gerçekleştirilen teslimatların scooter veya elektrikli bisikletler ile teslim edilmesi operasyon sürecini kısaltacaktır. Bu durum ise gün içinde daha fazla dağıtımın gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Elektrikli kamyonetlerin belirli bir kapasitede de olsa muhafaza alanının olması aracın taşımaya uygun olduğunu göstermektedir.

Nihai olarak elektrikli araçların gelişimleri dikkate alındığında gelecekte lojistik operasyonlarda kullanılması kaçınılmaz bir gerçekliktir. Fakat elektrikli araç teknolojisinin şehir içi ulaşımda ve taşıma operasyonlarındaki kullanımının yeni bir süreç oluşu belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Bu durum ise taşıma faaliyetinde bulunan firmaların elektrikli araç kullanımında temkinli davranmasına ve adaptasyon sürecinin uzamasına neden olmaktadır. İlerleyen süreçte belirsizlikler azalacak ve hali hazırda elektrikli araç kullanımından kaynaklanan bazı problemler çözüme kavuşturulacaktır.

REFERANSLAR

- Ağaoğlu, M. N., & Başdemir, H. (2019). Şehir içi ulaşım sorunları ve çözüm önerileri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 8(1), 27-36.
- Alnıpak S. & Toraman Y. (2023). Acceptance of e-vehicles for last-mile parcel delivery from the perspective of drivers: a study in Türkiye. *LogForum* 19 (3), 443-459, <http://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.863>
- Anosike, A., Loomes, H., Udokporo, C. K., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Exploring the challenges of electric vehicle adoption in final mile parcel delivery. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26(6), 683-707.
- Bieliński, T., & Ważna, A. (2020). Electric scooter sharing and bike sharing user behaviour and characteristics. *Sustainability*, 12(22), 9640.
- Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *Or Spectrum*, 43, 1-58.
- Erturgut, R., & Usta, N. K. (2021). Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede SWARA ve Aras Yöntemleri İle Bir Model Önerisi-A Model. *Verimlilik Dergisi*, (3), 35-53.
- Hao, M., Wang, X., Hou, S., Zhang, Q., & Xue, T. (2023). The elderly acceptance of autonomous vehicle services in Beijing, China. *International review for spatial planning and sustainable development*, 11(1), 64-84.
- Juan, A. A., Mendez, C. A., Faulin, J., De Armas, J., & Grasman, S. E. (2016). Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*, 9(2), 86.
- Juvvala, R., & Sarmah, S. P. (2021). Evaluation of policy options supporting electric vehicles in city logistics: a case study. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103209.
- Koç, N. & Uysal, F. (2017). Reverse Logistics and Application Of Aras Method. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 4 (2), 178-185 . DOI: 10.17261/Pressacademia.2017.462
- Li, Y., Lim, M. K., Tan, Y., Lee, Y., & Tseng, M. L. (2020). Sharing economy to improve routing for urban logistics distribution using electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104585.
- Li, J., Rombaut, E., & Vanhaverbeke, L. (2021). A systematic review of agent-based models for autonomous vehicles in urban mobility and logistics: Possibilities for integrated simulation models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 89, 101686.

- Melo, S., Baptista, P., & Costa, Á. (2014). Comparing the use of small sized electric vehicles with diesel vans on city logistics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111, 1265-1274.
- Merdivenci, F., Tekin, M., & Toraman, Y. (2023). Reverse Logistics Practices In Humanitarian Supply Chain Management: A Content Analysis. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 24(4), 583-594.
- Murat, S., & Şahin, L. (2010). *Dünden bugüne İstanbul'da ulaşım*. İstanbul Ticaret Odası.
- Nocerino, R., Colorni, A., Lia, F., & Lue, A. (2016). E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots. *Transportation research procedia*, 14, 2362-2371.
- Önçağ, A. Ç., Üzkat, H., Yeşil, Z. C., & Eliyi, U. (2021). Elektrikli otobüsler üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme: İzmir şehir içi saha analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 43-51.
- Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., & Tektaş, M. (2020). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.
- Sendek-Matysiak, E., Pyza, D., Łosiewicz, Z., & Lewicki, W. (2022). Total Cost of Ownership of Light Commercial Electrical Vehicles in City Logistics. *Energies*, 15(22), 8392.
- Toraman, Y., & Yüksel, C. (2022). COVID-19 Salgını Sürecinde Tüketicilerin Yeni Teknolojileri Benimsemelerinin Teknoloji Kabul Modeli (Tkm) Çerçevesinde Temassız Teslimat Özelinde İncelenmesi: Mobil Uygulamalar Üzerine Bir Araştırma. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 23(COVID-19 ÖZEL SAYISI), 17-34.
- Toraman, Y. (2022). Lojistik-Teslimat Süreçlerinde Geleceğin Teknolojileri, Merdivenci, F. (Ed.), *Lojistiğin Geleceği-1*, (s.157), İksad Yayınevi
- Toraman, Y., Bayirli, M., & Ramadani, V. (2023). New technologies in small business models: use of electric vehicles in last-mile delivery for fast-moving consumer goods. *Journal of Small Business and Enterprise Development*.

Web.

- AA, (2023a). <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/pttnin-elektrikli-dagitim-araclari-ankarada-hizmet-vermeye-basladi/2431304>, Erişim Tarihi: 09.09.2023
- AA, (2023b). <https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/e-ticaret/yemeksepeti-dagitim-agini-bisikletli-kurye-ile-buyutuyor/683025>

- AA, (2023c). <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-elektrikli-otobus-uretiminde-vites-yukseltti/2491645> Erişim Tarihi: 09.10.2023
- Karsan, (2023). <https://www.karsan.com/tr/genel-bakis-e-atak> Erişim Tarihi: 04.10.2023
- Motor1, (2023). <https://tr.motor1.com/news/100069/renault-zoe-ze-40in-menzili-400-kmye-cikti/>, Erişim Tarihi: 11.09.2023
- Ticaret Bakanlığı (2023). <https://ticaret.gov.tr/blog/sektor-haberleri/avrupa-birligi-agir-vasita-araclarin-emisyonlarini-2040a-kadar-90-dusurmeyi-planliyor>, Erişim Tarihi: 10.09.2023
- TRT Haber, (2023). <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/pttnin-elektrikli-dagitim-araclarinin-sayisi-artiyor-692671.html>, Erişim Tarihi: 09.09.2023
- Rakunmobilite, (2023). <https://www.rakunmobilite.com/tr/>, Erişim Tarihi: 18.10.2023
- Resmi Gazete, (2023). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/04/20230407-9.htm> Erişim Tarihi: 14.09.2023
- Webrazzi (2023). <https://webrazzi.com/2019/07/05/elektrikli-bisikletlerle-dagitim-yapan-mng-kargo-filosunu-genisletmeyi-hedefliyor/>, Erişim Tarihi: 09.09.2023

6. Bölüm

Tedarik Zincirinde Dijital İkiz

Arş. Gör. Nesrin KOÇ USTALI¹

Arş. Gör. Makber TEKİN²

¹ Arş. Gör.: Akdeniz Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü. nesrinkoc@akdeniz.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4217-4212

² Arş. Gör.: Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi İşletme Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Finans Bölümü. mtekin@atu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5817-2962

GİRİŞ

Dijital dönüşüm son zamanlarda büyük bir trend haline gelmiştir. Uygun maliyetli sensörler, makine öğrenimi ve yapay zeka alanındaki atılımlar, gelişmiş hesaplama altyapısı ve hazır ders materyalleri sayesinde dijital dönüşüm hız kazanmıştır (San, Pawar, ve Rasheed, 2023: 1). Dijital ikiz teknolojisi de dijital dönüşüm için önemli teknolojilerden biri olarak kabul edilmektedir (Jeong vd., 2022: 52609). Dijital ikiz fikri, sanal ve gerçek dünyalar arasındaki boşluğu doldurmak için güçlü bir araç olarak son zamanlarda popülerlik kazanmıştır (Menon vd., 2023: 75153). Dijital ikiz teknolojisi, gerçek dünyadaki bir sistemin, sürecin veya nesnenin sanal bir kopyasının veya ayna görüntüsünün üretilmesine olanak tanıyarak inovasyon, verimlilik artışı ve karar alma süreçleri için olasılıklar sunmaktadır (Menon vd., 2023: 75153). Böylece dijital ikiz, ürün tasarımlarının, envanter yönetiminin, malzeme kullanımının, nakliye ve teslim süresinin kolaylıkla ve doğrulukla düzenlenebilir aynı zamanda optimize edilebilir olmasını sağlamaktadır (Lam vd., 2023: 2).

Dijital ikiz, fiziksel ve dijital dünyaları entegre eden ve fiziksel varlıkların sanal modellerinden toplanan verilere dayanarak bilinçli karar vermeye olanak tanıyan, hızla gelişen bir teknolojidir (Özgüner ve Ovalı, 2023: 451). Dijital ikiz, teknolojileri temel olarak görselleştirme ve operasyon teknolojisi, analiz teknolojisi, çok boyutlu modelleme ve simülasyon teknolojisi, bağlantı teknolojisi, veri ve güvenlik teknolojisi, senkronizasyon teknolojisi olarak sınıflandırılabilir ve buna ek olarak üretim, enerji, tarım, savunma, lojistik, ulaşım, çevre ve güvenlik gibi çeşitli endüstriyel ve kamusal alanlarda kullanılabilir (Jeong vd., 2022: 52610). Ayrıca dijital ikiz, tüm tedarik zincirinin maliyetinin zaman zaman ayarlanabilmesi için finansal verilerin dahil edilmesini sağlar ve böylece şirketler ürünlerini teslim etmek için zamandan ve maliyetten tasarruf edebilir (Lam, Lam, ve Lee, 2023: 1).

Günümüzde mühendislik ve üretimde ağırlıklı olarak, nesnelere sanal temsillerini ve operasyonel süreçlerin simülasyonlarını sağlamak üzere dijital ikizler kullanılmaktadır. Operasyonlarda, lojistikte ve tedarik zinciri yönetiminde dijital ikiz uygulamaları, özellikle operasyon izlenebilirliği, nakliye bakımı, uzaktan yardım, varlık görselleştirme ve tasarım özelleştirme konularındadır. Bu teknoloji sayesinde, otomotiv de dahil olmak üzere diğer sektörlerde (havacılık, inşaat, tarım, madencilik, kamu hizmetleri, perakende, sağlık, askeri, doğal kaynaklar ve kamu güvenliği) çok sayıda iş uygulamaları bulunmaktadır. Dijital ikiz teknolojisinin önümüzdeki birkaç yıl içinde imalat sanayinde maliyetleri düşürmeye ve tedarik zinciri operasyonlarını

iyileştirmeye yönelik artan ilgi sayesinde hızlı bir büyüme göstermesi beklenmektedir (Attaran ve Celik, 2023: 2). Dolayısıyla bu çalışmada, oldukça güncel ve popüler olan dijital ikiz teknolojisi ve kullanım alanları anlatılmış ve özellikle tedarik zinciriyle olan ilişkisi ve bu sektördeki uygulamaları ele alınmıştır.

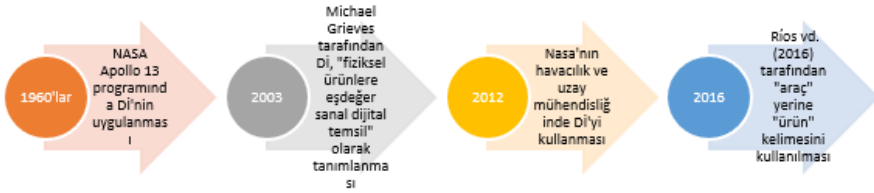
Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde dijital ikiz kavramı ve dijital ikizin kavramsal tarihçesi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, dijital ikizin gelişim aşamaları ele alınmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde, dijital ikizin amaçları anlatılmıştır. Beşinci bölümde, dijital ikizin uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Altıncı bölümde tedarik zincirinde dijital ikiz kullanımı ele alınmış ve yedinci bölümde tedarik zincirinde dijital ikizin sektörel uygulamaları için örneklere yer verilmiştir. Sonuç bölümünde ise genel değerlendirme yapılmıştır.

DİJİTAL İKİZ KAVRAMI

Dijital ikiz (Dİ), fiziksel bir öğenin veya sistemin gerçek zamanlı olarak izlenebilen, analiz edilebilen ve kontrol edilebilen sanal bir kopyasını ifade etmektedir (Menon, Anand, ve Chowdhary, 2023: 75152). Kısaca gerçek bir fiziksel nesnenin veya sürecin sanal bir modeli olarak tanımlanan Dİ'ler, fiziksel nesnelere ve süreçlerin özelliklerinin ve davranışlarının tam olarak dijitalleştirilmesini sağlar ve içgörüler, karar destekleyici bilgiler ve fiziksel dünyaların ayrıntılı sanal temsilleri şeklinde değer elde edebilir (Qiu, vd., 2023: 1). Diğer bir ifadeyle Dİ, gerçek dünyadaki fiziksel nesnelere (örneğin insanlar, nesnelere, alanlar, sistemler ve süreçler) dijital dünyadaki dijital nesnelere kopyalamakta, ayrıca gerçek dünyadaki sorunları çözmek veya durumsal operasyonları iyileştirmek için çeşitli simülasyonlar sağlamaktadır (Jeong vd., 2022: 52609). Bu nedenle Dİ, gelişmiş makine öğrenimi algoritmaları, veri analitiği, süper çözünürlüklü görselleştirme ve modelleme ve simülasyon gibi çeşitli teknolojilerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır (Jeong vd., 2022: 52609). San, Pawar, ve Rasheed (2023)' e göre Dİ'ler fiziksel varlıklarla iki şekilde etkileşime girmektedir: Birincisi, gerçek varlıkları kontrol ederek ve gelecekteki durumlarını tahmin ederek, ikincisi ise fiziksel varlıktan alınan verileri kullanarak ve modelleri kalibre ederek (San vd., 2023: 1).

Dİ kavramı ilk olarak 1960'larda NASA Apollo 13 programında uygulanmıştır (Thelen vd., 2022: 3). Apollo 13'ün Dİ modeli, yerdeki mühendislerin uzaydaki bir kurtarma görevi için olası çözümleri test etmelerine olanak sağlamak amacıyla yeryüzünde oluşturulmuştur (Nguyen,

Trestian, vd., 2021: 10; Barricelli, Casiraghi, ve Fogli, 2019: 2). 2003 yılına gelindiğinde Michigan Üniversitesi profesörü Dr. Michael Grieves tarafından Dİ, "fiziksel ürünlere eşdeğer sanal dijital temsil" olarak tanımlanmıştır (Grieves, 2014'ten akt. Menon vd., 2023: 2). Dİ'nin gelişimi NASA'nın Dİ'yi, "ilgili uçan ikizinin ömrünü yansıtmak için mevcut en iyi fiziksel modelleri, sensör güncellemelerini, filo geçmişini vb. kullanan, inşa edilmiş bir aracın veya sistemin entegre çoklu fizik, çok ölçekli, olasılıksal bir simülasyonu" olarak tanımladığı 2012 yılına kadar durgun kalmıştır ve daha sonra, havacılık ve uzay alanı Dİ'nin önemli bir araştırma dalı haline gelmiştir (Hu, vd., 2021: 4). 2015 yılında ise Ríos, vd. (2016) "araç" yerine "ürün" kelimesini kullanarak Dİ tanımının daha genel amaçlar için kullanılmasını sağlamıştır (Ríos vd., 2016: 214). Dİ'nin tarihçesi Şekil 1'de kısaca özetlenmektedir.



Şekil 1. Dİ'nin Tarihçesi (Hu vd., 2021: 4'ten uyarlanmıştır).

Dİ'yi mümkün kılan teknolojiler örneğin algılama teknolojisi, modelleme teknolojisi, veri yöntemi, Di hizmet teknolojisi ve veri bağlantı teknolojisi 2000'li yıllardan bu yana geliştirildiği için Di tanımları da sürekli olarak evrim geçirmektedir (Negri, Fumagalli, ve Macchi, 2017: 941). Tablo 1'de çeşitli Dİ tanımları ve bunlara karşılık gelen referans ve uygulama alanları kronolojik sırayla listelenmektedir.

Tablo 1. Dİ'nin Literatürdeki Tanımları

Referans	Tanım	Uygulama Alanı
Grieves, 2014'ten akt. Menon vd., (2023)	Fiziksel ürünlere eşdeğer sanal dijital temsil	Genel
Glaessgen and Stargel (2012)'den akt. Hu vd. (2021)	İlgili uçan ikizinin ömrünü yansıtmak için mevcut en iyi fiziksel modelleri, sensör güncellemelerini, filo geçmişini vb. kullanan, inşa edilmiş bir aracın veya sistemin entegre bir çoklu fizik, çok ölçekli, olasılıksal simülasyonu	Havacılık ve uzay mühendisliği
Hochhalter vd. (2014)	Model ve simülasyonların araç durumlarını, deneyimlenen yükleri ve ortamları ve araca özgü diğer geçmişi içerdiği ve hizmet ömürleri boyunca bireysel havacılık ve uzay araçlarının yüksek doğrulukta modellenmesini sağlayan bir yaşam yönetimi ve sertifikasyon paradigması	Havacılık ve uzay mühendisliği
Rios vd. (2016)	İlgili fiziksel ikizinin ömrünü yansıtmak için mevcut en iyi fiziksel modelleri, sensör güncellemelerini, geçmiş verilerini vb. kullanan entegre bir çoklu fizik, çok ölçekli, olasılıksal ürün simülasyonu	Genel
Parrott ve Warshaw (2017)	İş performansını optimize etmeye yardımcı olan fiziksel bir nesnenin veya sürecin geçmiş ve mevcut davranışının gelişen dijital profili	İot mühendisliği
Vrabič, Erkoyuncu, Butala, & Roy (2018)	Entegre simülasyonları ve hizmet verilerini kullanan fiziksel bir ögenin veya montajın dijital bir temsili	Genel
Liu, Meyendorf, & Mrad (2018)	Sistem optimizasyonu, izleme, teşhis ve prognostik için yapay zekanın entegrasyonu yoluyla kullanılan dijital modelde gerçek fiziksel üretim sisteminin bir kopyası	Üretim mühendisliği
Tao vd. (2019)	Fiziksel veriler, sanal veriler ve aralarındaki etkileşim verilerini kullanarak ürün yaşam döngüsündeki tüm bileşenlerin gerçek bir eşlemesi	Ürün tasarım mühendisliği
Aheleroff vd. (2021)	Fiziksel bir nesne ile bağlantılı öğelerden ve meta bilgiden oluşan bir yapıya sahip olan dijital modeli arasındaki iki yönlü dinamik haritalamaya sahip fiziksel bir varlığın dijital kopyası	İot mühendisliği
Kamble vd. (2022)	Ürün yaşam döngüsü boyunca gerçek zamanlı bilgi kullanarak sağlam kaliteye ulaşmak, zamanı azaltmak ve özelleştirilmiş ürünler elde etmek için sürdürülebilir, akıllı üretim sistemleri geliştirme	Üretim mühendisliği

Bu tanımlar aşağıdaki hususları ortaya koymaktadır (Hu vd., 2021: 4):

- Fiziksel varlık, sanal model ve bağlantı da dahil olmak üzere Dİ'nin temel bileşenleri açık ya da örtük bir şekilde dahil edilmiştir.
- Farklı tanımlar, farklı kişiler tarafından vurgulanan hususları çeşitlendirmiştir. Örneğin, Kamble vd. (2022) gerçek zamanlı bilgi kullanımına odaklanırken, Glaessgen ve Stargel (2012) tarafından Havacılık ve uzay mühendisliğiyle ilgili olarak yapılan tanım (Ríos vd., 2016) tarafından genel bir anlam kazanacak şekilde ürüne odaklanmaktadır.

Dİ sistemlerinin belirli yönlerini veya bileşenlerini vurgulayabilse de, Hu vd. (2021)'e göre Dİ'nin genel bir tanımı, karmaşık sistemin yaşam döngüsü boyunca nasıl işlediğine ve geliştiğine dair hem unsurları hem de dinamikleri sağlayan fiziksel varlıkların, süreçlerin, insanların, yerlerin ve sistemlerin dijital kopyasını ifade edebilir (Hu vd., 2021: 4).

DİJİTAL İKİZİN GELİŞİM AŞAMALARI

Dİ'nin gelişim aşamalarını literatürde farklı adımlarda ele çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, temel olarak kabul edilen ve Gartner (2016) tarafından 3 aşamalı Dİ teknoloji evrim modeli ile Jeong vd. (2022) tarafından önerilen 5 aşamalı evrim modeli karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Şekil 2'de Gartner (2016) tarafından sunulan evrim modeli gösterilmektedir.



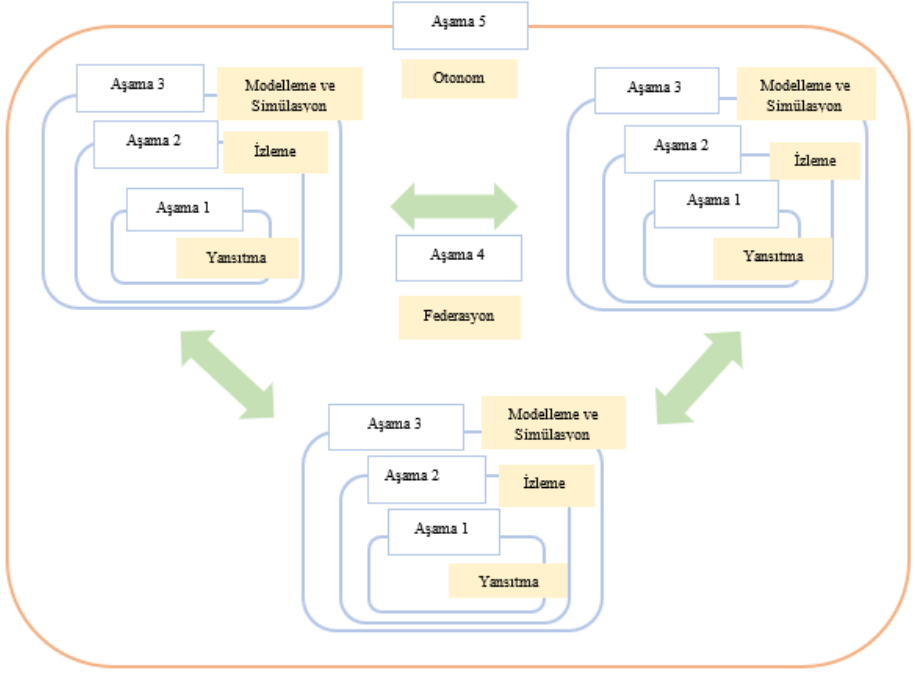
Şekil 2. Dİ'nin 3 Aşamalı Evrim Modeli (Jeong vd., 2022'den uyarlanmıştır).

Şekil 2'de gösterilen evrim modeli, gerçek dünyanın ilk aşamada çoğaltıldığını, ikinci aşamada kontrol edildiğini ve üçüncü aşamada optimize edildiğini ifade etmektedir ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Jeong vd., 2022: 2). Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterildiği üzere, sunulan Dİ evrim modelinin ilk üç aşamasının (1.-3. aşamalar) anlamları birbirine benzemektedir. Ancak Gartner'ın geleneksel evrim modeli yalnızca tek bir sistem için Dİ oluşturmayı dikkate almaktadır ve çeşitli Dİ modelleri arasında bağlantı veya federasyonu

içermemektedir, bu nedenle geleneksel evrim modeli tek bir sistemi optimize etmek için uygun olsa da, karmaşık veya büyük ölçekli sistemleri optimize etmek zordur (Jeong vd., 2022: 52612). Tüm şehri veya tüm üretim sürecini optimize etmek için birçok Dİ'nin türü dikkate alınmalı ve birbirine bağlanmalıdır ancak Gartner'ın modeli çeşitli Dİ'lerin bağlantısını veya federasyonunu önermemektedir (Jeong vd., 2022: 52612). Jeong vd. (2022) tarafından önerilen evrim modeli ise her bir optimize edilmiş tek Dİ'nin karmaşık gerçek dünyayı optimize etmek için birbirleriyle birlikte çalıştığı federasyon aşamasını içermektedir ve Şekil 3'te gösterilmektedir.

Her bir aşamanın işlevsel tanımı aşağıdaki gibidir (Jeong vd., 2022: 52611):

- Aşama 1- Yansıtma: Fiziksel bir nesnenin dijital bir ikizde çoğaltılması.
- Aşama 2- İzleme: Dİ'nin analizine dayalı olarak fiziksel nesnenin izlenmesi ve kontrol edilmesi.
- Aşama 3- Modelleme ve Simülasyon: Dİ'nin simülasyon sonuçları aracılığıyla fiziksel nesnenin optimize edilmesi.
- Aşama 4- Federasyon: Federe Dİ'lerin yapılandırılması, karmaşık fiziksel nesnelerin optimize edilmesi ve federe Dİ'ler ile karmaşık fiziksel nesnelerin birlikte çalışması.
- Aşama 5- Otonom: Birleştirilmiş Dİ'lerdeki sorunları otonom olarak tanıma, çözme ve fiziksel nesnelere birleştirilmiş Dİ çözümüne göre optimize etme.



Şekil 3. Dİ'nin 5 Aşamalı Evrim Modeli (Jeong vd., 2022'den uyarlanmıştır).

DİJİTAL İKİZİN AMAÇLARI

Dİ, gerçek dünyadaki fiziksel nesnelere (örneğin, insanlar, nesnelere, alanlar, sistemler ve süreçler) dijital dünyadaki dijital nesnelere kopyalayarak gerçek dünyadaki sorunları çözmek için çeşitli simülasyonlar sağlamaktadır ve dolayısıyla Dİ, en iyi çözümü bulup gerçek dünyaya uygulayarak daha güvenli ve daha verimli bir gerçek dünya inşa etmek için gerekli olan bilgi ve iletişim teknolojileri arasında bir yakınsama teknolojisi platformudur (Jeong vd., 2022: 52610). Bu nedenle de gerçek dünyada kullanım alanına göre amaçları bulunmaktadır. Dİ teknolojisinin kullanımının genel amaçları Negri vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada üç ana kategoriye ayrılmıştır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Negri vd., 2017: 942):

1. Dİ'nin literatürdeki ilk kullanım amacı, gelişmiş bir bakım faaliyeti ve planlaması için sağlık analizlerini desteklemektir; özellikle Dİ şu amaçlarla önerilmiştir:
 - Fiziksel ikizdeki anormallikleri, yorulmayı, çatlak yollarını izlemek (Tuegel, 2012),

- Fiziksel ikizin malzemesi üzerindeki geometrik ve plastik deformasyonu izlemek (Yang vd., 2013),
 - Fiziksel sistemin güvenilirliğini modellemek (Gockel et al., 2012).
2. Dİ'ni daha geniş kapsamlı ikinci bir kullanım amacı, fiziksel varlığın ömrünü dijital olarak yansıtmak:
- Sistemin uzun vadeli davranışını incelemek ve çevresel koşulların farklı sinerjik etkilerini göz önünde bulundurarak performanslarını tahmin etmek (Grieves ve Vickers, 2016),
 - Yaşam döngüsünün farklı aşamaları boyunca bilgi sürekliliği sağlamak (Rosen vd., 2015),
 - Nesnelerin interneti cihazlarının yaşam döngüsünü yönetmek (Canedo, 2016'dan akt. Negri vd., 2017).
3. Mühendislik ve istatistiksel analizler yoluyla karar vermeyi desteklemek:
- Tasarım aşamasında sistem davranışının optimizasyonu (Abramovici vd., 2016),
 - Ürün yaşam döngüsünün optimizasyonu, geçmiş ve mevcut durumları bilerek, gelecekteki performansları tahmin etmek ve optimize etmek (Ríos vd., 2015).

DİJİTAL İKİZİN UYGULAMA ALANLARI

Dİ performansı artırma, süreçleri kolaylaştırma ve tahmin edici bakımı mümkün kılma yeteneğine sahip olduğu için birçok alanda büyük ilgi görmüş ve zaman içinde sağlık, ulaşım, enerji sistemleri, tarım ve akıllı şehirleri de kapsayacak şekilde büyümüştür (Menon, Anand, ve Chowdhary, 2023: 75152). Dolayısıyla da Dİ teknolojisi, birçok farklı sektörde birçok farklı şekilde kullanılmaktadır. Aşağıda Dİ'nin uygulama alanlarından bazıları sıralanmaktadır.

- **Havacılık ve Uzay Mühendisliği:** Havacılık alanında, Dİ temel olarak uçak bakımı, risk tahmini, uçak yapılandırması, veri işleme ve sorun teşhis kabiliyetinin büyük ölçüde geliştirildiği kendi kendini onarma mekanizmasının başlatılması için kullanılmaktadır (Wu vd., 2021: 13799). Uçağın Dİ modellerinin oluşturulması, gerçek zamanlı veri analizi yoluyla uçağın genel statüsünü değerlendirebilir, kestirimci bakım ve gerçek zamanlı onarım gerçekleştirilebilir, sanal alan hava taşımacılığı sisteminin

sanal vizyonunu sağlayabilir ve bu da uçuş rotalarının optimize edilmesine yardımcı olabilir (Wu vd., 2021: 13799). Örneğin Rosen vd. (2015) tarafından yapılan bir araştırmada, uçağın sanal bir ikizi oluşturulmuş, alüminyum alaşımı ve çeliğin çatlak ucu deformasyonunu ve çatlak büyümesini tahmin etmek için otomatik görüntü izleme yöntemi kullanılmıştır (Rosen vd., 2015: 570).

- **Sağlık Hizmetleri:** Genel olarak Dİ teknolojisinin sağlık sektöründe uygulanması, gelişmiş hasta bakımı, kişiselleştirilmiş tıbbi tedavi, uzaktan izleme, cerrahi planlama için umutlar sunmaktadır (Menon vd., 2023: 75159). İnternetin gelişmesiyle birlikte insan vücudu izleme cihazları ve sensörler kullanılarak bir ikiz hasta oluşturulabilir ve bu ikiz hasta, hastanın sağlık durumunu ve değişimlerini takip ederek tıbbi bakımı geliştirebilir (Wu vd., 2021: 13800). Bununla birlikte belirli sistemlerin sağlığının öngörülmesi ve izlenmesi Dİ teknolojileri kullanılarak yapılabilir (Menon vd., 2023: 75159). Örneğin Venkatesan vd (2019) tarafından yapılan bir araştırmada Dİ, elektrikli araçlardaki motorların durumunu takip etmek için kullanılmıştır (Venkatesan vd., 2019:1328).
- **Üretim:** Dİ teknolojisinin kullanımı, firmaların ürün kalitesini artırmasına, bekleme sürelerinin azaltılmasına ve üretim süreçlerini optimize etmesine olanak tanıdığı için imalat sektöründe çok yaygın hale gelmiştir (Menon vd., 2023: 75153). Üreticiler, bir fabrikanın dijital modelini oluşturarak çok sayıda senaryoyu araştırabilir, darboğazları tespit edebilir ve gerçek dünyada uygulamaya koymadan önce yeni taktikler deneyebilirler (Menon vd., 2023: 75153). Dİ'ler, akıllı üretim sistemlerinin tasarım hatalarının/kusurlarının erken tespiti yoluyla fiziksel devreye alma/yeniden yapılandırma süresini ve maliyetini azaltmak için yarı fiziksel simülasyonlar gerçekleştirebilir (Leng vd., 2021: 119). Dİ'nin üretimde kullanılması ile parçalar tasarlanırken, parçaların tüm yaşam döngüsü sanal model aracılığıyla simüle edilebilir ve doğru parça tasarımını gerçekleştirmek için tasarım kusurları önceden bulunabilir (Wu vd., 2021: 13798). Örneğin Liu vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, veri alışverişi sürecinin daha güvenilir ve etkili bir şekilde sürdürülebilmesi için, Dİ tabanlı üretim sistemleri arasında veri alışverişi mekanizması oluşturmak üzere blok zinciri tabanlı bir veri etkileşimli yaklaşım önerilmiştir (Liu vd., 2023: 1).
- **Şehir Yönetimi:** Dİ, bina bilgi modellemesi ve 3D coğrafi bilgi modeline dayanan, binalar, ulaşım tesisleri, yeraltı boru hatları gibi şehirdeki tüm nesnelere dijitalleştirmek için IoT'yi kullanan ve son olarak siber uzayda

tamamen karşılık gelen sanal bir şehir inşa eden akıllı şehrin inşasına uygulanmaktadır (Fang vd., 2022: 4299). Böylece şehir yöneticileri, altyapının durumu ve işleyişi hakkında veri toplayarak olası sorunları tahmin edebilir ve bakım ve onarımlara öncelik verebilir (Menon vd., 2023: 75157). Örneğin Singapur, şehir simülasyonu optimizasyonu, planlama ve karar verme gibi işlevleri gerçekleştirmek için bir şehir operasyon simülasyon sistemi olan CityScope'u kurmuştur (Wu vd., 2021: 13801). Dİ'ler, atık bertarafı ve kamu güvenliği gibi şehir tarafından sağlanan kamu hizmetlerini izlemek ve yönetmek için kullanılabilir (Menon vd., 2023: 75157). Örneğin Ricardo ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada, atık toplama yönetiminde Dİ'ler kullanılmış ve bu da toplama sürelerinin kısılmasına ve daha etkili olmasını sağlamıştır (Menon vd., 2023: 75157). Tüm bunlara ek olarak Dİ, elektronik sensör teknolojileri, veri iletim teknolojileri ve akıllı kontrol teknolojilerini kullanarak kentsel yaşamda sürücüler için daha iyi hizmetler sunabilir ve böylece kentsel ulaşım sistemleri için etkili acil durum kontrol ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesini sağlayabilir (Wu vd., 2021: 13801).

- **Endüstriyel Enerji Yönetimi:** Elektrik enerjisi sektörü Dİ'leri enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanarak bu sistemleri gözlemlenebilir ve yönetilebilir, rüzgar türbinleri ve güneş panelleri de dahil olmak üzere enerji üretim sistemlerinin performansı ve etkinliği Dİ kullanımıyla iyileştirilebilir, enerji santrallerinin operatörleri, çevresel koşullar ve güç çıkışı hakkında veri toplayarak olası arızaları tespit edebilir ve bakım programlarını optimize edebilir (Menon vd., 2023: 75158). Örneğin Olatunji vd (2021) tarafından yapılan bir çalışma, rüzgar türbini yönetiminde Dİ kullanılmasının nasıl daha iyi performans ve daha düşük bakım maliyetleri sağladığını göstermiştir (Olatunji vd., 2021: 201). Elektrik şebekeleri üzerinden elektrik iletiminin izlenmesi ve kontrolü Dİ'ler kullanılarak yapılabilir, elektrik şebekesi operatörleri, elektrik miktarı ve kalitesi hakkında veri toplayarak iletim hatlarının kullanımını iyileştirebilir ve elektrik kesintilerini önleyebilir (Menon vd., 2023: 75158). Örneğin Zhou, Yan, ve Feng (2019) tarafından yapılan bir çalışma, Dİ'lerin elektrik şebekesi yönetiminde kullanılmasının güvenilirliği nasıl artırdığını ve kesinti sürelerini nasıl azalttığını göstermiştir (Zhou vd., 2019: 391). Dİ'ler, elektriğin müşterilere dağıtımını izlemek ve koordine etmek için kullanılabilir, elektrik dağıtım firmaları, elektrik kullanımı ve kalitesi hakkında veri toplayarak trafoların kullanımını iyileştirebilir ve elektrik kesintilerini önleyebilir (Menon vd., 2023: 75158). Örneğin Jain vd. (2020) tarafından yapılan bir araştırma, Dİ kullanarak güç dağıtım

sistemlerinin nasıl daha etkili ve daha az kesinti süresiyle yönetilebileceğini göstermiştir (Jain vd., 2020: 940).

- **Tarımsal Üretim:** Dİ teknolojisinin tarımdaki başlıca uygulamalarından biri mahsul modellemesidir ve mahsul modellemesi, mahsullerin sanal modellerinin oluşturulmasını ve farklı koşullar altında nasıl büyüdüklerinin simüle edilmesini içermektedir (Menon vd., 2023: 75156). Bu da çiftçilerin mahsul büyümesini optimize etmelerini ve verimi tahmin etmelerini sağlamaktadır (Menon vd., 2023: 75156). Örneğin Dİ'ler, tarımda mahsul yetiştirme ve sulama sistemlerini taklit etmek ve iyileştirmek için kullanılmaktadır (Nie, vd., 2022: 642).

DİJİTAL İKİZ VE TEDARİK ZİNCİRİ

Son yıllarda artış gösteren krizler, savaşlar ve salgınlar nedeniyle tedarik zinciri gün geçtikçe karmaşık ve kırılgan hale gelmektedir. Bu nedenle, tedarik zinciri yöneticilerinin dijital destekli ve akıllı tedarik zincirinin değerini yaratmalı ve açığa çıkarmalıdır. 2020 yılında yaşanan Koronavirüs salgını, tedarik zincirine hem ulusal hem de küresel düzeyde zarar vermiş ve tedarik zincirini önemli ölçüde etkilemiştir (Burgos ve Ivanov, 2021; Wang vd., 2022) Bu süreçte tedarik zincirinde mal tedarikinde kıtlıklar, kaynak sınırlamaları, lojistik gecikmeler ve talep azalmaları yer almıştır. Bu tarz durumlarda tedarik zincirinde yaşanacak kesintilerden koruyabilmek için şirketler, salgını sürekli olarak takip etmeli, envanteri ve lojistik merkezleri kontrol etmeli ve değişen koşullara hızlı bir şekilde yanıt vermelidir. Ayrıca uzun vadede, şirketler tedarik zinciri yapısını ve stratejisini yeniden düşünmeli ve gelecekteki olayları önlemek için simülasyon çalışmaları yapmalıdır. Tedarik zincirinde yaşanan bu zorluklar sonucunda Endüstri 4.0 teknolojilerinden daha çok faydalanılması gerektiği ve akıllı ve Dİ destekli bir tedarik zincirinin gerekliliği ortaya çıkmıştır (Wang vd., 2022:56).

Endüstri 4.0, tedarik zinciri ve lojistik alanlarında dijitalleşme süreçlerine öncülük etmiştir. Bu durum Lojistik 4.0'ın gelişimini de başlatmıştır. Endüstri 4.0 bileşenlerinden tedarik zinciri ve lojistik alanlarında fazlasıyla faydalanılmıştır (Abideen ve Mohamad, 2021: 3). Endüstri 4.0 teknolojilerinden Dİ, son zamanlarda lojistik alanında araştırma konusu olan önemli bileşenlerden biridir ve Endüstri 4.0'ı gerçekleştirmek için en umut verici teknolojilerden biri olarak belirtilmiştir. *“Dİ, diğer teknolojilerden farklı olarak fiziksel ve sanal entegrasyonu yüksek, gerçek zamanlı veriler ile etkileşim kuran süreç ve hizmetlerin dinamik sanal bir modeldir”* (Çalış Duman, 2022: 190).

Dİ genellikle gerçek dünya varlıkları ve süreçlerinin belirli bir sıklıkta ve doğrulukta senkronize edilen sanal bir temsili olarak tanımlanmaktadır. Dİ'in lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde bazı uygulama alanları bulunmaktadır; örneğin, tedarik zinciri ağı haritalama ve kesinti riski yönetimi için görselleştirme, gerçek zamanlı izleme, karar ve kontrol için Dİ sistemle üretim lojistiği senkronizasyonu, tedarik zincirinin görünürlüğü, akıllı şehir lojistiği gibi alanlarda kullanımı bulunmaktadır (Liu vd., 2021:238).

Lojistik nesnelere, kapsamlı bir sensör sistemine sahipse ilgili lojistik nesnelere dijital bir görüntüsü oluşturulur, bu da bir Dİ olarak adlandırılır. Bir Dİ, fiziksel bir varlığın dijital temsidir ve fiziksel ve dijital dünya arasında bağlantı sağlar. Bu bağlantı tam bir veri tabanına dayanmaktadır (Hendrik vd., 2019:10). Dİ kavramları, operasyon üretkenliğini ve verimliliğini artırmanın bir yolu olarak ortaya çıktığı belirtilmiştir (Coelho vd., 2021:1). Dİ tabanlı karar verme, bir tedarik zincirindeki araçlardan kaynaklanan kesintilerin tahmin edilmesini sağlar ve kırbaç ve dalgalanma etkisini ele almak için eksiksizlik, tamlık, geçerlilik, tutarlılık ve zamanında kullanılabilirlik sağlamaktadır (Park vd., 2020:5722).

Tedarik zincirinin dijital bir ikizi, ağ durumunu herhangi bir an için temsil edebilen, direnci artırmak ve acil durum planlarını test etmek için tamamen uçtan uca lojistik zincir görünürlüğü sağlayabilen bir modeldir (Ivanov vd., 2019:310). Moshood vd. (2021), tedarik zincirinin görünürlüğü önemli bir durum olduğunu ve küresel ölçekte bir tedarik zinciri ağı boyunca tam görünürlüğü sağlayabilmek ve sürdürülebilmek için son zamanlarda geliştirilen dijital teknolojilerden faydalanılması gerektiğini belirtmiştir (Moshood vd., 2021:2). Bir işletmenin ürünü üretimden tüketimine kadar takip edebilme yeteneği olan tedarik zinciri görünürlüğünde (Yıldız Çankaya, 2022:64) Dİlerin kullanımından büyük fayda sağlanabilir. Örneğin, bir Dİ; ürün veya malzeme ihtiyacını daha iyi öngörebilirse veya yorumlayabilirse, finansal ve bütçe kararlarını yönlendirebilir, bireysel ambalajın takibini yapmaya yardımcı olarak ambalaj dönemi içindeki ambalaj miktarı konusunda stratejik karar alma sürecine katkıda bulunabilir. Ayrıca Dİ, lojistik akışların yeniden düzenlenmesini de simüle edebilmektedir (Moshood vd., 2021:14)

Coelho vd. (2021), şirket içi lojistik faaliyetlerinin, operasyon üretkenliğini ve verimliliğini arttırdığı için her organizasyonun önemli bir parçası olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle çevik karar alma, genel üretim bölümü operasyonlarının planlanması ve bunların etkili bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada lojistik 4.0'a yönelik hem bir dağıtım tesisinde hem de bir üretim tesisinde meydana gelebilecek faaliyetleri analiz eden şirket içi lojistik için simülasyon tabanlı bir karar

destek aracı önerilmiştir. İşletme maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan kurum içi lojistikte maliyetin genel olarak manuel yapılan toplama operasyonlarından etkilendiği belirtilmektedir (Coelho vd., 2021:2). Dİ de operasyon üretkenliğini ve verimliliğini artırmanın bir yolu olarak ortaya çıkmıştır bu sebeple Coelho et al., (2021), kurum içi lojistik süreçlerinde Dİ temelli simülasyon tabanlı karar destek aracı önermiştir. Abideen ve Mohamad (2021), üretim ve tedarik zinciri sistemlerinin çeşitli operasyonlarını incelemek ve analiz etmek, bunların organizasyonel performans ve gelişme üzerindeki etkilerini ölçmek amacıyla Dİ yaklaşımını kullanmıştır.

Liu vd., (2021)Akıllı Şehir Lojistik Park Etme (SCLP) olarak adlandırılan, akıllı şehirdeki son kilometre teslimatı için yük park etme yönetimi sorununu araştırmıştır. Yazarlar bir kullanım senaryosu oluşturmuş ve bu senaryo modellenmiştir. Oluşturulan bu model Digital Twin deneysel platformuna uygulanmıştır. Çalışmada sunulan modelleme çalışması, karar verme süreçlerinin Dİ platformuna dayalı simülasyonu konusunda gelecekteki çalışmaları teşvik ettiği ifade edilmiştir (Liu vd. 2021: 238).

2023 yılında DHL Trend Research tarafından hazırlanan “The Logistics Trend Radar: Delivering Insight Today Creating Value Tomorrow 6.0” raporunda Dİlerin lojistik sektöründe kullanım alanları ele alınmıştır. Bu alanlar aşağıdaki gibidir (DHL, Trend Research, 2023);

Stres Testi Dayanıklılığı

Küresel tedarik zincirleri yoğun bir baskı altında performans göstermektedir. Tedarik zincirleri artan talebi karşılamak ve talep dalgalanmalarıyla başa çıkmak için oluşabilecek kesintilerle mücadele etmektedir. Şekil 4’te lojistik deposu zara görmüş bir firmanın görseli yer almaktadır. Bu tarz durumlar için lojistik organizasyonları, Covid-19 salgını, krizler ve savaşlar gibi olayları baz alarak daha dayanıklı tedarik zincirleri oluşturma çabası içerisinde. Bir tedarik zincirinin Dİne “stres testi”³ uygulamak tedarik zincirinin dayanıklılığın geliştirilmesine yardımcı olabileceği belirtilmektedir. Gerçekleştirilen simülasyonlarda, kullanıcının üretim tesisleri, distribütör merkezleri, limanlar, pazarlar ve diğer varlıklar arasındaki tüm giriş ve çıkış akışları, doğal afetler ve siber saldırılar gibi senaryolar kullanılarak mümkün olduğunca doğru bir şekilde Dİde yansıtılır. Ardından, kullanıcı, bu bozulmaların hizmet seviyelerini ve tedarik zincirini

³ Stres Testi: Finansal kuruluşların, istisnai fakat gerçekleşme ihtimali olan olaylara karşı hassasiyetlerini anlamaya yönelik olarak kullanılan çeşitli analiz yöntemleri için benimsenmiş genel bir terimdir (Tuncer, 2006).

nasıl etkileyeceğini gerçek operasyonları etkilemeden görebilir. Kullanıcı, tedarik zincirinin Dİni değiştirebilir ve senaryoları yeniden çalıştırarak belirli düzenlemelerin daha dirençli sonuçlara yol açıp açmadığını görebilir. Krizleri gerçek, fiziksel tedarik zincirlerinde simüle etmek gerçekçi olmadığından ve zarar verebileceğinden, Dİler, lojistik planlamacıları ve kriz yöneticilerinin daha dirençli stratejik kararlar almaları için bir fırsat sunmaktadır (DHL, Trend Research, 2023).



Şekil 4. Yangından Zarar Görmüş Lojistik Depo
Kaynak: DHL Trend Radar Research, (2023).

Öngörücü bakım

Öngörücü bakım (varlıkların bozulmadan veya arızalanmadan önce tahmin edilmesi ve onarılması) üreticiler ve lojistik sağlayıcıları için maliyetleri etkili bir şekilde azaltmak ve üretkenliği artırmak için uygun bir strateji olarak görülmektedir. Fiziksel nesnelerin durumunu gerçek zamanlı olarak gösterme yeteneği sağlayabilen Dİler, genellikle öngörücü bakım için ideal çözüm olarak görülür. 2022'de Kraft Heinz, Kuzey Amerika'daki 34 üretim tesisinin tamamının Dİlerini oluşturmak için Microsoft ile işbirliği yapmış, bu tesislerde mekanik iş durumunu azaltma hedeflerinden birini gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. En gelişmiş lojistik oyuncular ve ekipman servis sağlayıcıları, bireysel robotlar, kamyonlar ve araçlar gibi varlıkların Dİlerini oluşturarak, durumlarını takip edebilmekte ve arızaları önlemek için ele alınması gereken herhangi bir aşınma ve yıpranma algılanabilmektedir. Dİleri kullanarak öngörücü bakım kolaylaştırılabilmektedir. Ayrıca lojistik sağlayıcıları belirli bir yıl içinde reaktif bakımın yaklaşık %40'ını tasarruf edebilir, operasyonel

verimliliği artırılabilir ve maliyetleri azaltılabilir (DHL, Trend Research, 2023).

Lojistik Süreçlerin Optimize Edilmesi

Ticaret zincirleri içinde neredeyse tüm süreçler, Dİ'lerin eğiliminden faydalanabilir. Dİler, görünürlük aracılığıyla lojistik optimizasyonu kolaylaştırabilir. Örneğin, Alman kozmetik perakendecisi dm-drogerie markt, son zamanlarda Dİleri kullanarak envanter operasyonlarını optimize etmiştir (bkz. Şekil 5). Perakendeci, 2.000'den fazla mağazasının her birinin Dİni oluşturmuş, her şubedeki raf düzenini ve tüm ürün stok bulundurma birimi konumlarını içermektedir. Tüm konumlarındaki ürün bulunabilirliğini gerçek zamanlı olarak görerek, dm-drogerie markt, dağıtım merkezlerinden gelen karışık paletlerdeki malları en uygun şekilde birleştirerek rafların en az paletle doğru bir şekilde stoklanmasını sağlayabilmiştir. Ayrıca, perakendeci her ürünün her bir şubedeki tam olarak nereye ait olduğunu bildiği için, mağaza içindeki personel yürüme mesafelerini en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. Bir akıllı telefon ekranında, personel, her ürün için en uygun yeniden stoklama yolunu görebilmektedir (DHL, Trend Research, 2023).



Şekil 5. Dm-Drogerie Markt'ın Envanter Operasyonları için Dİ Kullanımı

Kaynak: DHL Trend Radar Research, (2023).

DHL, lojistikte Dİin tüm tedarik zinciri ağının gerçek zamanlı bir kopyası olacağını belirtilmektedir (DHL Trend Radar Research, 2023). Tedarik zincirinde yer alan birçok süreçte Dİin kullanımı mümkündür. DHL bu durumu Şekil 6'da görselleştirmiştir.



Şekil 6. Lojistikte Dİ

Kaynak: DHL Trend Radar Research, (2023).

SEKTÖREL UYGULAMALAR

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ), 18 Mart 2023 tarihinde hangardan çıkması beklenen Milli Muharip Uçak'ın tasarımı ve üretimi için Dİ teknolojisi ile çalışmalarına başlamıştır. Tasarımdan üretime Milli Muharip Uçağı'nı geliştirmek için 3DEXPERIENCE PLM platformunu ve havacılık endüstrisi deneyimlerini kullanmakta olan TUSAŞ bu teknoloji için Dassault Systemes firması ile anlaşma yapmıştır. Dİ teknolojileri yardımı ile MMU'nun tüm tasarım ve testlerini gerçekleştirecek olan TUSAŞ bu sayede ürün geliştirme sürecini hızlandırmayı ve dijital teknolojiler ile üretim ve test işlemlerini devam ettirmeyi planlamaktadır (bkz. Şekil 7) (Türk Havacılık Uzay Sanayii, <https://www.tusas.com/>, erişim tarihi: 01.12.2023).



Şekil 7. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii Milli Muharip Uçakları

Kaynak: Türk Havacılık Uzay Sanayii, <https://www.tusas.com/>, erişim tarihi: 01.12.2023.

DHL, Dijital İkiz Depo

DHL'in Asya Pasifik'te, fiziksel varlıkları daha iyi anlamak ve yönetmek için dijital modellerin kullanılmasını içeren Dİ teknolojisini kullanan ilk akıllı deposunu oluşturmuştur. DHL Supply Chain, Akıllı Depo çözümünü oluşturmak için Nesnelerin İnterneti teknolojisini, veri analitiğini ve fiziksel ile sanal depo arasında köprü kuran Dİi kullanmıştır. Bu dijital çözüm, özellikle güvenlik açısından sorunları ortaya çıktıkça çözmek için operasyonların 7/24 koordinasyonunu sağlamaktadır (DHL (2019). <https://group.dhl.com/>, erişim tarihi: 01.12.2023).

DHL Smart Warehouse girişiminin altı temel unsuru yer almaktadır (DHL (2019). <https://group.dhl.com/>, erişim tarihi: 01.12.2023).

1. Azaltılmış trafik sıkışıklığıyla verimlilik artışı
2. Kontrollü alanlar için uyarılar
3. Sıcaklık sistemlerinin izlenmesi
4. Tam trafik görünürlüğünün sağlanması
5. Gerçek zamanlı operasyonel verilerin yansıtılması
6. Gelişmiş MHE (Malzeme Taşıma Ekipmanı)'nin güvenliğinin sağlanması



Şekil 8. DHL Akıllı Depo Girişimi

Kaynak: DHL (2019). <https://group.dhl.com/>, erişim tarihi: 01.12.2023.

SONUÇ

Son yıllarda yaşanan krizler, salgınlar ve doğal afetler nedeniyle tedarik zincirinde kesintiler yaşanmış ve yapısal sorunlar ortaya çıkmıştır. Yaşanan

bu sorunlar nedeniyle tedarik zincirinin dayanıklılığının artırılması ve performansının iyileştirilmesi gerekliliği daha çok ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda tedarik zinciri yöneticilerinin dijital destekli ve akıllı tedarik zincirinin değerini yaratması ve açığa çıkarması önemli bir hal almıştır.

Dijitalleşmiş ve akıllı bir tedarik zinciri, bağlantı, görünürlük ve çeviklik gerektirmektedir ve entegre ve akıllı olması gerekmektedir. Dİ (DT) konsepti bu gereksinimleri karşılamaktadır (Wang vd., 2022:56). Fiziksel bir ögenin veya sistemin gerçek zamanlı olarak izlenebilen, analiz edilebilen ve kontrol edilebilen sanal bir kopyasını ifade etmektedir (Menon, Anand ve Chowdhary, 2023: 75152). Ayrıca ürünlere ait gerçek zamanlı ve anlık çevre verilerinin kullanımıyla; anlama, öğrenme ve akıl yürütmeye de olanak sağlamaktadır (Kumaş ve Erol, 2021). Dİ, genel olarak Dİler, kuruluşların maliyetler, operasyonel verimlilik, geri dönüş süreleri ve sürdürülebilirlik gibi bir dizi ölçümde iyileştirme yapmasına olanak tanımaktadır.

Tedarik zincirinde kullanılmaya başlanan Dİ, ağ durumunu herhangi bir an için temsil edebilen, direnci artırmak ve acil durum planlarını test etmek için tamamen uçtan uca lojistik zincir görünürlüğü sağlayabilen bir modeldir (Ivanov vd., 2019:310). Dİ, tedarik zincirinde çevikliği ve dayanıklılığı arttırabilmekte, geliştirilmiş bir bağlantı yaratabilmekte, ve görünürlüğü sağlayabilmektedir. Bu nedenle son zamanlarda kullanımına yönelik ilgi artmıştır. Sektörel olarak küresel tedarik zincirine sahip lojistik işletmeleri tarafından uygulanmaktadır. Uygulama sonuçlarında verimliliğin, koordinasyonun, performansı arttırdığı ve maliyetleri azaldığı görülmektedir.

REFERANSLAR

- Abideen, A., ve Mohamad, F. B. (2021). Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*, 16(1), 70–102. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>
- Abramovici, M., Göbel, J. C., ve Dang, H. B. (2016). Semantic data management for the development and continuous reconfiguration of smart products and systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(1), 185–188. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.051>
- Aheleroff, S., Xu, X., Zhong, R. Y., ve Lu, Y. (2021). Digital twin as a service (DTaaS) in industry 4.0: An architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*, 47(August 2020), 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
- Attaran, M., ve Celik, B. G. (2023). Digital twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6(November 2022), 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., ve Fogli, D. (2019). A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*, 7(MI), 167653–167671. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499>
- Burgos, D., ve Ivanov, D. (2021). Food retail supply chain resilience and the COVID-19 pandemic: A digital twin-based impact analysis and improvement directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102412>
- Çalış Duman, M. (2022). İşletmeler için yeni bir verimlilik teknolojisi: Dijital ikiz. *Verimlilik Dergisi, Özel Sayı*, 189–206. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.981349>
- Coelho, F., Relvas, S., ve Barbosa-Póvoa, A. P. (2021). Simulation-based decision support tool for in-house logistics: The basis for a digital twin. *Computers and Industrial Engineering*, 153, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107094>
- Fang, X., Wang, H., Liu, G., Tian, X., Ding, G., ve Zhang, H. (2022). Industry application of digital twin: from concept to implementation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(7–8), 4289–4312. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09632-z>
- Gockel, B. T., Tudor, A. W., Brandyberry, M. D., Penmetsa, R. C., ve Tuegel, E. J. (2012). Challenges with structural life forecasting using realistic mission

profiles. *Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, April 2012'de Sunulmuş Bildiri*. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1813>

- Grieves, M., ve Vickers, J. (2016). Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches. In *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches* (Issue March). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7>
- Hendrik, H., Bin, L., Norbet, W., Jan, C., ve Boris, O. (2019). Digital twin for real-time data processing in logistics. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)'de Sunulmuş Bildiri*.
- Hochhalter, J. D., Leser, W. P., Newman, J. A., Glaessgen, E. H., Cornell, S. R., Willard, S. A., Heber, G., Gupta, V. K., Yamakov, V., Cornell, S. R., Willard, S. A., ve Heber, G. (2014). Coupling Damage-Sensing Particles to the Digital Twin Concept. NASA Technical Reports Server, April 2014, 10.
- Hu, W., Zhang, T., Deng, X., Liu, Z., ve Tan, J. (2021). Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges. *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, 2(1), 1–34. <https://doi.org/10.1108/jimse-12-2020-010>
- Ivanov, D., Dolgui, A., Das, A., ve Sokolov, B. (2019). Digital Supply chain twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven optimization, simulation, and visibility. In *International Series in Operations Research and Management Science*, 276. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14302-2_15
- Jain, P., Poon, J., Singh, J. P., Spanos, C., Sanders, S. R., ve Panda, S. K. (2020). A digital twin approach for fault diagnosis in distributed photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(1), 940–956. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2019.2911594>
- Jeong, D. Y., Baek, M. S., Lim, T. B., Kim, Y. W., Kim, S. H., Lee, Y. T., Jung, W. S., ve Lee, I. B. (2022). Digital twin: Technology evolution stages and implementation layers with technology elements. *IEEE Access*, 10, 52609–52620. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174220>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., Mani, V., Belhadi, A., ve Sharma, R. (2022). Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 176(November 2020), 121448. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121448>
- Kumaş, E., ve Erol, S. (2021). Endüstri 4.0'da anahtar teknolojiler olarak dijital ikizlerler. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 691–701.

- <https://doi.org/10.2339/politeknik.778934>
- Lam, W. S., Lam, W. H., ve Lee, P. F. (2023). A bibliometric analysis of digital twin in the supply chain. *Mathematics*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/math11153350>
- Leng, J., Wang, D., Shen, W., Li, X., Liu, Q., ve Chen, X. (2021). Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60(May), 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.011>
- Liu, S., Lu, Y., Li, J., Shen, X., Sun, X., ve Bao, J. (2023). A blockchain-based interactive approach between digital twin-based manufacturing systems. *Computers and Industrial Engineering*, 175(November 2022), 108827. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108827>
- Liu, Y., Folz, P., Pan, S., Ramparany, F., ve Bolle, S. (2021). Digital twin-driven approach for smart city logistics : The case of freight parking management. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 633, 237-246). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85910-7>
- Liu, Z., Meyendorf, N., ve Mrad, N. (2018). The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin. *AIP Conference Proceedings*, 1949. <https://doi.org/10.1063/1.5031520>
- Menon, D., Anand, B., ve Chowdhary, C. L. (2023). Digital twin: Exploring the intersection of virtual and physical worlds. *IEEE Access*, 11(June), 75152–75172. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3294985>
- Moshood, T. D., Nawanir, G., ve Sorooshian, S. (2021). Digital twins driven supply chain visibility within logistics : A new paradigm for future logistics. *Applied System Innovation*, 4(29), 1–24.
- Negri, E., Fumagalli, L., ve Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in cps-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Nguyen, H. X., Trestian, R., To, D., ve Tatipamula, M. (2021). Digital twin for 5G and beyond. *IEEE Communications Magazine*, 59(2), 10–15. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000343>
- Nie, J., Wang, Y., Li, Y., ve Chao, X. (2022). Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: a survey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(5), 642–661. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3033>
- Olatunji, O. O., Adedeji, P. A., Madushele, N., ve Jen, T. C. (2021). Overview of digital twin technology in wind turbine fault diagnosis and condition monitoring. *Proceedings of 2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT*

<https://doi.org/10.1109/ICMIMT52186.2021.9476186>

- Özgüner, M., ve Ovalı, E. (2023). Dijital ikiz teknolojisinin imalat sektöründe kullanımı noktasında kritik öneme sahip başarı faktörlerinin swara yöntemiyle değerlendirilmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 24(1), 449–462.
- Park, K. T., Son, Y. H., ve Noh, S. Do. (2020). The architectural framework of a cyber physical logistics system for digital-twin-based supply chain control. *International Journal of Production Research*, 59(19), 5721–5742. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1788738>
- Qiu, F., Chen, M., Wang, L., Ying, Y., ve Tang, T. (2023). The architecture evolution of intelligent factory logistics digital twin from planning, implement to operation. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(9), 1–13. <https://doi.org/10.1177/16878132231198339>
- Ríos, J., Hernández, J. C., Oliva, M., ve Mas, F. (2015). Product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 2, 657–666. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-544-9-657>
- Ríos, J., Morate, F. M., Oliva, M., ve Hernández, J. C. (2016). Framework to support the aircraft digital counterpart concept with an industrial design view. *International Journal of Agile Systems and Management*, 9(3), 212–231. <https://doi.org/10.1504/IJASM.2016.079934>
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., ve Bettenhausen, K. D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- San, O., Pawar, S., ve Rasheed, A. (2023). Decentralized digital twins of complex dynamical systems. *Scientific Reports*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47078-9>
- Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S. C. Y., ve Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3935–3953. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>
- Thelen, A., Zhang, X., Fink, O., Lu, Y., Ghosh, S., Youn, B. D., Todd, M. D., Mahadevan, S., Hu, C., ve Hu, Z. (2022). A comprehensive review of digital twin — part 1: modeling and twinning enabling technologies. *In Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(12). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03425-4>
- Tuegel, E. J. (2012). The airframe digital twin: Some challenges to realization.

Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, April 2012'de Sunulmuş Bildiri. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1812>

- Tuncer, E. (2006). Risk Yönetimi , Sermaye yeterliliği ve finansal sektör istikrarı çerçevesinde stres testleri. *Bankacılar Dergisi*, 57, 67–74.
- Venkatesan, S., Manickavasagam, K., Tengenkai, N., ve Vijayalakshmi, N. (2019). Health monitoring and prognosis of electric vehicle motor using intelligent-digital twin. *IET Electric Power Applications*, 13(9), 1328–1335. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2018.5732>
- Vrabič, R., Erkoynucu, J. A., Butala, P., ve Roy, R. (2018). Digital twins: Understanding the added value of integrated models for through-life engineering services. *Procedia Manufacturing*, 16, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.167>
- Wang, L., Deng, T., Shen, Z. J. M., Hu, H., ve Qi, Y. (2022). Digital twin-driven smart supply chain. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 56–70. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0186-9>
- Wu, Y., Zhang, K., ve Zhang, Y. (2021). Digital twin networks: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(18), 13789–13804. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3079510>
- Yang, J., Zhang, W., ve Liu, Y. (2013). Subcycle fatigue crack growth mechanism investigation for aluminum alloys and steels. *13th International Conference on Fracture 2013, ICF 2013'de Sunulmuş Bildiri.* <https://doi.org/10.2514/6.2013-1499>
- Yıldız Çankaya, S. (2022). Tedarik zinciri görünürlüğünü etkileyen faktörler ve görünürlüğün işletme performansı ilişkisi:Türkiye’de saha araştırması. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 23(1), 63–80. <https://doi.org/10.24889/ifede.1018715>
- Zhou, M., Yan, J., ve Feng, D. (2019). Digital twin and its application to power grid online analysis. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 5(3), 391–398. <https://doi.org/10.17775/cseejpes.2018.01460>

WEB Kaynakları

- DHL Trend Research (2023), Digital Twins in Logistics: A DHL perspective on the impact of digital twins on the logistics industry, <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/csi/documents/pdf/csi-ltr6-resources-digital-twins-in-logistics-dhl-trend-report.pdf> adresinden 12 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- Türk Havacılık Uzay Sanayii, <https://www.tusas.com/> adresinden 1 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.