

# Üretim, Tedarik Zinciri ve Organizasyonel Tasarımda

Güncel Stratejik Yaklaşımlar



Editör

HÜSEYİN ŞANLI



**BİDGE Yayınları**

**Üretim, Tedarik Zinciri ve Organizasyonel Tasarımda Güncel Stratejik Yaklaşımlar**

**Editör: HÜSEYİN ŞANLI**

**ISBN: -**

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

[www.bidgeyayinlari.com.tr](http://www.bidgeyayinlari.com.tr) - [bidgeyayinlari@gmail.com](mailto:bidgeyayinlari@gmail.com)

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara





# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                          |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| E-VTOL ARAÇLARIN TEDARİK ZİNCİRİ<br>OPERASYONLARINA ENTEGRASYONU: SÜRECİ<br>ŞEKİLLENDİREN MAKRO ÇEVRESEL FAKTÖRLER ..... | 1 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

*ZAFER DURAN*

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÇEVİK ÜRETİM YAKLAŞIMI VE STRATEJİK ETKİLERİ:<br>KURAMSAL BİR İNCELEME ..... | 44 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

*FEVZİ DİKER*

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| C-PARÇA YÖNETİMİ BAĞLAMINDA<br>ORGANİZASYONEL TASARIM SÜRECİ: FSP İŞ<br>MODELİNDE KAVRAMSAL BİR UYGULAMA ..... | 70 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

*MURAT KOCAMAZ, MURAT CAN TUNALI*

# BÖLÜM 1

## E-VTOL ARAÇLARIN TEDARİK ZİNCİRİ OPERASYONLARINA ENTEGRASYONU: SÜRECİ ŞEKİLLENDİREN MAKRO ÇEVRESEL FAKTÖRLER

**Zafer DURAN<sup>1</sup>**

### **Giriş**

Günümüz tedarik zincirleri küresel ticaretin hızla değişen dinamikleri karşısında yapısal bir dönüşüm ihtiyacıyla karşı karşıyadır. Geleneksel lojistik sistemleri mevcut koşullar altında esneklik, hız ve sürdürülebilirlik gereksinimlerini karşılamakta giderek yetersiz kalmaktadır. Bununla birlikte her geçen gün artan ekolojik sorunlar, tedarik zincirlerinde çevreye duyarlı uygulamaların benimsenmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu bağlamda dikey iniş kalkış yapabilme kabiliyetine sahip elektrikli hava araçları (e-VTOL), kentsel alanlardaki yoğunluğu aşma kapasiteleri ve çevre dostu teknolojik nitelikleriyle tedarik zincirlerini dönüştürme potansiyeline sahip yenilikçi bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Nitekim bu araçlar, sahip oldukları yüksek manevra kabiliyeti ve erişim kolaylığı ile kentsel lojistikte ortaya

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, İşletme Yönetimi Programı, Orcid: 0000-0002-7227-4196

çıkan darboğazları kolaylıkla aşabilmekte, esnek yapıları sayesinde acil durumlara hızlı tepki verebilmekte ve düşük karbon salınımlarıyla çevreyle uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir.

E-VTOL araçlar, elektrikli motor sistemleri, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar ve gelişmiş otonom uçuş yazılımları gibi teknolojik bileşenlerden oluşmaktadır (Zhang vd., 2024). Bu teknolojik altyapı, e-VTOL araçları uçuş performansı, enerji verimliliği, bakım kolaylığı gibi temel alanlarda geleneksel hava araçlarının yapısal sınırlarını aşan bir noktaya taşımaktadır. Dahası sınırlı alanlarda dahi yüksek verimlilikle dikey kalkış ve iniş yapabilmeleri, bu araçların yoğun ve karmaşık kent dokusu içinde esnek, erişilebilir ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir ulaşım çözümü sunmalarına olanak tanımaktadır (Brown ve Harris, 2020). Dolayısıyla e-VTOL araçlar, bir ulaşım teknolojisi olmanın ötesine geçerek kentsel mobilitenin dönüşümüne katkı sunabilecek potansiyele sahip yeni bir lojistik unsur olarak görülmektedir. Sahip oldukları bu özellikler e-VTOL araçların tedarik zincirinin farklı operasyonlarında malzeme taşımadan stok yenilemeye ve acil ihtiyaçların ulaştırılmasına kadar uzanan çeşitli görevlerde etkin biçimde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak bu teknolojiler hâlâ gelişim sürecinde olduğundan sahip oldukları yüksek potansiyele rağmen tedarik zincirlerinde yaygın bir kullanım düzeyine ulaşamamıştır. Bu durumun temelinde ise bu teknolojilerin olgunlaşma sürecini doğrudan etkileyen makro çevresel koşullar yer almaktadır. Yasal düzenlemeler, altyapı yeterliliği, enerji arz güvenliği, ekonomik istikrar ve toplumsal kabul düzeyi gibi unsurlar, e-VTOL sistemlerinin yaygınlaşma hızını ve tedarik zincirlerine entegrasyon biçimini büyük ölçüde belirlemektedir.

E-VTOL araçların kent içi hava sahasında güvenli ve sürekli biçimde operasyonel hale gelebilmesi, altyapı yatırımlarından (örneğin vertiport ağı) hava trafik düzenlemelerine, enerji şebekesi entegrasyonundan siber güvenliğe kadar pek çok alanda eş zamanlı

ilerlemelere bağılıdır (Golden vd., 2025). Ayrıca bu araçların üretim ve dağıtım süreçlerine etkili biçimde entegre edilebilmesi, geleneksel tedarik zinciri yapılarının yeniden tasarlanmasını, tedarik ağlarının, bakım-ekipman planlamasının ve parça lojistiğinin yeni teknolojiye uygun biçimde optimize edilmesini de zorunlu kılmaktadır (Dulia ve Shihab, 2024). Bu optimizasyon süreci teknik ve operasyonel işlemlerin yanı sıra politik, ekonomik, sosyal, çevresel ve yasal dinamiklerin karşılıklı etkileşimi altında şekillenmektedir. Bu nedenle e-VTOL araçların tedarik zincirlerine başarılı bir şekilde entegre edilebilmesi için tüm bu çevresel faktörlerin çok boyutlu, sistematik ve analitik bir yaklaşımla değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada söz konusu gereklilikten hareketle e-VTOL araçlarının tedarik zincirlerine entegrasyon süreci makro çevresel dinamikler çerçevesinde ele alınmış ve bu çok boyutlu analiz ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal faktörleri bütüncül biçimde değerlendirebilmek için PESTEL analiziyle bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

## **E-VTOL Teknolojisi**

E-VTOL araçlar, elektriğin sessiz ve yüksek verimliliğe sahip doğasını havacılıkla birleştirerek insanlık tarihinin en eski rüyalarından biri olan kişisel hava ulaşımını yeniden tanımlamaktadır. Piste ihtiyaç duymadan dikey kalkış ve iniş yapabilen bu araçlar, kent yaşamının dokusunu dönüştürme potansiyelleriyle öne çıkmaktadır (Palaia vd., 2021). Nitekim bu araçlar şehir içi trafiğin giderek yoğunlaştığı metropollerde insanların zaman ve mekanla kurduğu ilişkiyi yeniden biçimlendirerek karasal ulaşımın sınırlarını genişletmektedir. Bununla birlikte sahip oldukları karbon salımını azaltma, enerji verimliliğini artırma ve gürültüsüz bir uçuş deneyimi sağlama kabiliyetleri, onları hem çevresel hem de toplumsal açıdan geleceğin

ulaşım paradigmasının merkezine yerleştirmektedir (Vieira vd., 2019; Su vd., 2024).

E-VTOL teknolojisinin temelinde ulaşımı bir yer değiştirme eylemi olmaktan çıkartarak zamanı kısaltan, enerjiyi yeniden tanımlayan ve mekânı yeni bir yaşamsal alan olarak kurgulayan bir deneyim hâline getirme anlayışı yatmaktadır. Bu yaklaşım, modern kentlerin hız, erişim ve sürdürülebilirlik arayışlarına yanıt verirken insanın mekânla kurduğu ilişkiye de yeni bir anlam kazandırmaktadır. Ulaşımı iki nokta arasında kat edilen bir mesafeden ziyade yaşamın akışına entegre bir deneyim olarak ele almaktadır. Zira kentsel dokunun yatayda giderek sınırlanan hareket alanı, e-VTOL araçlar sayesinde dikey ekseninde genişleme olanağı bulmakta ve şehirlerin mekânsal sınırları yeniden tanımlanmaktadır. Gökyüzü, ulaşım ağının yeni bir boyutu hâline gelirken elektrikli tahrik sistemlerinin sağladığı sessizlik ve düşük emisyon düzeyi, sürdürülebilir şehir vizyonu ile güçlü bir uyum sergilemektedir. Böylece ulaşım fiziksel hareketliliğin ötesine geçerek enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve mekânsal esneklik ekseninde yeniden biçimlenmektedir. Bir başka deyişle e-VTOL araçlar şehir içi ulaşımı yatay düzlemde dikey eksene taşıyarak kentsel hareketliliğin geleceğine yönelik stratejik bir yenilik sunmaktadır (Cohen vd., 2021; Vieira vd., 2019). Araçların her kalkışı kentsel altyapının sınırlarını genişletirken her inişi hava sahasının ulaşım sistemine entegrasyonunu somutlaştırmaktadır. Bununla birlikte bu araçların uçuş operasyonları kalkış, seyir ve iniş aşamalarına ilişkin belirli prosedürler çerçevesinde yürütölmektedir. Bu prosedürlerin genel işleyişi şekil 1'deki gibidir.

## Şekil 1 E-VTOL Araçların Uçuş Operasyonu



Kaynak: Zhyriakov vd., 2025

E-VTOL araçların gelişiminde itki teknolojileri, enerji yoğunluğu ve kontrol sistemleri temel belirleyici alanlar olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli tahrik sistemleri, geleneksel hava araçlarına kıyasla daha az mekanik bileşen içerdiğinden bakım maliyetlerini düşürürken güvenilirlik düzeyini de artırmaktadır (Chahba vd., 2023). Bununla birlikte bu araçlarda kullanılan dağıtık elektrikli itki (Distributed Electric Propulsion- DEP) yapısı, kaldırma kuvvetinin birden fazla motor tarafından paylaşılmasını sağlayarak hem aerodinamik verimliliği hem de sistem dayanıklılığını artırmaktadır (Su vd., 2024). Böylece herhangi bir motor arızasında dahi araç uçuş kabiliyetini koruyabilmektedir. Bu özellik e-VTOL araçların güvenlik standartlarını yukarıya taşımakta ve operasyonların geleneksel hava araçlarına kıyasla daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesine katkı sağlamaktadır.

Tasarım açısından bakıldığında e-VTOL sistemleri çok rotorlu (multi-rotor), lift+cruise ve vektörel itki (vectored thrust) sistemler olmak üzere üç temel sınıfta toplanmaktadır (Su vd., 2024). Çok rotorlu yapı, kısa menzilli şehir içi görevleri yüksek manevra kabiliyeti ve düşük gürültü seviyesiyle gerçekleştirebilmesiyle dikkat çekmektedir. Lift+cruise tipi araçlarda ise dikey kalkış ve yatay seyir için farklı motor sistemleri kullanılarak menzil ve enerji verimliliği açısından önemli bir avantaj sağlanmaktadır. Son olarak

vektörel itki sistemleri, tek bir motor mimarisinin hem dikey hem de yatay uçuşu yönetmesini mümkün kılarak mühendislik açısından daha bütünleşik bir çözüm sunmaktadır (Bacchini ve Cestino, 2019; Swaminathan vd., 2022). Bu farklı yapıların her biri kullanım senaryosuna göre değişen avantajlar ve teknik sınırlılıklar barındırmaktadır. Bununla birlikte tüm e-VTOL tasarımları kent içi ulaşımı daha güvenli, hızlı ve çevreci hale getirme düşüncesiyle geliştirilmektedir.

Enerji sistemleri bakımından e-VTOL teknolojisinin sürdürülebilirlik iddiası, batarya teknolojileriyle yakından ilişkilidir. Lityum-iyon bataryalar mevcut durumda en yaygın kullanılan enerji kaynağı olsalar da bu bataryaların enerji yoğunluğuna ilişkin sınırlılıkları, uzun menzilli uçuşlarda performansı kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda hibrit güç aktarma sistemleri yani batarya ve yakıt hücresi kombinasyonları geliştirmeye yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Bu hibrit sistemler uçuş menzilini artırırken emisyon oranlarını da düşük seviyede tutarak çevresel etkiyi minimize etmektedir (Swaminathan vd., 2022). Ayrıca bu araçların enerji dönüşüm verimliliğini artırmak için geliştirilen geniş bant aralıklı yarı iletken (Wide Band Gap - WBG) teknolojiler hem ağırlık hem de ısı yönetimi açısından sistemin genel performansını iyileştirmektedir. Bu gelişmeler, e-VTOL araçların yakın gelecekte tamamen elektrikli ve uzun menzilli görevlerde de kullanılabilir hale gelmesine zemin hazırlamaktadır. Bu araçların hava sahasına entegrasyonu ise geleneksel havacılıktan farklı olarak düşük irtifa, kısa mesafe ve yüksek frekanslı uçuş operasyonlarını içermektedir. Bu durum, kentsel hava hareketliliği/mobilitesi (Urban Air Mobility - UAM) kavramını teknik bir projeden çok bütünleşik bir ulaşım vizyonuna dönüştürmektedir (Cohen vd., 2021). E-VTOL altyapılarının kara ulaşımıyla entegre biçimde planlanması, iniş-kalkış noktalarının stratejik biçimde konumlandırılması ve dijital trafik kontrol

sistemlerinin bu ağılara uyarlanması, geleceğin kentlerinde hava sahasının bu araçlar tarafından güvenli ve verimli biçimde kullanılabilmesi için son derece önem arz etmektedir.

### **Tedarik Zinciri Operasyonlarında e-VTOL Araçların Kullanımı**

E-VTOL araçların tedarik zincirinde kullanımı, ulaştırma teknolojilerinin evriminde yeni bir dönüşüm noktasını temsil etmektedir. Bu dönüşüm, tedarik zincirlerinin işleyiş mantığını, mekânsal örgütlenmesini ve zaman algısını yeniden tanımlamaktadır. Keza kara ve hava taşımacılığı arasındaki çizgiler bulanıklaştıkça e-VTOL sistemleri kentsel lojistikte hız, erişilebilirlik ve enerji verimliliğini aynı potada eriten bir dönüşümün temsilcisi haline gelmektedir. Özellikle yoğun kent dokusunda artan trafik baskısı, teslimat sürelerine duyarlılığın yükselmesi ve işletmelerin karbon nötr hedefleri, bu araçların lojistik operasyonlara entegrasyonunu stratejik bir gereklilik haline getirmektedir. Zira gelişmiş batarya yapısı, menzil optimizasyonu, dikey kalkış-iniş kabiliyeti ve veri temelli rota algoritmalarıyla donatılmış e-VTOL araçlar, dağıtım süreçlerinde zamanı kısaltan, enerjiyi verimli kullanan ve operasyonel belirsizliği azaltan bir yapıya sahiptir. Bu özellikleriyle tedarik zinciri mimarisinin dijitalleşme, esneklik ve sürdürülebilirlik ekseninde yeniden şekillenmesini tetikleyen bir ara yüz teknolojisi olarak da değerlendirilebilir. Nitekim hız, düşük karbon salımı ve enerji verimliliği gibi avantajları sayesinde dağıtım ağlarının mekânsal ölçeğini küçültürken mikro-merkezli ve gerçek zamanlı veri akışına dayalı lojistik modellerin gelişimini de teşvik etmektedirler. Bu bağlamda e-VTOL araçların tedarik zincirlerinin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum içinde şekillenen yeni bir lojistik paradigmasının temelini oluşturduğu söylenebilir (Li & Liu, 2022).

## **E-VTOL Araçların Tedarik Zincirine Entegrasyonu**

E-VTOL araçlar, tedarik zincirlerinde hız, erişim ve esneklik dengesini yeniden tanımlayan yenilikçi bir lojistik anlayışın ürünüdür. Dikey kalkış ve iniş yeteneği, bu araçlara yoğun kent dokularından bağımsız hareket etme olanağı kazandırmakta ve bu sayede zaman duyarlılığı yüksek operasyonlarda yeni çözümler üretmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca bu araçların elektrikli itki teknolojisi, enerji verimliliğini artırmakta ve karbon salımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Bu nitelikler sayesinde e-VTOL araçlar tedarik zincirlerinin farklı operasyonel katmanlarına entegre edilebilmektedir. Çalışma kapsamında e-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonu, dört temel işlevsel boyut üzerinden ele alınmış ve aşağıda genel hatlarıyla açıklanmıştır.

### **Taşımacılık ve Dağıtım Ağına Entegrasyonu**

E-VTOL araçların taşıma işlemlerine kazandırdığı en büyük yeniliklerden biri lojistik ağ tasarımıyla yarattığı esnekliktir. Geleneksel ağ tasarımlarında merkezi depo ve aktarma merkezleri önemli rol oynarken e-VTOL'ların dikey kalkış/inış ve doğrudan uçuş yeteneği sayesinde bazı ara basamaklara duyulan ihtiyaç giderek azalmaktadır. Örneğin UPS, devreye almayı planladığı kargo e-VTOL filosuyla küçük paketleri dağıtım merkezleri arasında doğrudan taşıyarak havalimanı gibi aktarma noktalarını devreden çıkarmayı hedeflemektedir (Fuller, 2021). Bu yaklaşım, taşıma sürecindeki dokunma noktalarını azaltarak aktarma gereksinimini düşürmekte, teslimat sürelerini kısaltmakta ve özellikle zaman kritik gönderilerde tedarik zinciri verimliliğini artırma potansiyeliyle dikkat çekmektedir. Nitekim dikey kalkış sayesinde e-VTOL'lar, mevcut UPS tesislerinin küçük alanlarında birer mikro hava aktarma ağı kurarak, ara altyapıya ihtiyaç duymadan merkezler arasında hızlı transfer yapabilmesine olanak tanıyabilir.

E-VTOL teknolojilerinin tedarik zincirlerine entegrasyonu, dağıtım ağlarının yapısal kurgusunda da köklü bir dönüşümün kapılarını aralamaktadır. Bu araçlar, üretim birimleri ile tedarikçiler arasında yüksek frekanslı ve düşük hacimli taşımaları mümkün kılarak kara taşımacılığına dayalı geleneksel düzenleri esnek, senkronize ve düşük karbonlu bir yapıya dönüştürmektedir. Nitekim Ito ve Tsuge (2022) şehir içi hava taşımacılığının endüstriyel üretim ağlarında dikey entegrasyon koridorları yarattığını ve bu koridorların üretici-tedarikçi etkileşimini hız, maliyet ve çevresel performans boyutlarında yeniden tanımladığını vurgulamaktadır. Yalnız bu durum fiziksel akışların yanı sıra karar destek sistemlerinin ve operasyonel planlamanın da dönüşümünü gerektirmektedir. Zira e-VTOL'ların etkin biçimde çalışabilmesi, hava trafik yönetimi, iniş/kalkış noktaları ve enerji ikmal altyapısı gibi unsurları içeren yeni bir lojistik mimarinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu da şehir içi alanlarda hava otoyolları benzeri rotaların tasarlanmasını, dijital hava kontrol sistemlerinin geliştirilmesini ve uçuş izinlerinin anlık olarak optimize edilmesini gerektirmektedir. Her ne kadar bu altyapı yatırımları başlangıçta yüksek maliyet ve düzenleyici zorluklar doğursa da uzun vadede tedarik zincirlerinin mekânsal esnekliğini ve karbon-nötr taşımacılık hedefleriyle uyumunu artırma potansiyeline sahiptir.

### **Üretim ve Tedarik Süreçlerine Entegrasyonu**

E-VTOL araçların tedarik zincirine entegrasyonunun bir diğer boyutu, üretim ve tedarik süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Küresel değer zincirlerinde just-in-time (tam zamanında) üretim anlayışının giderek daha fazla benimsenmesi, kritik parçaların ve yarı mamullerin doğru zamanda montaj hatlarında bulunmasını stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu bağlamda e-VTOL araçlar, özellikle beklenmedik tedarik gecikmelerinin üretim hattını durma noktasına getirdiği durumlarda acil parça ve malzeme taşımacılığında yeni bir çözüm alanı sunmaktadır. Nitekim dikey

kalkış ve iniş kabiliyeti sayesinde e-VTOL'lar kara trafiğine bağımlı olmayan ve mikro düzeyde planlanabilen tedarik rotaları aracılığıyla üretim tesisleri arasında hızlı teslimatlar gerçekleştirebilirler. Böylece üretim tedarik süreçlerinin çevrim süresini kısaltırken sistemin esnekliğini ve yanıt verme kapasitesini artırabilirler.

E-VTOL araçlar, dikey kalkış ve iniş kabiliyeti sayesinde üretim birimleri arasında yüksek frekanslı, düşük hacimli ve kısa mesafeli taşımaları düzenli bir şekilde gerçekleştiren bir alternatif de olabilirler. Bu yaklaşım, özellikle dağıtık üretim yapılarında farklı tesislerin daha esnek biçimde konumlanmasına ve montaj süreçlerinin senkronizasyonunun güçlenmesine olanak tanıyabilir. Dolayısıyla e-VTOL araçlar üretim ağlarının esnekliğini, enerji verimliliğini ve dijital entegrasyon düzeyini yükselterek üretim sistemlerini ve tedarik zincirinin dönüşümünde yapısal bir rol üstlenebilir. Nitekim literatürde bu sistemlerin enerji tüketimi, karbon emisyonu ve üretim çevikliği bakımından olumlu etkiler doğurabileceği belirtilmektedir (Li ve Liu, 2022; Munawar, 2024). Bununla birlikte bu araçların altyapı gereksinimleri, güvenlik standartları ve operasyonel entegrasyon süreçleri henüz olgunlaşma aşamasındadır. Bu nedenle e-VTOL teknolojilerinin üretim ve montaj lojistiğine entegrasyonu, potansiyel kazanımların yanında teknik, regülasyonel ve ekonomik açılardan dikkatle değerlendirilmesi gereken bir uygulama alanı olarak görülmelidir. Yeterli olgunluk düzeyi oluşmadan e-VTOL araçları üretim sistemlerinin tedarik akışında kullanma girişimi, sistemin tamamen çökmesine dahi neden olabilir.

## **Depolama ve Envanter Yönetimine Entegrasyonu**

Tedarik zincirlerinde depo yönetimi ve envanter stratejileri, ulaşım altyapısındaki teknolojik yeniliklerden doğrudan etkilenen alanlardır. Dolayısıyla e-VTOL araçların sunduğu hızlı, doğrudan ve trafik bağımsız ulaşım imkânı, firmaların envanter konumlandırması

ve depolama ağlarının mimarisini yeniden düşünmelerine neden olmaktadır. Geleneksel yaklaşımlarda müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilmek amacıyla bölgesel veya şehir içi dağıtım merkezlerinin tercih edilmesi, yüksek envanter seviyeleri, mükerrer stok bulundurma ve operasyonel maliyet artışı gibi sorunları beraberinde getirmektedir. E-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonu ise merkezi depo veya bölgesel hub noktalarından çok daha geniş coğrafi alanlara kısa sürede erişimi mümkün hale getirebilmektedir. Bu durum, az sayıda ama stratejik konumlandırılmış depo mantığını destekleyerek hub-and-spoke (Topla-dağıt) yapısının dijital ve hava tabanlı bir biçime evrilmesini sağlayabilir. Böylece işletmeler daha düşük toplam envanterle faaliyetlerini kesintisiz bir şekilde sürdürebilme imkanı elde edebilirler.

E-VTOL araçların envanter yönetimde sağlayabileceği bir diğer avantaj, talep değişimlerine hızlı tepki verebilme kabiliyeti sunmasıdır. Geleneksel dağıtım ağlarında bölgesel talep artışları veya ani stok tükenmeleri karşısında dengesizliklerin giderilmesi günler sürebilirken, e-VTOL destekli sistemlerde depolar arasındaki transferler dakikalar içinde gerçekleştirilebildiği için stok tükenmesi riski ve güvenlik stoğu gereksinimi önemli ölçüde azalabilir. Ancak merkeziyetçi envanter stratejisi her ürün grubu için uygun değildir. E-VTOL araçların taşıma kapasitesi ve menzil kısıtları bu sistemi sadece düşük hacimli fakat yüksek değerli ürünler için avantajlı kılmaktadır. Elektronik, ilaç ve tıbbi ekipman gibi zaman duyarlı ürünlerde e-VTOL destekli merkezi depolama hızlı yeniden dağıtım avantajı yaratırken hacimli veya ağır ürünlerde bu kapasite sınırları etkinliği azaltabilir. Bununla birlikte bu dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için altyapısal yeniden yapılanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Depo tesislerinin e-VTOL operasyonlarına uygun hale getirilmesi için vertiport kurulması, yükleme boşaltma otomasyonunun sağlanması ve dijital planlama sistemlerinin entegrasyonu gerekmektedir (Su vd., 2024).

## **Tersine Lojistik ve Acil Durum Taşımacılığına Entegrasyonu**

Müşteri iadelerinin veya atık ve geri dönüşüm malzemelerinin toplanması genellikle maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Farklı coğrafyalardan merkezî iade depolarına ürün taşımayı gerektiren bu süreçte e-VTOL araçlar hız kazandırıcı bir unsur olarak devreye girebilir. Büyük e-ticaret işletmeleri, farklı şehirlerden toplanan iade ürünlerini e-VTOL'lar ile tek bir ayrıştırma merkezine kısa sürede ulaştırarak ürünlerin yeniden satışa hazırlanma süresini kısaltabilir. Benzer biçimde yüksek değerli ürünlerin geri çağırılması gerektiğinde e-VTOL araçlar toplama işlemini karayolu taşımacılığına kıyasla çok daha kısa sürede gerçekleştirebilir. Tersine akışın hızlanması, nakit dönüşüm döngüsünü olumlu yönde etkilerken atıl stok ve değer kaybı riskini de azaltmaktadır. Tersine tedarik zinciri kapsamında değerlendirilmesi gereken bir diğer alan da yedek parça ve bakım lojistiğidir. Zira saha servis operasyonlarında arızalı ekipman için gerekli yedek parçanın hızlı bir şekilde ulaştırılması gerekmektedir. Böyle durumlarda e-VTOL araçlar ihtiyaç duyulan yedek parçayı ilgili noktaya hızlı bir şekilde ulaştırarak etkili çözümler sunabilir. Örneğin bir rüzgâr türbininde yaşanan arıza durumunda ilgili yedek parça e-VTOL ile doğrudan türbinin bulunduğu rüzgâr çiftliğine gönderilerek karayoluyla saatler sürecektir bir teslimat çok daha kısa sürede tamamlanabilir. Hatta parçanın türbinin üst noktasına yakın bir yere bırakılması, bakım ekiplerinin müdahalesini de kolaylaştırabilir.

Acil durum lojistiği, e-VTOL teknolojilerinin toplumsal değer zincirine en doğrudan katkı sunabileceği alandır. Doğal afetler sonrasında karayollarının hasar gördüğü veya trafik altyapısının işlevsiz hale geldiği durumlarda e-VTOL araçlar dikey kalkış ve iniş kabiliyeti sayesinde hayati malzemelerin ilgili noktalara ulaştırılmasında kritik bir rol üstlenebilir. Geleneksel helikopterler uzun süredir bu görevi yerine getirir de e-VTOL sistemleri daha

düşük işletme maliyeti, daha az gürültü emisyonu ve otonom uçuş potansiyeli ile daha erişilebilir bir çözüm sunmaktadır (Justhelicopters, 2022). Özellikle tıbbi lojistikte kan ürünleri, organ nakli ve acil ilaç taşımacılığı gibi zamana duyarlı görevlerde e-VTOL'ların kullanımı birçok pilot bölgede test edilmektedir. Ruanda ve Gana'da küçük insansız hava araçlarıyla yıllardır yürütülen kan paketi taşımacılığı uygulamaları, bu konseptin daha büyük ölçekli e-VTOL araçlarla kentsel ortama uyarlanabileceğine işaret etmektedir. Hastaneler arasında kurulacak bir e-VTOL ağı, kritik hastalar için kan, plazma veya organ bekleme sürelerini ciddi biçimde azaltma fırsatı sunabilir. Keza Airbus'ın kentsel hava mobilitesi strateji ekibine göre, e-VTOL'ların kısa vadede acil tıbbi nakliye ve hava ambulansı operasyonlarında mevcut helikopter filolarını tamamlayıcı bir işlev görmesi beklenmektedir (Justhelicopters, 2022). Tüm bu potansiyeline karşın günümüz batarya teknolojisi e-VTOL araçların ağır görevlerde kullanılmasını sınırlandırmaktadır. Orman yangını söndürme veya ağır arama-kurtarma ekipmanlarının taşınması gibi yüksek enerji gerektiren acil durum operasyonları e-VTOL'ların kapasitesini aşmaktadır.

### **E-VTOL Araçların Tedarik Zinciri Operasyonlarına Entegrasyonunu Şekillendiren Makro Çevresel Faktörler**

Bu çalışmada e-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonunu şekillendiren makro çevresel faktörler, PESTEL analiziyle değerlendirilmiştir. PESTEL analizi, politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve hukuki faktörleri bir arada ele alarak örgütlerin faaliyet gösterdiği dış çevreyi çok boyutlu biçimde değerlendirmeye imkân tanıyan bir analiz yöntemidir. Her ne kadar bu analiz çoğunlukla örgütlerin stratejik planlama, pazar analizi veya rekabet avantajı geliştirme süreçlerinde kullanılmakta olsa da esnek yapısı sayesinde sektörel dönüşümler, teknolojik yeniliklerin yayılımı ve politik-ekonomik sistemlerin etkileşimi gibi daha geniş ölçekli değerlendirmelere de uyarlanabilmektedir.

PESTEL analizi çevresel unsurların uzun vadeli etkilerinin öngörülmesine olanak tanımakta ve dış çevrenin dinamik ve karmaşık yapısını çözümlemeye yardımcı olmaktadır. PESTEL adını analizde dikkate alınan altı temel çevresel boyutun (Politik, Ekonomik, Sosyal, Teknolojik, Çevresel ve hukuki) İngilizce karşılıklarının baş harflerinden almaktadır (Tellioğlu ve Tekin, 2017). Politik faktörler, hükümet politikaları, yasal düzenlemeler, teşvikler, vergilendirme ve kamu müdahaleleri gibi hususları kapsarken ekonomik faktörler, enflasyon, faiz oranları, ekonomik büyüme, ham madde fiyatları gibi makroekonomik koşulları içermektedir. Sosyal faktörler, demografik yapı, kültürel normlar, eğitim düzeyi, toplumun değerleri ve tüketici davranışları gibi unsurlardan oluşmaktadır. Teknolojik faktörler, yenilik kapasitesi, Ar-Ge faaliyetleri, dijitalleşme, otomasyon ve sektörün altyapısal olgunluğu gibi etmenleri kapsamaktadır. Çevresel faktörler, iklim değişikliği, enerji politikaları, doğal kaynak kullanımı ve atık yönetimi gibi konulara odaklanmaktadır. Hukuki faktörler ise yasa ve yönetmelikler, düzenleyici kurumların tutumları, iş hukuku, tüketici hakları gibi unsurları içermektedir.

Bu çalışmada PESTEL analizinin tercih edilmesinin başlıca nedeni e-VTOL teknolojisinin henüz erken gelişim aşamasında bulunması ve bu alana ilişkin ampirik verilerin sınırlı olmasıdır. Mevcut literatürde e-VTOL sistemlerine ilişkin çalışmaların büyük bölümü, teknolojik yeterlilik, enerji verimliliği veya tasarım odaklı teknik çıktılarına yoğunlaşmaktadır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi e-VTOL sistemleri, yalnızca mühendislik tabanlı bir yenilik değildir. Politik yönelimlerden ekonomik dalgalanmalara, toplumsal kabullenmeden çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine kadar uzanan geniş bir etkileşim alanının içinde gelişen bir teknolojik dönüşümü temsil etmektedir. Bu nedenle henüz kurumsallaşma sürecini tamamlamamış bir teknolojinin olgunlaşma dinamiklerinin anlaşılmasında sistemin gelişimini biçimlendiren dışsal faktörlerin

bütüncül biçimde değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda PESTEL analizi, e-VTOL ekosisteminin politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve hukuki çevre boyutlarını bütüncül biçimde ele alarak hem bugünkü sınırlarını hem de gelecekteki potansiyelini anlamlandırmak için uygun bir zemin sunmaktadır. Benimsenen bu yaklaşım veri eksikliğini bir sınırlılık olmaktan çıkararak, henüz ampirik olarak ölçülemeyen eğilimleri kavramsal tutarlılık ve nedensel bütünlük içinde yorumlamaya olanak tanımıştır.

### **Politik Faktörler**

Hükümet politikaları ve düzenleyici kurumların yaklaşımları, e-VTOL operasyonlarının ölçeklenebilirliği ve güvenliğinin çerçevesini belirleyen unsurların başında gelmektedir. Özellikle havacılık otoriteleri tarafından oluşturulan sertifikasyon standartları, bu teknolojinin hangi hızda ve hangi kapsamda yaygınlaşabileceğini doğrudan etkilemektedir. Örneğin ABD Federal Havacılık İdaresi (FAA) ile Avrupa Birliği Havacılık Güvenliği Ajansı (EASA), e-VTOL araçların sertifikasyonu konusunda farklı teknik kriterler ve güvenlik hedefleri benimsemektedir. ABD’de gürültü limitleri mevcut helikopter standartlarına göre belirlenirken Avrupa’da e-VTOL’lar için ayrı bir değerlendirme sistemi uygulanmaktadır (ifairworthy, 2025). Bu durum, küresel ölçekte regülasyon uyumsuzluklarına neden olarak e-VTOL üreticileri ve operatörleri açısından maliyet artışı, sertifikasyon sürecinde belirsizlik ve pazara giriş engelleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) gibi küresel havacılık otoriteleri tarafından e-VTOL teknolojilerine yönelik ortak güvenlik, gürültü ve çevresel kriterlerin oluşturulmasına duyulan ihtiyaç her geçen gün daha belirgin hale gelmektedir.

Politik düzlemde öne çıkan bir diğer unsur hava sahası yönetimi ve altyapı planlamasıdır. Mevcut hava trafik kontrol sistemlerinin düşük irtifada yoğunlaşacak e-VTOL uçuşlarını güvenli biçimde yönetebilecek kapasiteye ulaşması gerekmektedir. Nitekim Brezilya Havacılık Otoritesi'nin 2025 yılında yayımladığı bir raporda mevcut helikopter hava sahası kurallarının artan drone ve e-VTOL trafiğine uyarlanması gerektiği vurgulanmaktadır (zagdaily, 2025). Bu bağlamda insansız hava aracı trafik yönetimi (UTM) sistemlerinin geliştirilmesine yönelik atılacak politik adımlar e-VTOL araçların geleceğini şekillendirme gücüne sahiptir. Keza Airbus'ın kentsel hava hareketliliği vizyonu da e-VTOL araçların gelişimi için UTM sistemlerinin, şehir altyapısının ve operasyonel hizmetlerin bütüncül biçimde ele alınması gerektiğine dikkat çekmektedir.

Güvenlik protokolleri ve sertifikasyon süreçleri, e-VTOL teknolojilerinin tedarik zincirlerine entegrasyonuna ilişkin bir diğer politik unsurdur. E-VTOL araçların uçuşa elverişlilik (airworthiness) sertifikasyon işlemleri, geleneksel hava araçlarına kıyasla bünyelerinde barındırdıkları yeni teknolojik bileşenler nedeniyle oldukça karmaşık bir şekilde gerçekleşmektedir. EASA'nın özel koşulları ve FAA'in geçici düzenlemeleri başlangıçta e-VTOL'ları mevcut kategorilere uyarlamaya çalışsa da uzun sertifikasyon süreleri sektör paydaşları açısından önemli bir belirsizliğe neden olmaktadır (International Institute of Air and Space Law, 2025). Bununla birlikte sertifikasyon yalnızca sürecin başlangıcıdır. Operasyonel onay ve sahadaki güvenlik koşullarının sağlanması da ayrı düzenlemeler gerektirmektedir. Güncel mevzuata göre e-VTOL pilotlarının, uçak ya da helikopter pilotları gibi ticari pilot lisansına sahip olması gerektiği öngörülse de yüksek otomasyon seviyeleri göz önüne alındığında bu gereklilik tartışmalı bir konuya dönüşmektedir. Regülatör kurumlar, mevcut lisanslama çerçevesinin bu yeni teknolojiye uygun olup olmadığını ya da e-VTOL'lara özgü

ayrı bir lisans kategorisine ihtiyaç duyulup duyulmadığını değerlendirmektedir (International Institute of Air and Space Law, 2025). Politik faktörler bununla da sınırlı değildir. Devlet teşvikleri, kamu yatırımları ve altyapı destekleri de e-VTOL ekosisteminin gelişiminde yön belirleyici bir rol oynamaktadır. Birçok ülke karbon emisyonlarını azaltma ve teknolojik inovasyonu hızlandırma hedefleri doğrultusunda elektrikli hava taşıtlarına yönelik Ar-ge fonları, vergi indirimleri ve altyapı yatırımlarını gündemine almıştır. Bazı şehir yönetimleri vertiport inşası ve pilot proje izinleriyle e-VTOL operasyonlarını teşvik etmektedir.

### **Ekonomik Faktörler**

E-VTOL araçların ekonomik sürdürülebilirliği ve maliyet etkinliği, bu teknolojilerin tedarik zincirlerine entegrasyonunun başarısı açısından temel belirleyicilerden bir diğerinin çerçevesini oluşturmaktadır. Yatırım ve finansman ortamı, halen gelişim aşamasında bulunan bu sektör için oldukça öneme sahiptir. Zira e-VTOL girişimleri, yüksek Ar-ge giderleri, prototip üretimi ve sertifikasyon süreçlerinin maliyetlerini karşılayabilmek için büyük ölçekli sermaye yatırımlarına ihtiyaç duymaktadır. Son yıllarda risk sermayesi fonları, stratejik ortaklıklar ve kurumsal yatırımlar aracılığıyla milyarlarca dolarlık kaynak sağlanmış olsa da pazarın olgunlaşma sürecine ilişkin belirsizlikler ve düzenleyici gecikmeler yatırımcı davranışlarını temkinli hale getirmektedir. Siddiqi'nin (2024) değerlendirmesine göre yeterli sermaye toplayamayan bazı e-VTOL girişimlerinin finansal baskılar nedeniyle sektörden çekilmesi veya birleşmeler yoluyla konsolidasyona gitmesi olasıdır. Bununla birlikte, Boeing, Airbus ve UPS gibi büyük havacılık ve lojistik şirketlerinin e-VTOL projelerine stratejik düzeyde dahil olması, uzun vadeli ekonomik potansiyele ve bu teknolojinin gelecekteki ticarî uygulanabilirliğine duyulan güvenin bir göstergesi olarak değerlendirilmelidir.

Operasyonel maliyetler açısından e-VTOL araçlarının en önemli avantajlarından biri, elektrikli tahrik sistemleri sayesinde yakıt ve bakım giderlerinin geleneksel helikopterlere kıyasla oldukça düşük olmasıdır. Yapılan analizler, tipik bir helikopterin uçuş saatinin ortalama 1200 €/saat civarında bir maliyete karşılık geldiğini ve bunun şehir içi bir uçuşta kişi başına yaklaşık 200–250 €’luk yüksek bir ücret anlamına geldiğini ortaya koymaktadır (Fioriti vd., 2024). Bu yüksek maliyet ve beraberinde gelen gürültü sorunu, geçmişte şehir içi hava taşımacılığı girişimlerinin yaygınlaşmasını önemli ölçüde sınırlamıştır. Buna karşılık e-VTOL araçlar, elektrikli motor yapıları, basitleştirilmiş dikey kalkış ve iniş mekanizmaları ile otonom uçuş kabiliyeti sayesinde çok daha düşük işletme giderleri vadetmektedir. Bu düşüşün temel nedeni, yakıt yerine elektriğin kullanılması ve e-VTOL sistemlerinin çok daha az hareketli parçadan oluşması nedeniyle bakım gereksiniminin azalmasıdır. Ayrıca tam elektrikli operasyon modeli, enerji maliyetlerinde öngörülebilirlik de sağlamaktadır. Keza e-VTOL araçların kullanımında fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara maruz kalınmadan daha istikrarlı ve sürdürülebilir bir maliyet yapısı oluşturulabilir. Bununla birlikte başlangıç yatırımları ve üretim maliyetlerinin kısa vadede yüksek olması öngörülmektedir. Zira yeni bir hava aracı tipinin tasarımı, prototip üretimi, test uçuşları ve sertifikasyon süreçleri milyonlarca dolarlık sermaye gerektirmektedir. Ayrıca e-VTOL üreticileri başlangıç aşamasında nispeten düşük adetli üretim gerçekleştirdikleri için birim başına imalat maliyetleri oldukça yüksektir. Ancak sektör olgunlaştıkça ölçek ekonomilerinin devreye girerek üretim maliyetleri önemli ölçüde düşebilir. Nitekim 2050 yılına kadar dünya genelinde 160.000’in üzerinde e-VTOL aracın üretilmesi tahmin edilmekte ve bu artışın havacılık temelli el işçiliği yerine otomotiv sektöründe kullanılan otomasyon tekniklerinin benimsenmesiyle imalat maliyetlerinde belirgin bir düşüşün yaşanacağı öngörülmektedir (Fioriti vd., 2024). Bu doğrultuda ilerleyen yıllarda e-VTOL üretim

hatlarının büyük ölçüde otomasyona dayalı, daha hızlı ve maliyet açısından çok daha verimli hale gelmesi beklenebilir.

Ekonomik fizibilite açısından bir diğer önemli husus, maliyet etkinliği ve getiri hesaplamalarıdır. E-VTOL araçların sağlayacağı hız, esneklik ve verimlilik kazanımları, bu teknolojilerin yüksek başlangıç yatırımlarını ne ölçüde telafi edebileceğini belirleyecektir. Özellikle teslimat sürelerinin kısalması ve lojistik zincirindeki aktarma noktalarının azalması, işletmelerin envanter maliyetlerini düşürmesine ve operasyonel çevikliğini artırmasına katkı sağlayabilir. Zaman hassasiyeti yüksek ve katma değeri fazla gönderilerde (örneğin sağlık sektöründe acil ilaç ve kan ürünleri taşımacılığı ya da kritik yedek parça lojistiğinde) e-VTOL araçların sunduğu hızlı ve doğrudan ulaşım, müşteriler açısından ek ücret ödemeye değer bir hizmet haline gelebilir. Bunun yanı sıra orta vadede pilot maliyetlerinin azaltılabilmesi halinde ekonomik denklem önemli ölçüde değişebilir. Zira ilk aşamada e-VTOL araçların güvenlik gerekçesiyle pilotla uçuşu zorunlu bir uygulama olsa da uzun vadede otonom uçuş veya uzaktan pilotaj uygulamalarına geçişin yapılmasıyla maliyetler önemli ölçüde düşebilir.

## **Sosyal Faktörler**

Toplumun teknolojik yeniliklere açıklığı ve bu yenilikleri kabullenme düzeyi, e-VTOL araçların yaygınlaşmasında rol oynayabilen bir diğer belirleyici unsurdur. Nitekim EASA'nın (2021) Avrupa genelinde yürüttüğü bir araştırma, şehir sakinlerinin kentsel hava taşımacılığı uygulamalarına genel olarak olumlu yaklaştığını ortaya koymaktadır. Söz konusu araştırmada katılımcılar, e-VTOL teknolojisinin sağlayabileceği faydalar olarak en çok daha hızlı ulaşım olanağını, çevreye duyarlı bir mobilite alternatifi sunmasını ve uzak bölgelerle bağlantıyı güçlendirmesini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca e-VTOL'ların acil tıbbi taşımalar

ve afet durumlarında daha hızlı müdahale imkânı sağlamasının en yüksek toplumsal değer potansiyeline sahip alan olduğu belirtilmiş ve katılımcıların yüzde 71'i bu konuda teknolojinin önemli bir katkı sunacağı görüşünü dile getirmiştir. Bununla birlikte araştırmada güvenlik kavramı teknik arızalar veya insan hatalarından kaynaklanabilecek kazalarla, emniyet ise kasıtlı saldırılar, siber tehditler ve iletişim altyapısındaki kesintiler gibi dışsal risklerle ilişkilendirilmiştir. Gürültü konusu da çevresel kaygılar arasında öne çıkmakta olup, yolcu taşımacılığına yönelik e-VTOL araçlarda güvenlikten sonra en önemli ikinci endişe unsuru olarak tanımlanmıştır. Katılımcıların yarısından fazlası e-VTOL'ların siber güvenlik ve dış müdahalelere karşı yeterli koruma sağlayacağına inansa da bu güven düzeyinin erkeklerde kadınlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Araştırmanın demografik analizleri, yaş ilerledikçe güvenlik ve gürültü konularındaki endişelerin arttığını, genç katılımcıların ise daha çok çevresel etkiler ve karbon ayak izi konularına duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, genç kuşakların e-VTOL araçlarına yönelik kabul eğilimlerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

E-VTOL araçlar helikopterlere kıyasla çok daha sessizdir. Ancak tamamen gürültüsüz değildir. Bu nedenle bu araçların yaygınlaşmasıyla oluşacak gürültü de dikkatle ele alınmalıdır. Nitekim toplumun gürültüye toleransı coğrafi ve kültürel olarak değişebilir. Örneğin yoğun şehir trafiğine sahip bölgelerde e-VTOL'ların sesi arka plan gürültüsü içinde fark edilmeyebilirken, sessiz banliyölerde rahatsızlık yaratabilir. Los Angeles üzerinde yapılan bir ölçüm çalışmasında bir e-VTOL prototipinin seyir modunda oluşturduğu gürültünün yalnızca 0.004 mil<sup>2</sup>'lik bir alanda duyulabilir olduğu, aynı rotada uçan bir helikopterin ise 45 mil<sup>2</sup>'lik bir bölgede belirgin gürültü oluşturduğu rapor edilmiştir (Welsh, 2025). Ancak unutulmamalıdır ki insanların gürültüye tepkisi yalnızca desibel düzeyiyle ilişkili değildir. Gürültünün kaynağına

ilişkin algılanan toplumsal fayda da gürültüye yönelik tutumu etkilemektedir. Örneğin insanlar ambulans helikopterlerinin gürültüsünü faydalı bir görevle ilişkilendirdikleri için daha hoşgörölü yaklaşmakta, aynı düzeydeki drone veya hava taksi gürültüsünü ise rahatsız edici bulabilmektedir (UK Civil Aviation Authority, 2025). Bu nedenle e-VTOL hizmetlerinin kamu yararına sağladığı faydaların topluma açık şekilde anlatılması, yerel halkın sürece dahil edilmesi ve geri bildirim mekanizmalarının oluşturulması e-VTOL araçların toplumsal kabulü açısından büyük önem arz etmektedir.

### **Teknolojik Faktörler**

E-VTOL araçların tedarik zincirlerine başarılı biçimde entegre edilebilmesi, mevcut teknolojik kapasitenin geliştirilmesi ve yenilikçi çözümlerin hayata geçirilmesiyle yakından ilişkilidir. Bu bağlamda batarya teknolojisi en kritik bileşenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan lityum-iyon bataryalar, e-VTOL araçlar için hem güç hem de enerji yoğunluğu bakımından sınırda çalışmaktadır. Bir e-VTOL'un güvenli bir şekilde dikey kalkış yapabilmesi ve hedeflenen menzile ulaşabilmesi için yüksek enerji yoğunluğuna sahip batarya hücrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte mevcut ticari bataryalar yaklaşık 200–250 Wh/kg özgül enerji düzeyine sahiptir ve bu kapasite sadece sınırlı bir menzil ile düşük faydalı yük taşımaya olanak tanımaktadır. Örneğin 150 kilometre menzil hedefiyle geliştirilen bir e-VTOL prototipinde 215 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahip hücreler kullanıldığında taşınabilecek faydalı yükün yalnızca yaklaşık 150 kilogramla sınırlı kaldığı hesaplanmıştır (Yang vd., 2021). Bu durum, batarya performansının e-VTOL operasyon kabiliyetini önemli ölçüde belirlemesine neden olmaktadır. Dolayısıyla e-VTOL araçların tedarik zincirlerinde daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için yüksek kapasiteli batarya teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Nitekim sektörün önde gelen batarya üreticileri, e-

VTOL araçların kullanımına yönelik olarak 500 Wh/kg ve üzeri enerji yoğunluğuna ulaşabilecek yeni nesil batarya teknolojileri üzerinde çalışmaktadır (Grepow, 2024). Bataryaların enerji yoğunluğunda elde edilecek her yeni aşama, e-VTOL araçların daha uzun mesafeleri daha yüksek yük kapasitesiyle kat edebilmesini sağlayarak, operasyonel verimlilik ve ekonomik uygulanabilirlik açısından önemli bir eşik oluşturacaktır.

Batarya teknolojisinde bir diğer kritik konu, güç aktarım hızıdır. E-VTOL operasyonları, özellikle dikey kalkış, iniş ve tırmanış aşamalarında ani ve yüksek güç çekişi gerektirmektedir. Nitekim Oak Ridge National Laboratory (ORNL) tarafından yapılan araştırmalar, e-VTOL uçuş profillerinin otomobil kullanımından tamamen farklı bir batarya davranışı ortaya koyduğunu, özellikle kısa süreli yüksek akım deşarjlarının bu sistemlerde çok daha belirgin olduğunu göstermektedir. Zira bu araçların dikey kalkış veya acil durum tırmanışlarında bataryaların çok kısa sürede yüksek miktarda enerji sağlaması gerekmektedir. Bu durum hücrelerde ısınmaya, hızla yaşlanmaya ve kapasite kaybına yol açabilmektedir. ORNL’de gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda e-VTOL uçuş döngülerinin (kalkış, tırmanış, seyir ve iniş) batarya ömrünü önemli ölçüde kısalttığı, elektrikli otomobillerdeki güç tüketimine kıyasla düzenli yüksek akım çekişlerinin kimyasal yıpranmayı hızlandırdığı belirlenmiştir (ORNL, 2024). Bu bulgular, e-VTOL sistemleri için özel batarya tasarımlarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda çok yüksek deşarj oranlarına dayanıklı elektrolit formülasyonları, hızlı şarjı destekleyen anot-katot malzemeleri ve gelişmiş termal yönetim sistemleri gibi yeniliklerin ivedilikle geliştirilmesi bu araçların efektif bir şekilde yaygınlaşması için büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte şarj altyapısının da bu teknolojik çerçevenin ayrılmaz bir parçası olduğu unutulmamalıdır. E-VTOL’ların tedarik zinciri operasyonlarında etkin biçimde kullanılabilmesi için kısa sürede şarj olabilmeleri veya hızlı batarya

değişim sistemlerinin uygulanabilir hale gelmesi gerekmektedir. UPS, planladığı e-VTOL lojistik ağı çerçevesinde bu kısıtın farkına vararak bir saatten daha kısa sürede tam şarj sağlayabilen yüksek güçlü şarj istasyonlarının geliştirilmesine yönelmiştir (Fuller, 2021).

E-VTOL teknolojisinin temel yapı taşları otomasyon ve otonom sistemlerdir. Bu araçlar gelecekte büyük ölçüde “fly-by-wire” olarak adlandırılan elektronik kontrollü sistemlerle donatılacak ve uçuşun önemli bir kısmı bilgisayarlar tarafından yönetilecektir. Yüksek derecede otomasyon hem pilotun iş yükünü azaltmak hem de uzun vadede insan faktörünü denklemden çıkararak tam otonom uçuşlara geçişi mümkün kılmak amacıyla geliştirilmektedir. Günümüzde test aşamasındaki birçok e-VTOL prototipi, kalkıştan inişe kadar rotasını GPS, radar ve optik sensörler yardımıyla bağımsız biçimde takip edebilen, engellerden kaçınma (sense-and-avoid) algoritmalarıyla desteklenmiş sistemlere sahiptir. Ayrıca yapay zekâ ve makine öğrenmesi, özellikle de insansız operasyonlarda karar destek ve gerçek zamanlı rota optimizasyonu açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu teknolojiler, ani hava değişimlerini algılama, beklenmedik engellerden kaçınma ya da acil bir durumda en yakın güvenli iniş noktasına yönelme gibi karmaşık görevlerin güvenli bir şekilde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Bu noktada yazılımların güvenilirliği ve siber güvenlik konuları önemli bir konu haline gelmektedir. Bu nedenle e-VTOL üreticileri, son çalışmalarında operasyonel güvenliği artırmak amacıyla yedekli sistem mimarileri tasarlamaya daha fazla yönelmektedir. Nitekim bir uçuş kontrol bilgisayarının arızalanması durumunda anında devreye girecek ikinci veya üçüncü sistemlerin bulunması, sensörlerden güç aktarım bileşenlerine kadar çoklu yedeklilik sağlanması, ticari e-VTOL’larda giderek standart hale gelmektedir (Ifairworthy, 2025).

Dijitalleşme, e-VTOL entegrasyonunun hem temel bir gerekliliği hem de doğal bir sonucu olarak üzerinde durulması gereken bir diğer konudur. Zira E-VTOL araçlar, dijital UTM,

lojistik planlama yazılımları ve Nesnelerin İnterneti (IoT) altyapılarıyla sürekli etkileşim içinde çalışarak tedarik zinciri operasyonlarını daha verimli ve etkili hale getirme fırsatı sunmaktadır. Örneğin bir tedarik zinciri yönetim sistemi, depodaki e-VTOL'un şarj durumunu anlık olarak izleyip paketlerin uçuşa hazır olacağı zamanı otomatik biçimde hesaplayabilir. Varış noktasındaki yer ekibi ise bulut tabanlı bir platform üzerinden aracın gerçek zamanlı konumunu ve tahmini iniş saatini takip edebilir. Büyük veri analitiği ve yapay zekâ algoritmaları da filo optimizasyonu açısından da kritik rol oynayabilir. Aynı şehirde faaliyet gösteren onlarca e-VTOL aracın rotalarını ve yük dağılımını dinamik olarak düzenlemek, talep tahminlerine göre uçuş atamaları yapmak veya hava koşullarına bağlı rota revizyonlarını anında gerçekleştirmek gibi işlemler, tamamen dijital altyapılar üzerinden koordine edilebilir. Bu imkanları değerlendirebilmek için e-VTOL ekosisteminin tüm bileşenlerinin dijital olarak birbirine entegre çalışması gerekmektedir (Airbus, 2023). Ancak bu kapsamlı dijital bütünleşme, sektörde platformlaşma eğilimini de beraberinde getirebilir. Dolayısıyla günümüzde karada kullanılan araç paylaşım uygulamalarına benzer biçimde hava mobilitesi alanında da uçan taksi ya da kargo e-VTOL hizmetlerini yönetecek dijital platformların ortaya çıkması muhtemeldir.

Son olarak teknolojik standartlar ve birlikte çalışabilirlik konusu e-VTOL araçların yaygınlaşmasında büyük önem taşımaktadır. Günümüzde dünya genelinde çok sayıda şirket farklı tasarım yaklaşımlarıyla e-VTOL araçlar geliştirmektedir. Bu çeşitlilik multicopter, tiltrotor veya kanatlı VTOL gibi farklı mimarilerin aynı havacılık ekosisteminde bir arada var olmasını sağlamaktadır. Ancak bu durum teknik uyum ve operasyonel bütünlük açısından ortak standartlara duyulan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Uzun vadede şarj konnektörlerinden batarya boyutlarına, iletişim protokollerinden hava trafik yönetim

arayüzlerine kadar birçok alanda küresel ölçekte uyuma ihtiyaç duyulabilir. Halihazırda Avrupa Birliği tarafından yürütülen AW-Drones projesi gibi girişimler, drone ve e-VTOL teknolojilerine ilişkin standartların uyumlaştırılması ve birlikte çalışabilirlik düzeyinin artırılması yönünde önemli adımlar atmaktadır (International Institute of Air and Space Law, 2025). Bununla birlikte teknolojik standartların eksikliği kadar fazlalığı da risk taşımaktadır. Aynı işlev için birden fazla standardın gelişmesi, üreticiler ve operatörler açısından maliyet ve karmaşıklık yaratabilir. Bu nedenle sektörde standardizasyon, açık mimari ve modüler tasarım yaklaşımlarının teşvik edilmesi kritik bir gereklilik olarak görülmektedir.

### **Ekolojik Faktörler**

E-VTOL teknolojileri çevresel sürdürülebilirlik açısından hem dikkate değer fırsatlar hem de önemli sınırlılıklar barındırmaktadır. Bu araçlar elektrikli tahrik sistemine dayalı yapıları sayesinde operasyonel düzeyde sıfır emisyon hedefini fiilen gerçekleştirebilen ilk hava ulaşım çözümlerinden biridir. Uçuş sırasında egzoz gazı ya da CO<sub>2</sub> salımı olmaması, fosil yakıtla çalışan helikopter ve sabit kanatlı uçaklara kıyasla ciddi bir çevresel avantaj oluşturmaktadır. Bu durum sadece şehir merkezlerinde hava kalitesini olumlu yönde etkilemekle kalmamakta, küresel ölçekte havacılığın karbon ayak izinin azaltılmasına da katkı sağlayabilecek bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır. Örneğin UPS firmasının e-VTOL programı kapsamında kullanıma alınacak dikey kalkış-iniş yapan elektrikli uçaklar, geleneksel uçakların gürültü ve işletme emisyonları olmadan hizmet sunmayı vaat etmektedir (Fuller, 2021). Kısa mesafeli yolcu ve kargo taşımacılığında içten yanmalı motorlu araçların yerine elektrikli hava araçlarının kullanılması, şehir içi trafik kaynaklı karbon salımlarını azaltarak ulusal iklim hedeflerine ulaşmayı da destekleyebilir. Bununla birlikte çevresel etkinin doğru biçimde anlaşılabilmesi için üretimden bertarafa kadar

uzanan yaşam döngüsüne bakmak gerekmektedir. Politecnico di Torino’da yapılan bir yaşam döngüsü analizi, e-VTOL konseptinde toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemli bir kısmının aracın üretim safhasında özellikle de batarya ve tahrik sistemlerinin imalatından kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Fioriti vd., 2024). Ayrıca operasyon aşamasında tüketilen elektrik enerjisinin üretim biçimi de çevresel etkiyi belirleyen kritik bir unsurdur. Elektrik şebekesinin fosil yakıt temelli olduğu durumlarda dolaylı emisyonların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu nedenle e-VTOL şarj altyapısının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (örneğin güneş veya rüzgâr enerjisi) beslenmesi, bu araçların gerçek anlamda yeşil olarak nitelendirilebilmesi için bir ön koşuldur. Aksi takdirde yalnızca emisyon kaynağı yer değiştirmiş olur. Benzer biçimde bataryaların üretimi ve geri dönüşüm süreçleri de maden çıkarımı ve kimyasal atık yönetimi gibi çevresel riskler barındırmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir malzeme kullanımı, batarya geri dönüşümü ve kapalı döngü üretim sistemlerinin geliştirilmesi e-VTOL teknolojisinin gelişiminde önümüzdeki dönemin temel öncelikleri arasında yer almalıdır.

E-VTOL araçların çevresel etkileri içinde öne çıkan bir diğer konu gürültü kirliliğidir. E-VTOL’lar genel olarak helikopterlerden daha sessiz çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Zira helikopterlerde yüksek devirde dönen birkaç büyük rotor yerine e-VTOL tasarımlarında çoklu küçük rotorlar daha düşük devirlerde çalışmaktadır (ORNL, 2024). Bu mühendislik yaklaşımı hem titreşim hem de pervane ucu hızını azaltarak gürültü seviyesini düşürmektedir. Nitekim yapılan testlerde belirli e-VTOL modellerinin şehir gürültüsüne karışarak kısa mesafede işitilemez hâle geldiği seyir irtifasındayken ise kent sakinleri tarafından neredeyse fark edilmediği belirtilmiştir (Welsh, 2025). Bununla birlikte bu araçların kalkış ve iniş aşamalarında özellikle de yer seviyesine yakın operasyonlarda gürültü tamamen ortadan

kalkmamaktadır. Bu nedenle şehir planlamacıları, vertiport konumlandırmalarını gürültü hassasiyetini göz önünde bulundurarak yapmaya özen göstermelidir. Okul, hastane ve konut bölgeleri gibi alanlara yakın vertiportlar yerine, daha az gürültü duyarlılığı bulunan bölgelerde faaliyet gösterilmesi veya belirli operasyon saatlerinin uygulanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Keza İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi'nin değerlendirmeleri de hover (havada asılı kalma) manevralarının en yüksek gürültü seviyesine neden olduğunu, bu nedenle yoğun merkez vertiportlarında bekleme sürelerinin minimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (UK Civil Aviation Authority, 2025).

Şehir ekolojisi ve yaban hayatı açısından da e-VTOL'ların etkileri dikkatle ele alınmalıdır. Kuş popülasyonlarıyla etkileşim, özellikle alçak irtifalarda gerçekleştirilecek uçuşlarda ciddi bir ekolojik risk oluşturabilir. Nitekim EASA'nın raporlarında yurttaşların çevresel öncelikleri arasında yaban hayatının korunmasının önemli bir yer tuttuğu belirtilmektedir (EASA, 2021). Bu farkındalık, düzenleyici otoritelerin kuş göç yolları, park ve doğal rezerv alanları gibi bölgelerde e-VTOL uçuşlarına yönelik özel koruma zonları oluşturmasını gündeme getirebilir. Böylelikle belirli dönemlerde uçuş kısıtlamaları veya minimum irtifa sınırları uygulanarak ekosistemin korunması hedeflenebilir. Bu durum e-VTOL kullanan tedarik zincirlerinde rotaların sınırlı alanlarda kalmasına neden olabilir. Öte yandan e-VTOL teknolojileri kentsel çevre üzerinde olumlu dönüşümler de yaratabilir. Özellikle son kilometre teslimat operasyonlarının gökyüzüne taşınması, yerdeki araç trafiğini ve buna bağlı karayolu altyapısı gereksinimini azaltarak kent planlamasında yeşil alanların korunmasına katkı sunabilir. Bu eğilim uzun vadede otopark ve geniş yol ağlarına duyulan ihtiyacın azalmasıyla birlikte kentlerin daha çevre dostu bir yapıya evrilmesine imkân tanıyabilir. Ayrıca hava ambulansları gibi acil durum e-VTOL hizmetlerinin yaygınlaşması, kara

ambulanslarının neden olduğu siren gürültüsü ve trafik tıkanıklığını azaltarak dolaylı biçimde daha yaşanabilir bir kentsel ekolojiye katkı sağlayabilir.

## **Hukuki Faktörler**

E-VTOL teknolojilerinin tedarik zincirlerine entegrasyonu, mevcut havacılık hukukunun sınırlarını yoklayan bir dizi yeni soruyu gündeme getirirken aynı zamanda var olan kurumsal çerçevelerle uyumlu bir şekilde çalışmayı zorunlu kılmaktadır. Uluslararası düzeyde Chicago Konvansiyonu ve ekleri, prensipte e-VTOL'ları da içine alabilecek genişlikte bir normatif zemin sunmaktadır. Fakat pratikte bu araçların özgün mimarileri geleneksel uçak/helikopter tasniflerini zorlamaktadır. ABD'de FAA'nin e-VTOL'ları geçici olarak powered-lift kategorisi altında ele alması ve tür sertifikasyon süreçlerini adım adım inşa etmesi bu gerilimin tipik bir yansımasıdır. Avrupa'da ise EASA, dikey kalkış/iniş sınıfına özgü Special Condition VTOL çerçevesiyle geçici sertifikasyon standartları yayımlamıştır. Bu standartlar, teknik kriterlerin ve güvenlik hedeflerinin kademeli biçimde olgunlaştırılmasına hizmet etmiştir. Ancak asıl düğüm, operasyonel düzenlemeler ve uluslararası karşılıklı tanıma (mutual recognition) mekanizmalarındadır. EASA onaylarının FAA tarafından, FAA onaylarının da EASA tarafından tanınması sağlanamadığında üreticiler her pazar için mükerrer sertifikasyon yüküyle karşılaşmakta ve bu durum maliyetlerin yanı sıra belirsizliği de artırmaktadır (ifairworthy, 2025). Dolayısıyla tedarik zincirleri için geliştirilecek e-VTOL'lar bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle düzenleyici uyumun küresel ölçekte güçlendirilmesi hukuki gündemin önceliklerinden biridir. Bu bağlamda ABD, Birleşik Krallık, Fransa, Almanya ve Japonya'nın 2022'de başlattığı işbirliği gibi girişimler, karşılıklı tanımayı kolaylaştıracak yakınsama adımları olarak öne çıkmaktadır (Business Aviation, 2025).

Ürün sorumluluğu ve sigorta, e-VTOL ekosisteminde hukuki risklerin somutlaştığı alanların başında gelmektedir. Yüksek otomasyon seviyeleri, olası bir kaza incelemesinde klasik pilotaj/bakım/üretim kusuru üçlüsüne yazılım hataları ve yapay zekâ kaynaklı kararlar gibi yeni sorumluluk vektörlerini eklemektedir. Ayrıca üretici, operatör ve bakım kuruluşu arasındaki kusur dağılımının nasıl belirleneceği henüz istikrarlı içtihatlarla kavuşmamıştır. Sigorta sektörü de aktüeryal veri eksikliği nedeniyle fiyatlama ve kapsam tasarımıyla temkinli davranmakta kaza/hasar istatistiklerinin sınırlılığı tarife yapısını ve teminat sınırlarını doğrudan etkilemektedir. Zira belirsizlik yalnızca prim seviyeleriyle sınırlı değildir. Poliçe metinlerinde yazılım kusuru, uzaktan pilotaj hatası veya bakım süreçlerindeki ihmallerin nasıl ayrıştırılacağı da ayrı bir tartışma başlığıdır (Urosevic, 2025). Bununla birlikte bazı taşıyıcılar e-VTOL ve insansız sistemlere özgü 100 milyon dolara varan sorumluluk limitleri içeren ürünleri pazara sürerek çerçeveyi proaktif biçimde genişletmektedir (Apollo, 2025). Dahası dijitalleşmiş işletim modeli, veri koruma ve mahremiyet hukukunu giderek e-VTOL gündeminin ayrılmaz bir parçası hâline getirmektedir. Konum ve rota bilgileri, kokpit/dış ortam görüntüleri ve çoklu sensör akışları gibi yoğun veri üretimi, kişisel verilerin korunması ve kamera kayıtlarının hukuka uygun işlenmesi yükümlülüklerini gündeme getirmektedir. AB Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) gibi mevcut rejimler, e-VTOL operasyonları için de bağlayıcılığa sahiptir. Bu nedenle işletmeciler konum/seyahat verilerinin işlenmesinde açık rıza, amaçla sınırlılık ve veri minimizasyonu ilkelerine uygun hareket etmek, şeffaf aydınlatma ve etkili erişim/silme mekanizmaları sağlamak zorundadır. Kamusal alanda sürekli görüntü kaydı alan sensörler ise gözetim kaygılarını tetikleyebileceğinden yönetişiminin hesap verebilir ve denetlenebilir biçimde kurgulanması gerekmektedir. Aksi halde bu araçların operasyonlarda kullanımına ilişkin ciddi bir ön yargı gelişebilir.

E-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonunda ciddi bir sınırlılık da siber güvenlik konusundan kaynaklanmaktadır. Siber güvenlik, e-VTOL araçların kullanımında emniyet (safety) ile güvenlik (security) eksenlerinin kesişiminde yer alan teknik-hukuki bir zorunluluktur. UTM bağlantıları, yer istasyonları ve bulut tabanlı operasyon platformlarıyla sürekli haberleşen e-VTOL sistemleri, kesinti, müdahale veya yetkisiz erişim riskleriyle karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle otoriteler her geçen gün zorunlu siber güvenlik sertifikaları, düzenli penetrasyon testleri, uçtan uca şifreleme ve gerçek zamanlı izleme gibi önlemleri mevzuata taşımaya daha fazla yönelmektedir. Dolayısıyla hukuki unsurlar e-VTOL'ların tedarik zincirlerine entegrasyonunda bir uyum alanı olmanın ötesinde pazar tasarımını ve operasyon mimarisini yönlendiren stratejik bir değişken konumuna gelmektedir. Nitekim Brezilya'nın havacılık emniyeti değerlendirmelerinde e-VTOL'lara yönelik siber tehditler öncelikli risk kategorileri arasında listelenmiş ve güçlü siber protokollerin tesisi önerilmiştir (zagdaily, 2025). Ayrıca EASA'nın toplum araştırmaları da mobil şebeke kesintileri ve dış müdahale ihtimalinin kamu nezdinde ciddi kaygılar doğurduğunu göstermektedir. Dolayısıyla e-VTOL araçların tedarik zincirlerine etkin ve başarılı bir şekilde entegre edilebilmesinde siber güvenlik önemli bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır.

## **Sonuç ve Öneriler**

E-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonu, lojistik faaliyetlere ilişkin teknolojik bir yeniliğin ötesinde üretim ve dağıtım sistemlerinin yapısal, işlevsel ve stratejik düzeyde yeniden kurgulanmasını gerektiren çok katmanlı bir dönüşüm sürecidir. Bu dönüşüm, taşıma araçlarının niteliğinin yanı sıra tedarik zincirlerinin bütünsel işleyişini, karar alma mantığını ve mekânsal örgütlenme biçimlerini kökten değiştirmektedir. Zira e-VTOL'ların dikey kalkış ve iniş kabiliyeti, klasik taşımacılık mantığının sınırlarını genişleterek üretim birimleri, dağıtım merkezleri ve nihai teslimat

noktaları arasındaki fiziksel mesafeyi stratejik bir değişken olmaktan çıkaran yeni bir mekânsal esneklik paradigması yaratmaktadır. Söz konusu esneklik, zamana duyarlılığı yüksek operasyonlarda çevikliğin, tepki kapasitesinin ve koordinasyon hızının temel performans göstergeleri hâline gelmesine neden olmaktadır. Böylece, geleneksel tedarik zincirlerinin hiyerarşik ve merkeziyetçi yapısı çözülürken dijital koordinasyon sistemleri, otonom karar destek algoritmaları ve dağıtık ağ mimarileri yeni lojistik düzenin belirleyici unsurları hâline gelmektedir.

Tedarik zincirleri, küresel ölçekteki ekonomik ve teknolojik dönüşümlerin en somut biçimde gözlemlendiğı yapılardır. Teknolojik yenilikler bu zincirlerin örgütlenme biçimini, değer yaratımının dayandığı önceliklerini ve sürdürülebilirlik arayışlarının sınırlarını sürekli olarak yeniden tanımlamaktadır. E-VTOL teknolojileri de bu evrimin giderek belirginleşen bir halkasını oluşturarak üretimden dağıtıma uzanan süreçlerde hız, esneklik ve çevresel duyarlılığı yeni bir denge içinde buluşturmaktadır. Ancak bu dönüşümün yönü ve kapsamı, tüm alanlarda olduğı gibi teknolojik ilerlemenin iç dinamiklerinden ziyade onu çevreleyen dış koşulların etkisi altında şekillenmektedir. Nitekim karbon-nötr şehir hedefleri ve yeşil finansman politikaları gibi yaklaşımlar e-VTOL sistemlerini sürdürülebilir tedarik zinciri stratejilerinin temel bileşenlerinden biri haline getirirken; jeopolitik kırılganlıklar ve batarya üretiminde ortaya çıkan hammadde bağımlılıkları, bu yeni ekosistemin gelişimini sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada e-VTOL araçların tedarik zincirlerine entegrasyonunu şekillendiren dış çevre koşulları PESTEL analiziyle değerlendirilerek söz konusu teknolojinin hangi politik, ekonomik, sosyokültürel, teknolojik, çevresel ve hukuksal dinamikler altında olgunlaştığı ortaya konulmuştur.

Yapılan incelemeler, ulusal ve uluslararası düzenlemelerin e-VTOL ekosisteminin yönünü belirleyen başlıca unsurlar arasında yer

aldığını göstermektedir. Özellikle hava sahası yönetimine ilişkin politikalar, hava trafik kontrol sistemlerinin düşük irtifa e-VTOL uçuşlarına uyum sağlamasına yönelik uygulamalar, uluslararası sertifikasyon standartlarının uyumlaştırılması ve devlet destekleri (örneğin Ar-Ge teşvikleri ile altyapı yatırımları), bu teknolojilerin ölçeklenebilirliğinde belirleyici unsurlar olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, e-VTOL araçların uzun vadeli sürdürülebilirliğinin büyük ölçüde finansal fizibiliteye bağlı olduğu da anlaşılmaktadır. Yüksek ilk yatırım ve üretim maliyetleri hem yeterli sermaye birikimini hem de ölçek ekonomilerinin oluşmasını gerektirirken; operasyonel düzeyde düşük enerji tüketimi ile sınırlı bakım gereksinimi, orta ve uzun vadede belirgin bir maliyet avantajı yaratma potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca e-VTOL kullanımının sağladığı hız ve verimlilik kazanımlarının, envanter maliyetlerini düşürerek ve zamana duyarlı teslimatlarda (örneğin tıbbi malzeme ya da acil yedek parça taşımacılığında) müşteri memnuniyetini artırarak ekonomik bir katma değere dönüşebileceği öngörülmektedir. Dolayısıyla ekonomik koşullar, hem e-VTOL ekosisteminin gelişimini belirleyen bir çerçeve hem de bu ekosistemin iyileştirdiği temel alanlardan biri olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada teknolojinin toplumsal kabulü ve paydaşların tutumları entegrasyonun başarı şansını tayin eden bir diğer kritik faktör olarak dikkat çekmektedir. Nitekim yapılan araştırmalar, şehir sakinlerinin e-VTOL uygulamalarına hızlı ulaşım imkânı, acil durumlarda etkinlik ve çevre dostu bir alternatif sunması nedeniyle genel olarak olumlu baktığını göstermektedir. Bununla birlikte güvenlik endişeleri (örneğin olası kazalar veya otonom sistem hataları), siber güvenlik tehditleri ve gürültü kirliliği konularında toplumsal hassasiyetler mevcuttur. Dolayısıyla e-VTOL entegrasyonunun başarılı olabilmesi için kamuoyunun endişelerini gidermeye yönelik şeffaf iletişim stratejileri geliştirmek, yerel halkı

sürece katılımcı yöntemlerle dâhil etmek ve teknolojinin sağlayacağı toplumsal faydaları görünür kılmak entegrasyon sürecinin başarısında büyük önem taşımaktadır. Ayrıca batarya verimliliği, otonom sistem güvenliği ve dijital altyapı entegrasyonu da tedarik zinciri operasyonlarında e-VTOL araçlar kullanımının yaygınlaşması için önkoşul niteliğindedir. Batarya yoğunluğundaki gelişmelerin menzil ve taşıma kapasitesini doğrudan artırması, hızlı şarj sistemleri, veri tabanlı bakım algoritmaları ve yapay zekâ destekli kontrol mekanizmalarının ise operasyonel sürekliliği güçlendirmesi beklenmektedir.

E-VTOL'ların yaygınlaşması hem önemli fırsatlar hem de dikkatle yönetilmesi gereken hususlar barındırmaktadır. Operasyonel düzeyde sıfır emisyon ilkesine yakın bir performans sergileyebilen e-VTOL'lar, fosil yakıtlı taşıma araçlarına kıyasla şehir içi hava kalitesine ve karbon ayak izinin azaltılmasına ciddi katkı sağlayabilir. Özellikle yoğun trafik kaynaklı emisyonların düşürülmesi ve gürültüsüz bir ulaşım alternatifi sunulması, kentsel yaşam kalitesini iyileştirecek başlıca potansiyel faydalardır. Ne var ki çevresel etkinin doğru değerlendirilebilmesi için yaşam döngüsü perspektifinin benimsenmesi gerekmektedir. Özellikle batarya üretim süreçlerinden kaynaklanan karbon emisyonları ve atık sorunları, e-VTOL araçlarının gerçekten çevreci bir ulaşım alternatifi olarak değerlendirilebilmesinin önündeki en önemli belirsizlikleri oluşturmaktadır. Ayrıca E-VTOL'ların gerçek anlamda çevre dostu olabilmesi için yenilenebilir enerjiyle şarj edilmesi, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve batarya geri dönüşüm sistemlerinin kurulması şarttır. Aksi halde emisyonlar sadece kullanım aşamasından üretim aşamasına kaymış olacaktır. Gürültü kirliliği de çevresel boyutta göz ardı edilmemesi gereken bir diğer unsurdur. Her ne kadar e-VTOL'lar geleneksel helikopterlere göre çok daha sessiz çalışsa da özellikle toplu kullanımda ortaya çıkacak birikimli gürültü ve doğal yaşam üzerindeki olası olumsuz sonuçlar

titizlikle incelenmeli ve gerek tasarım iyileştirmeleri gerekse uçuş rotası planlamalarıyla bu etkilerin minimize edilmesine yönelik önlemler alınmalıdır.

Hukuki çerçevenin henüz tam anlamıyla olgunlaşmamış olması, e-VTOL'ların tedarik zincirlerine entegrasyonu önündeki bir diğerk belirsizlik alanını oluşturmaktadır. Mevcut havacılık mevzuatının e-VTOL gibi yeni nesil hava araçlarını kapsayacak şekilde güncellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sertifikasyon süreçlerinin uzunluğu ve ülkeler arasındaki standart farklılıkları, üreticiler ve operatörler açısından pazara girişte önemli engeller yaratmaktadır. Bu bağlamda uluslararası iş birliğiyle karşılıklı tanıma anlaşmalarının geliştirilmesi (örneğin EASA ve FAA sertifikasyonlarının uyumlu hale getirilmesi) büyük bir aciliyet taşımaktadır. Bununla birlikte e-VTOL operasyonlarının gündeme getirdiği ürün sorumluluğu ve sigorta konuları, yüksek otomasyon seviyesinin sorumluluk dağılımını belirsizleştirmesi nedeniyle hukuki tartışmalar doğurabilmektedir. Olası bir kazada yazılım hatası, sensör arızası veya uzaktan pilotaj ihmalı gibi etkenlerin sorumluluğunu tanımlayacak yasal içtihatlar henüz oluşmadığı için sigortacılık sektörü bu araçlara temkinli yaklaşmaktadır. Bu da söz konusu araçların ve kullanıldıkları operasyonların sigorta poliçeleriyle güvence altına alınabilmesini zorlaştırmaktadır. Son olarak veri güvenliği ve mahremiyet konuları yasal çerçevenin ayrılmaz bir parçası olarak görölmektedir. E-VTOL'ların konum verileri, sensör kayıtları ve olası kamera görüntüleri gibi hassas bilgiler üretmesi, mevcut veri koruma yasalarının bu alanda da titizlikle uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler, e-VTOL teknolojilerinin tedarik zincirlerine entegrasyonunda makro çevresel faktörlerin hem birbirleriyle etkileşim içinde olduklarını hem de dönüşüm sürecinin genel yönü ile hızını belirlediğini göstermektedir. Politik düzenlemelerden ekonomik fizibiliteye, toplumsal kabulden

teknolojik kapasiteye uzanan bu çok katmanlı yapı, dönüşümün işleyişini derinden şekillendirmektedir. Söz konusu yapı Tablo 1’de özetlenmiştir.

*Tablo 1 E-VTOL Araçların Tedarik Zincirine Entegrasyonunu Şekillendiren Makro Çevresel Faktörler*

| <b>Faktörler</b> | <b>Anahtar Unsurlar ve Etki Alanları</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Politik          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sertifikasyon ve güvenlik standartlarındaki farklılıklar, uluslararası regülasyon uyumunu zorlaştırmakta ve e-VTOL entegrasyonunun hızını azaltmaktadır.</li> <li>• Hava sahası yönetimi ve UTM altyapısının gelişimi, düşük irtifada güvenli operasyon kapasitesinin oluşmasında kritik rol oynamaktadır.</li> <li>• Devlet teşvikleri, Ar-Ge fonları ve vertiport yatırımları, e-VTOL ekosistemin ölçeklenmesinde kritik bir role sahiptir.</li> <li>• Pilot lisanslama ve operasyonel izin düzenlemeleri, insan kaynağı planlamasını ve operasyon güvenliğini doğrudan şekillendirmektedir.</li> </ul> |
| Ekonomik         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek ilk yatırım gereksinimi, sermaye akışını sınırlandırarak pazarın olgunlaşma sürecini yavaşlatmaktadır.</li> <li>• Elektrikli tahrik sistemleri, yakıt ve bakım giderlerini azaltarak maliyet yapısında sürdürülebilirlik etkisi yaratmaktadır.</li> <li>• Ölçek ekonomilerinin devreye girmesiyle e-VTOL üretim maliyetlerinin düşmesi ve erişilebilirliğin artırması beklenmektedir.</li> <li>• E-VTOL’ların hız ve çeviklik avantajı, teslimat sürelerini kısaltarak envanter maliyetlerini düşürme fırsatı sunmaktadır.</li> </ul>                                                              |
| Sosyal           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toplumun teknolojiye yönelik tutumu, e-VTOL araçların benimsenme düzeyini belirleyen temel unsurlardan biridir.</li> <li>• Güvenlik ve siber güvenlik konularına ilişkin algılar, kullanıcı davranışlarını ve hizmet talebini doğrudan etkilemektedir.</li> <li>• Gürültüye karşı duyarlılık, kent içi operasyon bölgelerinin planlanmasında belirleyici bir çevresel parametre haline gelmektedir.</li> <li>• Katılımcı iletişim ve bilgilendirme mekanizmaları, toplumsal kabulü güçlendirerek uygulama sürecine meşruiyet kazandırabilir.</li> </ul>                                                   |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknolojik | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batarya enerji yoğunluğu, menzil ve faydalı yük kapasitesini sınırlandırarak operasyonel performansı kısıtlamaktadır.</li> <li>• Hızlı şarj altyapısı ve batarya değişim sistemleri, operasyonel süreklilik açısından temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.</li> <li>• Otonom sistemler ve yapay zekâ tabanlı kontrol mekanizmaları, insan faktörünü azaltarak uçuş güvenliğini artırabilir.</li> <li>• Standartlaşma ve birlikte çalışabilirlik eksikliği, sistem uyumunu zorlaştırarak küresel ölçeklenmeyi sınırlandırmaktadır.</li> </ul> |
| Ekolojik   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrikli tahrik yapısı, karbon emisyonlarını ortadan kaldırarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.</li> <li>• Batarya üretimi ve geri dönüşüm süreçleri, e-VTOL araçların çevresel avantajlarının sınırını belirlemektedir.</li> <li>• Gürültü emisyon profili, kent ekolojisi ve yerleşim uyumu açısından planlama kısıtları doğurmaktadır.</li> <li>• Yaban hayatı ve doğal koruma alanları, uçuş rotalarının belirlenmesinde dikkate alınmalıdır.</li> </ul>                                                                      |
| Hukuki     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mevzuat ve sertifikasyon süreçlerindeki belirsizlik, pazara giriş koşullarını ve yatırım kararlarını doğrudan etkilemektedir.</li> <li>• Uluslararası tanıma eksikliği, mükerrer onay yükü yaratarak düzenleyici maliyetleri artırmaktadır.</li> <li>• Ürün sorumluluğu ve sigorta kapsamına ilişkin eksiklikler olası kazalarda risk paylaşımında belirsizliğe neden olmaktadır.</li> <li>• Veri koruma rejimleri, kişisel verilerin işlenmesi ve depolanmasında bazı yükümlülükler doğurmaktadır.</li> </ul>                                       |

Çalışmada ulaşılan sonuçlar, e-VTOL teknolojisinin tedarik zincirlerine entegrasyonunda hem stratejik planlama hem de yapısal uyum açısından dikkate alınması gereken bir dizi temel noktaya işaret etmektedir. Stratejik düzeyde işletmelerin bu teknolojiyi mevcut lojistik süreçlerle nasıl bütünleştireceklerine ilişkin uzun vadeli bir yol haritası geliştirmeleri gerekmektedir. E-VTOL kullanımının sağlayacağı katma değer net bir iş modeli içinde tanımlanmalı, acil teslimat, mikro-dağıtım veya yüksek öncelikli sevkiyatlar gibi niş kullanım alanları somut biçimde belirlenmelidir. Bu geçiş sürecinde pilot projelerle deneyim kazanmak, operasyonel verimlilik, maliyet ve müşteri memnuniyeti üzerindeki etkilerini

ölçmek büyük önem arz etmektedir. Ayrıca e-VTOL operasyonlarını destekleyecek dijital altyapı yatırımları önceden planlanmalı, gerçek zamanlı izleme, uçuş planlama ve depo yönetimini entegre eden IoT tabanlı sistemlere gerekli yatırımlar yapılmalıdır. Bununla birlikte işletmelerin e-VTOL operasyonlarını yürütebilecek uzman personel yetiştirmesi ve mevcut iş gücünü yeni becerilerle donatması, uzun vadede sürdürülebilir bir dönüşüm için son derece gereklidir. Yapısal açıdan bakıldığında ise tedarik zinciri ağlarının ve fiziki altyapının e-VTOL araçlarının gereksinimlerine göre yeniden tasarlanması kaçınılmazdır. Şehir içinde ve lojistik merkezlerinde güvenli iniş-kalkış yapılabilecek vertiport ağlarının hızla kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Depo, dağıtım merkezi ve perakende noktalarına yakın alanlarda iniş pistleri ve yüksek hızlı şarj istasyonlarının oluşturulması, operasyonel sürekliliği destekleyecektir. E-VTOL'ların sağladığı hız ve doğrudan erişim avantajı, dağıtım ağlarında düğüm sayısının azaltılmasına ve daha esnek bir yapıya geçilmesine olanak tanısa da menzil ve yük kapasitesi gibi teknik sınırlılıkların dikkate alındığı ağ planlarının oluşturulması gerekmektedir.

E-VTOL'ların tedarik zincirlerine entegrasyonunda işletmelerin yanı sıra politika yapımcıların ve düzenleyici kurumların da aktif katkısına ihtiyaç vardır. Havacılık otoritelerinin (EASA, FAA vb.) e-VTOL özelinde uyumlu sertifikasyon kriterleri geliştirmek ve karşılıklı tanıma mekanizmalarını hızlandırmak üzere iş birliği yapması, hem üreticilerin farklı pazarlardaki test ve belgelendirme yükünü azaltacak hem de teknolojinin küresel ölçekte benimsenmesini kolaylaştıracaktır. Ulusal düzeyde ise sivil havacılık otoriteleri, mevcut hava trafik yönetim sistemlerini e-VTOL operasyonlarına uyumlu hale getirebilmek için şehir yönetimleriyle iş birliği içinde hava sahası planlamalarını güncellemelidir. Özellikle UTM sistemlerinin kurulmasına ve gerçek zamanlı izleme, ayırıştırma ile acil durum müdahalesine

yönelik düzenlemelerin netleşmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Politika yapıcılarının şehir içi hava sahasında ortaya çıkabilecek güvenlik, mahremiyet ve gürültü risklerini bilimsel temelli kararlarla yönetmesi de oldukça önemlidir. Pilot projeler, test koridorları ve deneysel uygulamalarla e-VTOL kullanımının avantajları ve sınırlılıkları somut biçimde değerlendirilebilir. Bununla birlikte devlet teşvikleri ticarileşme sürecini de kapsayacak şekilde genişletilmelidir. Vergi teşvikleri, finansman kolaylıkları ve kamu-özel iş birlikleri, bu teknolojinin ölçeklenmesini hızlandırabilir.

Etik Beyan: Bu çalışmanın tüm bilimsel içeriği, yazar tarafından üretilmiştir. Üretken yapay zekâ araçları (ChatGPT 5.1) yalnızca dilbilgisi/yazım kontrolünde ve metnin biçimsel düzenlenmesini hızlandırma amacıyla kullanılmıştır.

## Kaynakça

Airbus. (2023), *UTM is a key enabler of AAM*, 18 Ekim 2025 tarihinde airbus.com: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-10-utm-is-a-key-enabler-of-aam> adresinden alındı.

Apollo. (2025), *Apollo and Moonrock take the lead on new \$122.5m drone, eVTOL and innovation insurance facili*, 21 Ekim 2025 tarihinde apollounderwriting.com: <https://apollounderwriting.com/apollo-and-moonrock-take-the-lead-on-new-122-5m-drone-evtol-and-innovation-insurance-facility/> adresinden alındı.

Bacchini, A., & Cestino, E. (2019), Electric VTOL configurations comparison. *Aerospace*, 6(3), 26.

Brown, A., & Harris, W. L. (2020). Vehicle design and optimization model for urban air mobility. *Journal of Aircraft*, 57(6), 1003-1013.

Business Aviation. (2025), *Five Nations Unite to Streamline eVTOL Certification* 21 Ekim 2025 tarihinde businessaviation.aer: <https://businessaviation.aero/evtol-news-and-electric-aircraft-news/low-altitude-economy/five-nations-unite-to-streamline-evtol-certification> adresinden alındı.

Chahba, S., Sehab, R., Krebs, G., Akrad, A., & Morel, C. (2023), Sizing approach with flight time comparison of an electric multirotor propulsion chain with batteries and fuel cells. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2526, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.

Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2021), Urban air mobility: History, ecosystem, market potential, and challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087.

Doo, J. (2020), *Unsettled Issues Concerning the Opportunities and Challenges of eVTOL Applications during a Global Pandemic*. Pennsylvania: SAE International.

Dulia, E. F., & Shihab, S. A. (2024), An integrated supply chain network design for advanced air mobility aircraft manufacturing using stochastic optimization. *Supply Chain Analytics*, 8, 100083.

EASA. (2021), *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*. EASA.

eveairmobility. (2023), *Eve and DHL Partner to Design a Supply Chain Concept for eVTOL Support* 22 Ekim 2025 tarihinde eveairmobility.com: <https://www.eveairmobility.com/eve-and-dhl-partner-to-design-a-supply-chain-concept-for-evtol-support> adresinden alındı.

Farazi, N. P., & Zou, B. (2024), Planning electric vertical takeoff and landing aircraft (eVTOL)-based package delivery with community noise impact considerations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 189, 103661.

Fioriti, M., Borghi, M., & Pavan, G. (2014), Environmental and economic assessment of an eVTOL aircraft fleet for Urban Air Mobility. In *34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, Florence, Italy (pp.1-12).

Fuller, S. L. (2021), *Photos: A look at how UPS eVTOLs could shake up logistics*, 12 Ekim 2025 tarihinde supplychaindive.com: <https://www.supplychaindive.com/news/ups-evtol-aircraft-beta-technologies-logistics/598225/> adresinden alındı.

Golden, B., Oden, E., & Raghavan, S. (2025), The urban air mobility problem. *Annals of Operations Research*, 351(1), 389-429.

gropow. (2024), *Next-Generation eVTOL Battery Technology*. 20 Ekim 2025 tarihinde gropow.com: <https://www.gropow.com/blog/next-generation-evtol-battery-technology.html> adresinden alındı.

International Institute of Air and Space Law. (2025), *High Hopes and Higher Hurdles: Unpacking Six Regulatory Challenges Facing*

*Advanced Air Mobility*, ES Leiden: Leiden University International Institute of Air and Space Law.

Ito, Y., & Tsuge, H. (2022), Operations study on a multimodal transport using cargo eVTOL aircrafts and high-speed rail. In *VFS 78th Annual Forum*, Fort Worth, TX, USA (pp. 10-12).

ifairworthy. (2025), *Regulatory Challenges & Harmonization needs for Electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) Certification in Advanced Air Mobility* 18 Ekim 2025 tarihinde ifairworthy.com: <https://ifairworthy.com/regulatory-challenges-harmonization-needs-for-electric-vertical-take-off-and-landing-evtol-certification-in-advanced-air-mobility/> adresinden alındı.

justhelicopters. (2022), *eVTOL: How it Could Affect Pilots*, 16 Ekim 2025 tarihinde justhelicopters.com: <https://justhelicopters.com/Articles-and-News/Community-Articles/Article/172813/eVTOL-How-it-Could-Affect-Pilots> adresinden alındı.

Li, T., Du, Y., Zhang, Z., & Wang, Y. (2025), eVTOL dispatch cost optimization under time-varying low-altitude delivery demand. *World Electric Vehicle Journal*, 16(4), 220.

Li, Y., & Liu, M. (2022), Path planning of electric VTOL UAV considering minimum energy consumption in urban areas. *Sustainability*, 14(20), 13421.

Li, Y., Liu, M., & Jiang, D. (2022), Application of unmanned aerial vehicles in logistics: a literature review. *Sustainability*, 14(21), 14473.

Munawar, S. (2024), Optimizing urban logistics through electric vehicle integration. *Snergi International Journal of Logistics*, 2(3), 160-173.

ORNL. (2024). *More than flying cars: eVTOL battery analysis reveals unique operating demands*, 20 Ekim 2025 tarihinde ornl.org:

<https://www.ornl.gov/news/more-flying-cars-evtol-battery-analysis-reveals-unique-operating-demands> adresinden alındı.

Palaia, G., Abu Salem, K., Cipolla, V., Binante, V., & Zanetti, D. (2021), A conceptual design methodology for e-VTOL aircraft for urban air mobility. *Applied Sciences*, 11(22), 10815.

Siddiqi, S. (2024), *What to Expect From the eVTOL Market in 2024 and Beyond*, 19 Ekim 2025 tarihinde idtechex.com: <https://www.idtechex.com/en/research-article/what-to-expect-from-the-evtol-market-in-2024-and-beyond/31059> adresinden alındı.

Su, J., Huang, H., Zhang, H., Wang, Y., & Wang, F. Y. (2024), eVTOL performance analysis: A review from control perspectives. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 9(5), 4877-4889.

Swaminathan, N., Reddy, S. R. P., RajaShekara, K., & Haran, K. S. (2022). Flying cars and eVTOLs—Technology advancements, powertrain architectures, and design. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 8(4), 4105-4117.

Tellioglu, S., & Tekin, M. (2017), Engelli turizminin PESTEL analizi kapsamında incelenmesi. *Çatalhöyük Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (2), 129-144.

Tiwari, S. (2024), Impact of electric vehicles in logistics operations in establishing green supply chain. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 8(4), 1-5.

UK Civil Aviation Authority. (2025), *Emerging Technologies: The effects of eVTOL aircraft noise on humans*. Crawley: Civil Aviation Authority.

Urosevic, B. (2025). *eVTOLs push aviation insurers to learn fast or fall behind*, 21 Ekim 2025 tarihinde insurancebusinessmag: <https://www.insurancebusinessmag.com/ca/news/technology/evtols>

-push-aviation-insurers-to-learn-fast-or-fall-behind-545754.aspx  
adresinden alındı.

Vieira, D. R., Silva, D., & Bravo, A. (2019), Electric VTOL aircraft: the future of urban air mobility (background, advantages and challenges). *International Journal of Sustainable Aviation*, 5(2), 101-118.

Welsh, J. (2025), *Joby Touts Quiet Flight as eVTOL Advantage*, 19 Ekim 2025 tarihinde aopa.org: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2025/september/04/joby-touts-quiet-flight-as-evtol-advantage> adresinden alındı.

Yang, X. G., Liu, T., Ge, S., Rountree, E., & Wang, C. Y. (2021). Challenges and key requirements of batteries for electric vertical takeoff and landing aircraft, *Joule* 5, 1644–1659.

zagdaily. (2025), *Brazilian safety body warns of risks as eVTOLs join helicopter skies*, 18 Ekim 2025 tarihinde zagdaily.com: <https://zagdaily.com/zag-air/brazilian-safety-body-warns-of-risks-as-evtols-join-helicopter-skies/> adresinden alındı.

Zhang, J., Liu, Y., & Zheng, Y. (2024). Overall eVTOL aircraft design for urban air mobility. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 3(2), 100150.

Zhyriakov, D., Ptak, M., & Sawicki, M. (2025). Urban air mobility, personal drones, and the safety of occupants—A comprehensive review. *Journal of Sensor & Actuator Networks*, 14(39).

## BÖLÜM 2

### ÇEVİK ÜRETİM YAKLAŞIMI VE STRATEJİK ETKİLERİ: KURAMSAL BİR İNCELEME

FEVZİ DİKER<sup>1</sup>

#### Giriş

Günümüzde özellikle imalat sektörlerinde hızlı değişim ve dönüşümler yaşanmaktadır. Bu değişime ayak uydurmak giderek daha güç hâle gelmektedir. Küreselleşme, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması ve sermayenin küresel ölçekte daha hareketli hâle gelmesi, piyasaları hem daha entegre hem de daha kırılğan bir yapıya dönüştürmüştür. Ürün yaşam döngülerinin kısalması, talebin giderek daha dalgalı ve öngörülemez hâle gelmesi, müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi ve kişiselleştirilmiş ürünlere yönelik talebin artması, geleneksel üretim yaklaşımlarını zorlayan temel dinamikler hâline gelmiştir (McMillan, Rodrik ve Verduzco-Gallo, 2014). Sanayi Devrimi sonrasında uzun yıllar boyunca hâkim olan kitlesel üretim paradigması, ölçek ekonomileri sayesinde yüksek hacimli ve düşük maliyetli üretimi mümkün kılmıştır. Henry Ford'un montaj hattı sistemi ise bu yaklaşımın sembolü hâline

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Hitit Üniversitesi, Finans Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, Orcid: 0000-0002-8885-9463

gelmiştir. Ancak bu model, nispeten istikrarlı ve homojen talep koşulları altında etkili olsa da değişken piyasa yapısı karşısında atıl kapasite, fazla stok ve müşteri memnuniyetsizliği gibi sorunlara yol açmıştır (Tomas, Radonja ve Bonato, 2019).

1980’lerde Japonya’da Toyota tarafından geliştirilen yalın üretim yaklaşımı, kitlesel üretimin verimsizliklerine bir tepki olarak ortaya çıkmıştır. İsrafın ortadan kaldırılması, sürekli iyileştirme (Kaizen) ve tam zamanında üretim (JIT) ilkeleriyle üretim sistemlerinde önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Yalın üretim yaklaşımı kaliteyi artırmış, maliyetleri düşürmüş ve üretim akışını iyileştirmiş olsa da, talep belirsizliğinin yüksek olduğu, ürün çeşitliliğinin arttığı ve müşteri beklentilerinin hızla değiştiği pazarlarda tek başına yeterli olamamıştır (Jasti & Kodali, 2015). Bu noktada değişimi yalnızca yönetmek değil, aynı zamanda ondan fayda sağlamayı hedefleyen daha üst düzey bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu ihtiyacın bir sonucu olarak ortaya çıkan paradigmalardan birisi çevik üretim yaklaşımıdır. Çevik üretim, maliyet ve israf azaltmaya odaklanan yalın üretim kazanımlarını korumaktadır. Fakat buna hız, uyum sağlama yeteneği, inovasyon, müşteriyle eş zamanlı değer yaratma ve iş birliği odaklı bir vizyon eklemektedir (Arslan, 2007). Bu bağlamda çevik üretim, rekabet avantajının sürdürülebilirliği için kritik bir üretim yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır.

Çevik üretim; yalnızca teknolojik bir yenilik ya da operasyonel bir iyileştirme süreci değil, işletmenin tüm birimlerine nüfuz eden stratejik bir yönetim anlayışıdır. Değişimi öngörebilme, hızlı tepki verme, belirsizliği fırsata dönüştürme ve müşteriyle eşzamanlı değer yaratma gibi yetkinliklere dayanır. Dijital teknolojilerin, modüler üretim altyapılarının ve öğrenen organizasyon kültürünün yaygınlaşması, çevik üretimin uygulanabilirliğini artırmakta; işletmeleri daha dinamik, işbirlikçi ve veri temelli karar alma süreçlerine yönlendirmektedir.

## Çevik Üretim Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

Gündelik anlamıyla çeviklik, hızlı tepki verebilme ve kıvrak bir şekilde hareket edebilme yeteneğini ifade etmektedir. Örgütsel ve üretim yönetimi bağlamında ise belirsiz ve öngörülemeyen çevresel koşullarda ortaya çıkan değişimlere hızlı, etkili ve çoğu zaman proaktif biçimde yanıt verebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Literatürde çeviklik; değişimi zamanında fark edebilme, doğru şekilde analiz edebilme, uygun araç ve süreçlerle karşılık verebilme ve bu değişimi mümkün olduğunca bir fırsata dönüştürebilme becerilerinin bir bileşimi olarak ele alınmaktadır. Bu yönüyle yalnızca teknik bir üretim meselesi değil, aynı zamanda bütüncül bir yönetim yaklaşımı ve düşünme biçimi olarak görülmektedir (Yusuf, Sarhadi ve Gunasekaran, 1999) .

Çevik işletmeler, değişimi istisnai bir durum olarak görmezler. Bu işletmeler değişimi iş yapma biçimlerinin sürekli bir unsuru olarak kabul ederler. Bilgi teknolojilerinden ve tedarikçilerle hatta rakiplerle kurulan işbirliği temelli yapılardan yararlanarak müşteri değerini merkeze alan bir yapı oluştururlar. Bu doğrultuda çevik bir işletme, yalnızca maliyet ve kalite performansı ile değil, aynı zamanda öğrenme hızı, uyum sağlama kapasitesi ve fırsatları değerlendirebilme yeteneği ile de ön plana çıkmaktadır (Sanchez & Nagi, 2001) .

Çeviklik, sıklıkla esneklik kavramıyla karıştırılmaktadır. Esneklik, öngörülebilir veya tanımlanmış bir dizi değişikliğe uyum sağlayabilme kapasitesine işaret etmektedir. Fakat çeviklik ise çoğu zaman önceden öngörülemeyen değişimlere karşı tüm sistemi; örgüt yapısı, tedarik zinciri, süreçler, insan kaynakları ve bilgi sistemlerini dâhil ederek yeniden kurgulayabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bu nedenle esneklik daha çok farklı ürün ve süreçlere uyumla ilişkilendirilirken, çeviklik ise değişim karşısında tüm yapıyı dönüştürme ve değişimi fırsata çevirmeyle ilişkilendirilmektedir.

Esneklik, hız ve yenilikçiliği bir arada içeren üst bir kavram olarak konumlandırılmaktadır (Abdelilah, El Korchi & Balambo, 2018).

Çevik üretimle sıklıkla karıştırılan bir diğer üretim modeli ise yalın üretimdir. Yalın üretim, öncelikli olarak israfın ortadan kaldırılması ve maliyetlerin düşürülmesi üzerine yoğunlaşan bir yaklaşımdır; çevik üretim, maliyet unsurunu dışlamaksızın müşteri duyarlılığı, hız, esneklik ve işbirliği gibi boyutları eşzamanlı olarak optimize etmeyi hedefleyen daha kapsamlı bir üretim stratejisi sunmaktadır (Yusuf & Adeleye, 2002).

Çevik üretim, işletmelerin değişken ve belirsiz pazar koşullarına hızlı, esnek ve etkili bir şekilde uyum sağlamasını hedefleyen çağdaş bir üretim stratejisidir. Bu yaklaşımda müşteri taleplerine göre süreçler ve organizasyon yapısı yeniden düzenlenir. Tasarım, üretim ve dağıtım süreçleri birbiriyle entegre edilir. Üretim sistemleri modüler ve yeniden yapılandırılabilir bir yapıya kavuşturulur. Bilgi ve iletişim teknolojileri yoğun biçimde kullanılır. Tedarik zinciri paydaşlarıyla güçlü bir işbirliği kurulur. Yetkilendirilmiş ve çok becerili bir işgücünün geliştirilmesi önemlidir. Sürekli yenilikçilik ise çevik üretimin temelini oluşturan bir diğer unsurdur.

Çevik üretim kavramı, 1970'ler ve 1980'lerde yaşanan petrol krizleri, hızlı teknolojik gelişmeler ve Japon rekabetinin yükselişiyle birlikte gündeme gelmiştir. Bu dönemde hem kitlesel üretimin hem de yalın üretimin sınırları belirginleşmiş; işletmeler değişken pazar koşullarına daha hızlı ve esnek uyum sağlayabilecek yeni üretim sistemlerine ihtiyaç duymaya başlamıştır. Çeviklik kavramının literatürde sistematik biçimde ele alınması ise 1991 yılında Lehigh Üniversitesi Iacocca Enstitüsü tarafından yayımlanan *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy* raporuyla mümkün olmuştur. Raporda, ABD imalat sektörünün rekabet gücünü yeniden kazanabilmesi için çevikliğin stratejik bir gereklilik olduğu vurgulanmıştır. Bu kapsamda, yüksek kaliteli ve kişiselleştirilmiş

ürün taleplerine hızla yanıt verebilen; gelişmiş üretim teknolojilerini, kapsamlı bilgi ağlarını ve yetkin insan kaynağını bir araya getiren yeni bir işletme modeli önerilmiştir (Sipper & Bulfin, 1997). Raporun ardından Kidd, Goldman, Nagel, Preiss, Sharifi ve Zhang gibi araştırmacılar çevikliği farklı yönleriyle ele almıştır. Bu çalışmalarda çeviklik; pazar dalgalanmaları, teknolojik yenilikler ve rekabet baskıları gibi temel sürücülerle ilişkilendirilmiş ve hız, esneklik, müşteri odaklılık ile yenilikçilik gibi temel yetenekler çerçevesinde tanımlanmıştır. Aynı zamanda bilgi teknolojileri, insan kaynakları, liderlik, örgüt kültürü ve süreç yönetimi gibi yapısal unsurlar da çevikliğin temel sağlayıcıları olarak görülmüştür. Böylece çevik üretim, yalnızca operasyonel esnekliği hedefleyen bir model olmaktan çıkmış; örgütsel öğrenme, stratejik uyum ve sürekli yenilik kapasitesine dayalı bütüncül bir yönetim yaklaşımı olarak kabul edilmiştir (Goldman, Nagel & Preiss, 1995; Zhang & Sharifi, 2007).

2000’li yıllarla birlikte Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği, siber-fiziksel sistemler ve dijital ikiz gibi teknolojilerin gelişmesi, çevik üretim anlayışını önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bu teknolojiler, çevik üretimi gerçek zamanlı veri akışı ve gelişmiş dijital altyapılarla desteklenen yeni bir boyuta taşımıştır. Literatürde bu dönüşüm çoğunlukla ‘dijital çeviklik’ kavramı ile açıklanmaktadır. Bu dönemde çevik üretim, yalnızca değişime hızlı tepki veren bir yapı olmanın ötesine geçmiş; değişimi daha erken fark edebilen ve üretim sistemlerini buna göre uyarlayabilen daha kapsamlı bir stratejik yaklaşım hâline gelmiştir (Gunasekaran vd., 2019).

Günümüzde imalat işletmeleri; dalgalı talep, kısalan ürün yaşam döngüleri, artan ürün çeşitliliği ve kişiselleştirme beklentileri gibi önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Buna ek olarak küresel tedarik zincirlerinin giderek daha karmaşık ve kırılgan hâle gelmesi, teknolojik yeniliklerin hızlanması ve düzenleyici gerekliliklerin sık

değişmesi işletmeler üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Maliyet, kalite ve teslimat hızına yönelik eşzamanlı beklentiler de üretim sistemlerinin uyum kapasitesini zorlamaktadır (McMillan, Rodrik ve Verduzco-Gallo, 2014).

Bu koşullar altında kitlesel üretim modeli, yüksek stok düzeyleri ve atıl kapasite gibi sorunlar doğurabilmektedir. Yalın üretim ise yoğun belirsizlik ve ani dalgalanmaların yaşandığı ortamlarda her zaman yeterli esnekliği sağlayamayabilmektedir (Jasti & Kodali, 2015). Bu nedenle çevik üretim, belirsiz ve değişken koşullar karşısında daha hızlı ve etkili tepki verebilme potansiyeli nedeniyle literatürde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çevik üretim; ürün yaşam döngülerinin kısalmasına yeni ürün geliştirme ve pazara sunma sürelerini azaltarak yanıt verebilmekte, kişiselleştirilmiş ürün taleplerini toplu üretim ölçeklerinde karşılayabilen yapılar sunabilmektedir. Ayrıca tedarik zinciri içinde işbirliğini ve bilgi paylaşımını güçlendirerek süreç görünürlüğünü artırmakta; teknoloji entegrasyonu aracılığıyla veri temelli karar alma ve kestirimci bakım gibi uygulamaları desteklemektedir. Örgütsel öğrenme ve yenilikçilik ise çevikliğin sürekliliği açısından önemli bir altyapı oluşturmaktadır (Sanchez & Nagi, 2001). Bu çerçevede çevik üretim, yalnızca belirsizlik karşısında esneklik sağlayan bir yaklaşım değil; aynı zamanda işletmelerin değişimi daha etkin yönetmesine olanak tanıyan bütüncül bir stratejik yönelim olarak değerlendirilmektedir.

Çeviklik genel anlamıyla hızlı ve etkili tepki verebilme yeteneğini ifade etmektedir. Örgütsel bağlamda ise çeviklik, belirsiz ve değişken çevresel koşullar karşısında işletmenin kendisini yeniden konumlandırabilme kapasitesidir. Üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde çeviklik; değişimi zamanında algılama, doğru biçimde analiz etme, uygun araçlarla karşılık verebilme ve mümkün olduğunda bu değişimi rekabet avantajına dönüştürme becerilerinin bütününe kapsamaktadır

## **Çevik Üretim Sistemlerinin Temel İlkeleri**

Çevik üretim sistemlerinin temel ilkeleri, işletmelerin belirsiz, dinamik ve yoğun rekabet içeren pazar koşullarında sürdürülebilir rekabet avantajı elde edebilmesi için gerekli olan yapısal ve davranışsal yetkinlikleri kapsamlı biçimde tanımlamaktadır. Bu ilkeler, yalnızca operasyonel süreçlerin yönetimini değil, aynı zamanda stratejik yönelimin belirlenmesini, teknolojik altyapının etkin kullanımını ve örgütün öğrenme kapasitesinin güçlendirilmesini içeren bütüncül bir çerçeve sunar. Literatürde çevik üretim sistemlerinin temel ilkeleri; hız, esneklik, müşteri odaklılık, teknoloji entegrasyonu, işbirliği ve ağ temelli yapılanmalar ile öğrenen organizasyon ve yenilikçilik olmak üzere altı başlık altında toplanmaktadır (Ramesh & Devadasan, 2007). Bu ilkeler, birlikte ele alındığında işletmelerin değişken çevre koşullarına uyum sağlama, fırsatları hızlı biçimde değerlendirme ve rekabet baskılarına karşı proaktif stratejiler geliştirme yetkinliklerini güçlendirmektedir.

### **Hız**

Hız, çevik üretim sistemlerinin en belirgin ve kritik bileşenlerinden biri olup işletmelerin değişken pazar koşullarına, dalgalanan müşteri taleplerine ve hızlı dönüşüm gerektiren ürün geliştirme süreçlerine ne ölçüde süratle yanıt verebildiğini gösteren temel bir yetkinliği ifade eder. Modern üretim ortamında ürün yaşam döngülerinin kısalması, yoğun rekabet baskısı ve teknolojik yeniliklerin hızlanması, işletmelerin yalnızca üretim süreçlerinde değil, tasarım, tedarik, lojistik ve karar verme mekanizmalarında da zaman temelli bir rekabet anlayışı benimsemesini zorunlu kılmıştır. Bu doğrultuda hız; kısa çevrim sürelerinin sağlanması, hızlı prototipleme teknolojilerinin kullanılması, dijital tasarım ve sanal doğrulama süreçlerinin entegrasyonu, eşzamanlı mühendislik uygulamaları ve gerçek zamanlı veri akışına dayalı karar alma gibi

unsurlarla desteklenmektedir. Söz konusu uygulamalar, işletmenin pazar sinyallerini daha erken algılamasına, müşteri ihtiyaçlarına hızlı uyum sağlamasına ve ürünlerini rakiplerine kıyasla daha kısa sürede pazara sunmasına olanak tanır (Yusuf & Adeleye, 2002). Dolayısıyla hız, çevik üretimde yalnızca operasyonel bir performans göstergesi değil, aynı zamanda stratejik bir yetkinlik olarak değerlendirilmekte ve işletmenin rekabet avantajının sürdürülebilirliğinde belirleyici bir rol üstlenmektedir

## **Esneklik**

Esneklik, çevik üretim sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olup üretim süreçlerinin farklı ürün tiplerine uyum sağlayabilmesi, küçük parti üretimlerini ekonomik olarak gerçekleştirebilmesi ve değer akışının gerek duyulduğunda hızlı biçimde yeniden yapılandırılabilmesi anlamına gelmektedir. Günümüz rekabetçi pazarlarında ürün çeşitliliğinin artması, talep belirsizliğinin yükselmesi ve müşteri beklentilerinin sık aralıklarla değişmesi, işletmeleri yüksek düzeyde esnek üretim mimarilerine yöneltmektedir. Bu doğrultuda esneklik, makine ve ekipmanların yeniden konfigüre edilebilir olması, modüler üretim sistemlerinin kullanılması, çok becerili işgücü istihdamı ve süreçlerin farklı senaryolara hızla adapte edilebilmesi gibi unsurları kapsamaktadır. Her ne kadar esneklik çevikliğin öncül koşulu olarak kabul edilse de çeviklik, yalnızca uyum sağlama kapasitesini değil; aynı zamanda belirsizlikleri stratejik fırsatlara dönüştürebilen daha ileri bir dönüşüm yeteneğini ifade etmektedir (Huang, 2002). Bu açıdan esneklik, çevik üretimin yapı taşlarından biri olmakla birlikte, çeviklik kapsamındaki hız, proaktivite ve müşteri odaklılık gibi diğer yetkinliklerle bütünleştğinde işletmelere sürdürülebilir rekabet avantajı sağlayabilen kritik bir organizasyonel kapasite hâline gelmektedir.

## **Müşteri Odaklılık**

Müşteri odaklılık, çevik üretim sistemlerinin temel ilkelerinden biri olup işletmenin tüm üretim ve yönetim süreçlerini müşteri taleplerindeki ani değişimleri merkeze alacak biçimde yapılandırmasını gerektiren stratejik bir yaklaşımı ifade eder. Bu ilke doğrultusunda çevik işletmeler, müşteriyi pasif bir talep kaynağı olarak değil, değer yaratma sürecinin aktif bir paydaşı olarak konumlandırır ve üretim süreçlerini müşteriyle eşzamanlı etkileşim sağlayacak şekilde tasarlar. Kişiselleştirilebilir ürün seçenekleri sunulması, yüksek hizmet seviyesinin sürekliliğinin sağlanması ve müşteriyle sürekli geri bildirim mekanizmalarının işletilmesi bu yaklaşımın temel bileşenleridir (Kasap & Peker, 2009). Bu doğrultuda müşteri odaklılık, yalnızca müşteri memnuniyetinin artırılmasıyla sınırlı olmayıp, müşteri ihtiyaçlarının hızla sisteme entegre edilerek işletmenin tasarım esnekliği, ürün çeşitlendirme kapasitesi ve pazara uyum hızının artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla müşteri odaklılık ilkesi, çevik üretimin stratejik yönelimini belirleyen ve rekabet avantajının sürdürülebilirliğini destekleyen kritik bir yapı taşı niteliğindedir.

## **Teknoloji Entegrasyonu**

Teknoloji entegrasyonu, çevik üretim sistemlerinin temel sağlayıcılarından biri olup bilgi teknolojileri ile üretim teknolojilerinin tüm değer zinciri süreçleriyle bütünleşik bir şekilde çalışmasını ifade eder. Dijital ikizler, sensör ağlarına dayalı siber-fiziksel sistemler, büyük veri analitiği, otonom otomasyon uygulamaları ve yapay zekâ destekli karar verme mekanizmaları gibi ileri teknolojiler, işletmelerin hem operasyonel süreçlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilmesini hem de değişken çevresel koşullara hızla uyum sağlayabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesi; talep tahmini, arıza öngörüsü, kaynak optimizasyonu ve süreç iyileştirme gibi alanlarda üstün

performans yaratmakta, böylece çevikliğin gerektirdiği hız, esneklik ve proaktif karar alma kapasitesini önemli ölçüde güçlendirmektedir (Arslan, 2007). Dolayısıyla teknoloji entegrasyonu, çevik üretimin dijital temellerini oluşturarak işletmelerin rekabet avantajını sürdürülebilir kılan stratejik bir yapı taşı niteliğindedir.

### **İşbirliği ve Ağ Yapıları**

İşbirliği ve ağ yapıları, çevik üretim sistemlerinin temel ilkelerinden biri olarak işletmelerin rekabet avantajı elde etme süreçlerinde dış paydaşlarla kurduğu çok yönlü ilişkileri merkeze almaktadır. Çevik üretim yaklaşımı; tedarikçiler, müşteriler, lojistik sağlayıcıları, stratejik ortaklar ve belirli durumlarda rekabet içinde olunan firmalarla dahi kısa vadeli, esnek ve amaç odaklı işbirliklerine dayanan ağ merkezli bir üretim modelini benimser. Bu ağ tabanlı yapı, bilgi akışının hızlanmasını, kaynakların ortak kullanılmasını, pazar fırsatlarına hızlı erişimi ve üretim kapasitesinin talep dalgalanmalarına göre etkin biçimde yeniden düzenlenmesini mümkün kılar. Bu kapsamda “sanal organizasyon” olarak adlandırılan yapılar, fiziksel sınırların ötesinde değer zinciri aktörleri arasında koordinasyon ve entegrasyon sağlayarak hem kapasiteyi artıran hem de riskleri dağıtarak belirsizliği yönetmeyi kolaylaştıran stratejik bir mekanizma işlevi görür (Sanchez & Nagi, 2001). Dolayısıyla işbirliği ve ağ yapılanmaları, çevik üretimin yalnızca operasyonel etkinliğini değil, aynı zamanda stratejik esnekliğini ve uyum sağlama kapasitesini güçlendiren kritik bir bileşen niteliğindedir.

### **Öğrenen Organizasyon ve Yenilikçilik**

Öğrenen organizasyon ve yenilikçilik, çevik üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olup işletmenin bilgi üretme, bilgiyi hızla işleme ve bu bilgiyi yeni ürün, süreç ve organizasyonel uygulamalara dönüştürme kapasitesini ifade eder. Çevik üretim ortamında çalışanların çok becerili, esnek,

inisiyatif alabilen ve yetkilendirilmiş bireyler olarak süreçlere aktif katılım göstermesi beklenir. Bu durum yalnızca bireysel yetkinlikleri güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda örgütün hızlı karar alma ve değişime uyum sağlama kapasitesini de artırır. Bunun yanı sıra örgütün; deneyimlerden öğrenmeyi teşvik eden, hataları bir gelişim fırsatı olarak gören, yaratıcı düşünceyi destekleyen ve sürekli yenilikçiliği kurumsal bir değer hâline getiren bir kültür oluşturmaya gereklidir. Organizasyonel öğrenme süreçlerinin kurumsallaşması, çevik üretimin gerektirdiği hız, esneklik ve proaktivitenin uzun vadede sürdürülebilmesini sağlayarak işletmenin rekabet avantajını kalıcı hâle getirmektedir (Çetin & Altuğ, 2005). Dolayısıyla öğrenen organizasyon ve yenilikçilik ilkesi, çevik üretimin yalnızca bir üretim modeli değil, aynı zamanda dinamik bir örgütsel gelişim yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

### **Çevik Üretim Sistemlerinin Tasarımı**

Çevik üretim sistemlerinin tasarımı, üretim altyapısını, teknolojiyi, süreçleri ve insan kaynağını bütüncül bir perspektifle ele alan çok katmanlı bir yeniden yapılanma gerektirir. Bu bağlamda çeviklik, yalnızca teknik bir düzenleme değil; işletmenin stratejik yönelimlerini, örgütsel kültürünü ve rekabetçi konumlanmasını doğrudan etkileyen kapsamlı bir dönüşüm sürecidir. Çevik üretim sistemleri öncelikle modüler ve yeniden yapılandırılabilir bir mimariye dayanır. Üretim hücrelerinde esnek otomasyonun kullanılması, hızlı ayar değiştirme imkanlarının oluşturulması ve modüler ekipmanların entegrasyonu, farklı ürün konfigürasyonları ve dalgalanan müşteri taleplerine yüksek hızda uyum sağlamayı mümkün kılar. Sistem mimarisine paralel olarak süreç tasarımı da yalın üretim ilkeleri doğrultusunda yeniden şekillendirilmelidir. Süreçlerin gereksiz adımlardan arındırılması, akış sürelerinin kısaltılması, eşzamanlı mühendislik uygulamalarının geliştirilmesi ve hücresel üretim düzenlerinin kurulması, üretim akışının değişken

evre koşullarına hızlı tepki verebilecek bir yapıya kavuşmasını sağlar (Ramesh & Devadasan, 2007).

Çevik retim sistemlerinin tasarımında dijital teknolojilerin entegrasyonu kritik bir belirleyicidir. Endüstri 4.0 kapsamında IoT tabanlı gerçek zamanlı izleme sistemleri, kestirimci bakım uygulamaları, üretim süreçlerinin dijital ikiz modelleriyle simüle edilmesi ve bulut tabanlı ERP entegrasyonları, hem operasyonel görünürlüğü artırmakta hem de karar verme süreçlerini önemli ölçüde hızlandırmaktadır. Bununla birlikte, insan kaynağının yetkinlikleri de çevikliğin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir unsur niteliğindedir. Çok becerili, problem çözme yetenekleri yüksek, karar süreçlerine aktif katılım sağlayan ve sürekli öğrenme kültürünü benimsemiş bir iřęc yapısı, evik retim modelinin gerektirdiği esnekliği destekler. Benzer şekilde tedarik zinciri tasarımı da hız, şeffaflık ve dayanıklılık ilkeleri üzerine kurulmalıdır. Kısa tedarik süreleri, stratejik tedarikçi iş birlikleri, dijital tedarik zinciri platformları ve yüksek düzeyde bilgi paylaşımı, evik sistemin dış çevresel değişimlere hızlı tepki verebilmesini sağlar (Dengiz, 2017). Tüm bu bileşenlerin işletmenin genel stratejisiyle tam uyum içinde olması, evik retim sisteminin kurumsal düzeyde yönetişimini güçlendirir. Teknoloji yatırımlarının, rekabet stratejilerinin ve örgütsel yetkinliklerin çeviklik vizyonunu destekleyecek biçimde bütünleştirilmesi, evik retim yapısının uzun vadeli başarısının temel koşuludur.

### **Sistem Mimarisi ve Modüler Yapı**

Çevik retim sistemlerinin temelini, değişen üretim koşullarına hızla uyum sağlayabilen modüler ve yeniden yapılandırılabilir üretim hücrelerinden oluşan esnek bir sistem mimarisi oluşturur. Bu mimari, esnek otomasyon teknolojilerinin kullanımını, hızlı ayar değiştirme olanaklarının geliştirilmesini ve modüler ekipmanların entegrasyonunu gerektirir. Böyle bir yapı,

ürün çeşitliliğinin arttığı ve talep dalgalanmalarının yoğunlaştığı üretim ortamlarında, süreçlerin minimum kesintiyle yeniden düzenlenebilmesine ve farklı ürün konfigürasyonlarına yüksek hızda uyum sağlanmasına imkân tanır (Sanchez & Nagi, 2001). Bu doğrultuda modüler sistem yaklaşımı, çevik üretimin operasyonel esneklik, ölçeklenebilirlik ve dönüşüme açıklık gibi temel ilkelerini destekleyen stratejik bir altyapı niteliği taşır.

### **Süreç Tasarımı ve Akış Yönetimi**

Süreç tasarımı ve akış yönetimi, çevik üretim sistemlerinin verimliliğini ve adaptasyon kapasitesini doğrudan belirleyen kritik bir bileşendir. Bu kapsamda üretim süreçlerinin, değer yaratmayan faaliyetlerin sistematik biçimde ortadan kaldırılmasını hedefleyen yalın üretim ilkeleri doğrultusunda yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Gereksiz adımların elimine edilmesi, süreç akışındaki darboğazların tespit edilerek giderilmesi ve toplam akış sürelerinin minimize edilmesi, çevikliğin operasyonel düzeyde gerçekleşmesi için temel koşullardır. Ayrıca üretim hatlarının çevresel değişimlere, talep dalgalanmalarına ve ürün çeşitliliğine hızlı uyum sağlayabilecek biçimde esnekleştirilmesi önem taşımaktadır. Bu doğrultuda eşzamanlı mühendislik uygulamaları, tasarım ve üretim süreçlerinin paralel ilerlemesini sağlayarak ürün geliştirme süresinin kısalmasına ve süreç uyumunun artmasına katkıda bulunur. Hücresel üretim düzenleri ise benzer işlemlerin bir arada gruplanmasını sağlayarak akış bütünlüğünü güçlendirmekte, malzeme hareketini azaltmakta ve süreçlerde gerekli yeniden konfigürasyonların minimum maliyetle gerçekleştirilebilmesine imkân tanımaktadır (Jasti & Kodali, 2015). Bu iki yaklaşım birlikte ele alındığında, çevik üretim sistemlerinde hem akış verimliliğinin hem de yapısal esnekliğin önemli ölçüde artırıldığı görülmektedir.

## **Dijital Teknolojilerin Entegrasyonu**

Dijital teknolojilerin entegrasyonu, çevik üretim sistemlerinin tasarımında merkezi bir konumda olup, işletmelerin değişen pazar koşullarına hızlı ve veri odaklı biçimde tepki verebilmesini mümkün kılan temel unsurları kapsamaktadır. Endüstri 4.0 yaklaşımı çerçevesinde geliştirilen IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı izleme sistemleri, üretim süreçlerindeki makine, ekipman ve sensörlerden gerçek zamanlı veri toplanmasını sağlayarak operasyonel görünürlüğü artırmakta; olası sapmaların anında tespit edilmesine ve süreçlerin hızlı bir şekilde yeniden düzenlenmesine imkân tanımaktadır (Gunasekaran vd., 2019). Kestirimci bakım uygulamaları ise bu veri altyapısını kullanarak ekipman arızalarının önceden öngörülmesini, bakım faaliyetlerinin optimize edilmesini ve plansız duruş sürelerinin minimize edilmesini mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte dijital ikiz teknolojileri, fiziksel üretim sistemlerinin sanal bir kopyasının oluşturulmasını sağlayarak süreçlerin simülasyon ortamında test edilmesine, performans senaryolarının analiz edilmesine ve karar mekanizmalarının bilimsel temellere dayandırılmasına katkı sunar. Bulut tabanlı üretim planlama sistemleri ile MES (Manufacturing Execution System) ve ERP (Enterprise Resource Planning) entegrasyonları ise hem yatay hem de dikey bilgi akışını güçlendirerek üretim, tedarik zinciri, stok yönetimi ve müşteri taleplerinin bütünleşik bir yapıda koordinasyonunu sağlar (Jasti & Kodali, 2015). Tüm bu dijital bileşenlerin uyumlu bir şekilde entegrasyonu, çevik üretim sistemlerinin esneklik, hız, görünürlük ve öngörü yeteneklerini önemli ölçüde artırarak rekabetçi avantajın sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

## **İnsan Kaynağı ve Yetkinlik Tasarımı**

İnsan kaynağı ve yetkinlik tasarımı, çevik üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği ve etkinliği açısından stratejik bir unsur niteliği taşımaktadır. Çeviklik yaklaşımı, yalnızca teknolojik ve süreç odaklı dönüşümleri değil, aynı zamanda işgücünün niteliksel olarak yeniden yapılandırılmasını da gerektirir. Bu çerçevede çevik üretim ortamlarında görev alan çalışanların çok becerili, yüksek düzeyde teknik bilgiye sahip, problem çözme ve analitik düşünme yetkinlikleri gelişmiş bireyler olması önem taşır. İşgücünün karar alma süreçlerine aktif katılımını teşvik eden bir yönetim anlayışı, çalışanların operasyonel esnekliğe katkı sağlamasını ve süreç iyileştirme faaliyetlerine doğrudan dahil olmasını mümkün kılar. Buna ek olarak yetkilendirilmiş takımların oluşturulması, sorumluluk paylaşımını güçlendirmekte ve çalışanların hızlı değişen üretim koşullarına uyum sağlayabilme becerisini artırmaktadır. Sürekli eğitim ve mesleki gelişim programlarının uygulanması, yeni teknolojilere adaptasyonu hızlandırmakta ve işgücünün dijital dönüşüm süreçleriyle uyumunu desteklemektedir. Örgüt kültürünün çeviklik odaklı bir yapıya kavuşturulması ise yenilikçiliği, öğrenen organizasyon anlayışını ve proaktif davranış biçimlerini teşvik ederek, insan kaynağının çevik üretim vizyonunu benimsemesini sağlar (Abdelilah, El Korchi & Balambo, 2018). Bu bütüncül yaklaşım, çevik üretim sistemlerinin temelini oluşturan esneklik, hız ve uyarlanabilirlik unsurlarının insan kaynağı boyutunda da güçlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

## **Tedarik Zinciri Tasarımı**

Tedarik zinciri tasarımı, çevik üretim sistemlerinin etkinliğini doğrudan belirleyen stratejik bir bileşen olup, hız, esneklik, görünürlük ve dayanıklılık gibi temel unsurlar üzerine inşa edilmelidir. Çevik bir üretim yapısında tedarik zincirinin, talep dalgalanmalarına ve dış çevrede meydana gelen değişimlere hızlı

tepki verebilecek bir esneklikte olması kritik önem taşır. Bu amaçla zincir boyunca gerçek zamanlı veri erişimini ve izlenebilirliği artıran yüksek görünürlüklü bir yapı gereklidir; böylece stok seviyeleri, üretim kapasitesi ve lojistik akışlar etkin biçimde koordine edilebilir. Aynı zamanda tedarik zincirinin risklere karşı dayanıklı olması, olası tedarik kesintileri, jeopolitik belirsizlikler, lojistik aksaklıklar veya talep şokları gibi durumlarda sistemin işleyişinin sürdürülebilmesine olanak tanır (Jasti & Kodali, 2015). Bilgi paylaşımına açık, şeffaf ve iş birlikçi bir tedarik zinciri yapısı ise çevikliğin kurumsal düzeyde yerleşmesini destekler. Tedarikçilerle kurulan uzun vadeli stratejik ortaklıklar, karşılıklı güvene dayalı ilişkiler ve ortak planlama faaliyetleri, hem tedarik sürelerinin kısaltılmasına hem de süreçlerin eşgüdümlü yürütülmesine katkı sağlar. Dijital tedarik zinciri uygulamaları özellikle bulut tabanlı platformlar, IoT destekli izleme sistemleri, büyük veri analitiği ve yapay zekâ tabanlı talep tahmin modelleri tedarik zincirinin bütünsel olarak optimize edilmesine ve çevik üretim hedefleriyle uyumlu bir yapı oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Bu bütüncül yaklaşım sonucunda tedarik zinciri, çevik üretim sistemlerinin gerektirdiği hız, esneklik ve adaptasyon yeteneklerini destekleyen stratejik bir kaldıraç işlevi görür.

### **Stratejik Uyum ve Yönetişim**

Stratejik uyum ve yönetişim, çevik üretim sistemlerinin başarısını belirleyen temel çerçeveyi oluşturmakta olup, üretim altyapısının ve operasyonel süreçlerin işletmenin genel stratejik yönelimiyle bütünlük bir yapı göstermesini gerektirir. Bu kapsamda çevik üretim tasarımının, işletmenin rekabet stratejileriyle, uzun vadeli hedefleriyle ve pazardaki konumlanma tercihiyle uyumlu bir şekilde yapılandırılması önem taşır. Özellikle maliyet liderliği, farklılaşma veya hız odaklı rekabet stratejilerinin her biri, çeviklik vizyonunun gerektirdiği teknoloji yatırımları ve süreç tasarımları üzerinde doğrudan etkide bulunmaktadır. Ayrıca yönetişim mekanizmalarının çeviklik anlayışını destekleyecek

biçimde tasarlanması; karar alma süreçlerinin hızlandırılması, bilgi akışının şeffaflaştırılması ve organizasyonel yetkinliklerin sürekli olarak geliştirilmesi açısından kritik bir gerekliliktir. Teknoloji yatırımlarının stratejik planlama süreçlerine entegre edilmesi, dijital dönüşüm projelerinin kurumsal hedeflerle uyum içinde yürütülmesini sağlar (Yusuf & Adeleye, 2002). Benzer şekilde örgütsel yetkinliklerin—özellikle inovasyon kapasitesi, öğrenme yeteneği ve değişime açıklık, çeviklik vizyonu ile bütünleşmiş olması, işletmenin çevresel belirsizliklere karşı proaktif ve adaptif tepkiler üretebilmesini mümkün kılar. Bu bütüncül yönetim yaklaşımı, çevik üretim sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini güvence altına alırken, işletmenin rekabet avantajını dinamik bir şekilde korumasına da katkıda bulunur.

### **Çevik Üretimin Stratejik Etkileri**

Çevik üretim, yalnızca operasyonel çeviklik veya hızlı tepki verme kapasitesi değil, aynı zamanda işletmelerin rekabet stratejilerini, tedarik zinciri yönetim biçimlerini, ürün geliştirme süreçlerini, sürdürülebilirlik anlayışlarını ve örgütsel yapılanmalarını dönüştüren çok boyutlu bir yönetim yaklaşımıdır. Bu nedenle çevikliğin stratejik etkileri, işletmenin performansının hem kısa vadeli operasyonel çıktılarında hem de uzun vadeli rekabet üstünlüğünde belirleyici rol oynar. Aşağıda çevik üretimin stratejik etkileri, temel boyutlarıyla kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Çevik üretim, işletmelerin yalnızca operasyonel süreçlerinde değil; rekabet stratejilerinde, tedarik zinciri yönetiminde, ürün geliştirme faaliyetlerinde, sürdürülebilirlik uygulamalarında ve örgütsel yapılarında köklü dönüşümler yaratan stratejik bir yönetim yaklaşımıdır. Bu paradigma, hızlı pazara giriş, toplu kişiselleştirme, yenilikçilik kapasitesinin artması ve dinamik yeteneklerin gelişmesi yoluyla rekabet üstünlüğünü güçlendirirken; tedarik zincirlerinde gerçek zamanlı veri paylaşımı, yüksek görünürlük, esneklik ve risk dayanıklılığı sağlayarak geleneksel zincirleri uyarlanabilir ağlara

dönüştürür (Goldman, Nagel & Preiss, 1995). Ürün geliştirme süreçlerinde eşzamanlı mühendislik, modüler tasarım ve hızlı prototipleme gibi uygulamalarla yeni ürün geliştirme süresi kısalmakta, sürdürülebilirlik açısından israfın azaltılması, enerji verimliliğinin artması ve döngüsel ekonomiye uyum kolaylaşır. KOBİ’ler esnek yapıları nedeniyle çevik dönüşüme hızlı uyum sağlarken finansal ve dijital altyapı kısıtlarıyla karşılaşmakta; büyük işletmeler ise yüksek teknoloji kapasitesi avantajına rağmen karmaşık yapıları ve yavaş karar mekanizmaları nedeniyle çevik dönüşümü daha zor yönetebilmektedir. Bu bütüncül etkileriyle çevik üretim, işletmelerin hem kısa vadeli performansını hem de uzun vadeli rekabet gücünü belirleyen stratejik bir araç hâline gelmektedir.

### **Rekabet Avantajı Üzerindeki Etkileri**

Günümüz rekabet ortamında maliyet, kalite ve teslim süresi gibi geleneksel performans göstergelerinin önemi devam etmekle birlikte, hız, esneklik, yenilikçilik ve örgütsel öğrenme kapasitesi sürdürülebilir rekabet avantajının temel belirleyicileri hâline gelmiştir. Bu bağlamda çevik üretim sistemleri, belirsiz ve hızlı değişen piyasa koşullarında işletmelere önemli stratejik kazanımlar sunar. Çevik üretim, yeni ürün ve hizmetlerin pazara sunulma süresini kısaltarak işletmelere kritik bir “hızlı pazara giriş” üstünlüğü sağlar; toplu kişiselleştirme kapasitesi sayesinde farklı müşteri segmentlerine düşük maliyetli, özelleştirilmiş çözümler sunarak müşteri memnuniyeti, sadakati ve marka değerini artırır. Bunun yanı sıra çevik işletmeler, sürekli öğrenme ve yenilik odaklı yapıları sayesinde daha hızlı ürün geliştirme, esnek iş modeli tasarımı ve yeni pazar fırsatlarına uyum sağlama gibi yenilikçilik temelli avantajlar elde eder. Bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı, çok disiplinli ekip yapıları ve gelişmiş örgütsel öğrenme süreçleri ise işletmelerde çevikliğe dayalı dinamik yeteneklerin oluşumunu destekler ve bu yetenekler uzun vadeli rekabet üstünlüğünün temel kaynaklarını

oluşturur (Zhang & Sharifi, 2007).Tüm bu unsurlar bir araya geldiğinde çevik üretim, işletmeler için değişimin pasif biçimde yönetilen bir unsur olmaktan çıkıp, rekabet avantajı yaratmada stratejik bir araç hâline gelmesini mümkün kılar.

### **Tedarik Zinciri Üzerindeki Etkileri**

Çevik üretimin stratejik etkilerinin önemli bir boyutu tedarik zinciri yönetiminde ortaya çıkmakta olup, özellikle belirsizlik düzeyinin yüksek olduğu piyasa koşullarında tedarik zinciri performansı işletmenin çeviklik kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Çevik üretim, gerçek zamanlı veri paylaşımını teşvik ederek sensör sistemleri, dijital platformlar ve ortak veri tabanları aracılığıyla tedarik zincirinin tüm halkalarında görünürlüğü artırmakta; böylece talep sinyallerinin hızlı ve doğru bir biçimde iletilmesini sağlamaktadır (Gedik, 2021). Esneklik ve hız odaklı çevik tedarik zincirleri, teslimat sürelerinin kısaltılması, yükümlülük değişimlerinin hızlı yönetimi, çoklu tedarikçi stratejileri ve bölgesel kaynak kullanımının artırılması gibi mekanizmalarla değişken çevre koşullarına uyum sağlama yeteneğini güçlendirir. Bunun yanı sıra çevik üretim yaklaşımı, tedarikçi ve müşteri ilişkilerinde stratejik iş birliklerinin gelişmesini desteklemekte; sanal organizasyon yapıları sayesinde farklı işletmelerin belirli projelerde geçici olarak bir araya gelmesini mümkün kılarak hem maliyetleri düşürmekte hem de esneklik düzeyini artırmaktadır. Günümüz küresel tedarik zincirlerinin artan kırılganlığı dikkate alındığında, çevik sistemlerin yeniden yapılanma kapasitesi, tedarik kesintilerinin ve lojistik risklerin olumsuz etkilerini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır (Ramesh & Devadasan, 2007). Bu çerçevede çevik üretim, tedarik zincirlerini durağan ve maliyet odaklı geleneksel yapılardan çıkararak hızlı, esnek ve yüksek öngörü kapasitesine sahip dinamik bir yönetim modeline dönüştürmektedir.

## **Ürün Geliştirme Süresi Üzerindeki Etkileri**

Çevik üretimin stratejik etkilerinin en belirgin biçimde görüldüğü alanlardan biri ürün geliştirme süreçleridir; zira yeni ürün geliştirme süresi, günümüz rekabet ortamında işletmelerin pazara uyum yeteneğini ve yenilikçilik kapasitesini doğrudan belirleyen kritik bir performans göstergesidir. Çevik sistemlerde tasarım, mühendislik, üretim ve kalite birimlerinin eşzamanlı çalışmasını mümkün kılan yaklaşımlar, geleneksel aşamalı modellerin yerine daha kısa döngülere sahip, tekrarlamalı ve esnek süreçlerin uygulanmasını sağlayarak ürün geliştirme süresini önemli ölçüde kısaltır. Bununla birlikte modüler ürün tasarımı, ürün bileşenlerinin hızlı biçimde değiştirilmesine imkân vererek hem tasarım sürecinin hızını artırmakta hem de maliyetleri azaltmaktadır (Akben & Avşar, 2018). Hızlı prototipleme teknolojileri—özellikle 3B yazıcılar ve dijital ikiz uygulamaları—ürün prototiplerinin kısa sürede oluşturulmasını sağlamakta; böylece tasarım doğrulama ve test süreçleri daha hızlı ve düşük riskle tamamlanabilmektedir. Ayrıca çevik yaklaşımın benimsediği müşteriyle eşzamanlı değer yaratma anlayışı, müşteri geri bildirimlerinin ürün geliştirme sürecine sürekli olarak entegre edilmesini sağlayarak nihai ürünün pazar başarı oranını artırır (Gunasekaran vd., 2019). Bu bütüncül mekanizmalar sayesinde çevik üretim, ürün geliştirme süresinin azaltılması yoluyla işletmelere önemli ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı sunmaktadır.

## **Esneklik–Hız–Sürdürülebilirlik İlişkisi**

Çevik üretim, yalnızca operasyonel hız ve esneklik sağlamasıyla değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine sunduğu katkılarla da stratejik bir önem taşımaktadır. Esnek ve hızlı tepki verebilen üretim sistemleri, kaynak kullanımında etkinliği artırarak israfı azaltmakta, gereksiz stok birikimini önlemekte ve enerji kullanımını optimize ederek sürdürülebilir üretimin hem

çevresel hem de ekonomik boyutlarını desteklemektedir. Gerçek zamanlı veri paylaşımı ve doğru talep tahmini mekanizmaları sayesinde sürdürülebilir tedarik zincirleri oluşturulabilir; bu da gereksiz üretim ve lojistik faaliyetlerini azaltarak karbon ayak izinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Çevik üretimin modüler tasarım ve yeniden yapılandırılabilir süreçlere dayanan yapısı, ürün geri dönüşümü, yeniden kullanım ve tamir odaklı tasarımları kolaylaştırarak döngüsel ekonomiye uyumu güçlendirmektedir. Ayrıca çevik sistemlerin hızlı uyarlanabilirlik kapasitesi, beklenmedik çevresel veya ekonomik şoklara karşı örgütsel dayanıklılığı artırarak sürdürülebilirliğin sosyal boyutunun da güçlenmesine hizmet etmektedir (Gunasekaran vd., 2019). Tüm bu unsurlar değerlendirildiğinde çevik üretim, sürdürülebilirlik hedefleri ile stratejik uyum içinde çalışan kapsamlı ve etkili bir yönetim yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır.

## **KOBİ ve Büyük İşletmeler Açısından Çevik Üretimin Farklılıkları**

Çevik üretim uygulamalarının etkinliği, işletme ölçeğine bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. KOBİ'ler, yalın örgütsel yapıları, hızlı karar alma mekanizmaları ve düşük bürokrasi düzeyleri sayesinde çeviklik ilkesine doğal olarak daha yüksek uyum gösteren yapılardır; esnek işgücü ve üretim hatları, müşteriye yakınlık ve kolay yeniden yapılandırılabilirlik gibi avantajlar KOBİ'lerin çevik dönüşümü daha hızlı gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır (Güzel, 2013). Ancak sınırlı finansal kaynaklar, dijitalleşme altyapısındaki eksiklikler ve küresel tedarik zincirlerine entegrasyonda yaşanan güçlükler çevik üretimin KOBİ'lerdeki uygulanabilirliğini kısıtlayabilmektedir. Buna karşılık büyük işletmeler, yüksek teknoloji yatırım kapasitesi, gelişmiş Ar-Ge olanakları, küresel tedarik zinciri ağları ve güçlü veri analitiği altyapısı sayesinde çeviklik için önemli potansiyele sahip olmalarına rağmen; hantal örgütsel yapılar, yavaş ilerleyen karar süreçleri ve

kurumsal değişime yönelik direnç gibi faktörler, evik dönüşümün bu tür işletmelerde daha karmaşık ve zaman alıcı bir süreç olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu çerçevede işletme leği, evik retim uygulamalarının etkinliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik bir belirleyici olarak değerlendirilmektedir.

## **Sonuç**

Çevik retim; hız, esneklik, müşteri odaklılık, teknoloji entegrasyonu, işbirliği temelli ağ yapıları ve öğrenen organizasyon kültürü üzerine inşa edilen, değişimi yalnızca yönetmekle kalmayıp onu rekabet avantajına dönüştürmeyi amaçlayan bütüncül bir yönetim yaklaşımları olarak öne çıkmaktadır. Modüler ve yeniden yapılandırılabilir sistem mimarisi, yalın temelli süreç tasarımı, Endüstri 4.0 bileşenlerinin entegrasyonu, çok becerili ve yetkilendirilmiş insan kaynağı ile esnek ve dayanıklı tedarik zinciri kurgusu, evik retim kapasitesinin temel yapı taşları olarak değerlendirilmektedir. Çevik retim sayesinde hızlı pazara giriş, toplu kişiselleştirme, yenilikçilik kapasitesinde artış, risk dayanıklılığı yüksek tedarik zincirleri ve sürdürülebilir üretim uygulamalarına uyum gibi stratejik kazanımlar elde edilebilmekte; böylece işletmelerin hem kısa vadeli operasyonel performansı hem de uzun vadeli rekabet gücü güçlenmektedir. Bununla birlikte evik dönüşüm, işletme leğine göre farklı imkân ve kısıtlar içermektedir: KOBİ’ler yalın örgütsel yapıları ve hızlı karar mekanizmaları sayesinde evikleşmeye doğal bir yatkınlığa sahip olmakla birlikte finansal ve dijital altyapı yetersizlikleriyle karşılaşmakta; büyük işletmeler ise güçlü kaynak tabanlarına karşın bürokratik yapıları ve değişime direnç nedeniyle evik dönüşümü daha karmaşık ve zaman alıcı biçimde deneyimlemektedir. Bu bulgular doğrultusunda, evik retim yaklaşımlarını benimsemek isteyen işletmelerin öncelikle rekabet stratejileri, örgütsel yapı ve teknoloji yatırımları arasında tutarlı bir “strateji–yapı–teknoloji uyumu” tesis etmeleri; yalın ve evik rimi birbirini dışlayan değil,

süreçlere göre harmanlanması gereken tamamlayıcı yaklaşımlar olarak ele almaları; dijital dönüşümü çevikliğin çekirdek bileşeni olarak görerek IoT, büyük veri, dijital ikiz ve MES/ERP entegrasyonlarına dayalı aşamalı bir dijital olgunlaşma yolu izlemeleri önerilmektedir. Ayrıca insan kaynakları politikalarının çok becerili, problem çözme odaklı, teknolojiye uyumlu ve inisiyatif alabilen bir işgücü oluşturacak biçimde yeniden yapılandırılması; hatalardan öğrenmeyi teşvik eden, yenilikçiliği ödüllendiren ve kurumsal bilgiyi sistematik olarak yöneten bir öğrenen organizasyon kültürünün kurumsallaştırılması; tedarik zincirlerinin ise gerçek zamanlı veri paylaşımı, çoklu tedarikçi stratejileri, bölgesel kaynak kullanımı ve dijital tedarik platformları ile esneklik ve dayanıklılık odağında yeniden tasarlanması önem taşımaktadır. Ölçek boyutunda ise KOBİ’ler için kümelenme temelli işbirliği ağları, uygun maliyetli dijital çözümler ve kamusal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi; büyük işletmelerde ise üst yönetim sahipliği, değişim yönetimi programları ve bürokrasiyi azaltan esnek yönetim modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak çevik üretim, dijitalleşme, yenilikçilik ve örgütsel öğrenme ile birlikte ele alındığında, belirsizliğin ve dalgalanmanın yüksek olduğu çağdaş imalat ortamında işletmeler açısından ertelenemez bir stratejik zorunluluk olarak değerlendirilmekte ve politika yapıcılar ile uygulayıcılara, üretim sistemlerinin tasarımında çeviklik eksenli bir dönüşümü merkeze almaları yönünde güçlü bir öneri sunmaktadır.

## Kaynakça

- Abdelilah, B., El Korchi, A., & Balambo, M. A. (2018). Flexibility and agility: Evolution and relationship. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(7), 1138–1162.
- Akben, İ., & Avşar, İ. İ. (2018). Endüstri 4.0 ve karanlık üretim: Genel bir bakış. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 26–37.
- Arslan, O. (2007). 21. YY üretim anlayışı: Çevik üretim. *Verimlilik Dergisi*, (3), 57–70.
- Çetin, O., & Altuğ, N. (2005). Çevik üretim. *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildirileri* (ss. 301–306). İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- Dengiz, O. (2017). Endüstri 4.0: Üretimde kavram ve algı devrimi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(1), 38–45.
- Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve Endüstri 4.0'ın üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkileri: Teorik bir çerçeve. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 6(1), 248–264.
- Goldman, S. L. (1994). Agile manufacturing concept. In *Coupling technology to national need* (Vol. 2102, pp. 30–40). SPIE.
- Goldman, S. L., Nagel, R. N., & Preiss, K. (1995). *Agile competitors and virtual organizations: Strategies for enriching the customer* (Vol. 8). Van Nostrand Reinhold.
- Gunasekaran, A., Yusuf, Y. Y., Adeleye, E. O., Papadopoulos, T., Kovvuri, D., & Geyi, D. A. G. (2019). Agile manufacturing: An evolutionary review of practices. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 5154–5174.

Güzel, D. (2013). İmalatçı KOBİ'lerin çeviklik açısından incelenmesi: Erzurum ili örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1), 183–197.

Huang, H. H. (2002). Integrated production model in agile manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20(7), 515–525.

Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885.

Kasap, G. C., & Peker, D. (2009). Çevik üretim: Otomotiv ana sanayinde faaliyet gösteren bir işletmenin çevikliğinin ortaya konmasına yönelik bir araştırma. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(27), 57–78.

McMillan, M., Rodrik, D., & Verduzco-Gallo, Í. (2014). Globalization, structural change, and productivity growth, with an update on Africa. *World Development*, 63, 11–32.

Ramesh, G., & Devadasan, S. R. (2007). Literature review on the agile manufacturing criteria. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(2), 182–201.

Sanchez, L. M., & Nagi, R. (2001). A review of agile manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 39(16), 3561–3600.

Sipper, D., & Bulfin, R. L. (1997). *Production: Planning, control, and integration*.

Tomac, N., Radonja, R., & Bonato, J. (2019). Analysis of Henry Ford's contribution to production and management. *Pomorstvo*, 33(1), 33–45.

Yusuf, Y. Y., & Adeleye, E. O. (2002). A comparative study of lean and agile manufacturing with a related survey of current practices in the UK. *International Journal of Production Research*, 40(17), 4545–4562.

Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., & Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes. *International Journal of Production Economics*, 62(1–2), 33–43.

Zhang, Z., & Sharifi, H. (2007). Towards theory building in agile manufacturing strategy—A taxonomical approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(2), 351–370.

## BÖLÜM 3

### C-PARÇA YÖNETİMİ BAĞLAMINDA ORGANİZASYONEL TASARIM SÜRECİ: FSP İŞ MODELİNDE KAVRAMSAL BİR UYGULAMA

**MURAT KOCAMAZ<sup>1</sup>**  
**MURAT CAN TUNALI<sup>2</sup>**

#### Giriş

Küresel pazarda rekabetin temel gerekliliklerinden sayılan “verimlilik” kavramının (Elmacı, 1992) tam olarak ne zaman ortaya çıktığı bilinmese de, kayıtlara geçen “prodüktivite” kavramı ilk kez Alman doktor ve mühendis Georg Bauer tarafından 1556 yılında basılan “De Re Metallica” kitabında kullanmıştır (Odabaşı, 1997:17). Sanayi devrimi sonrası klasik dönem olarak tanımlanan süreçte bilimsel yönetim ilkeleri ile verimlilik kavramı daha sık gündeme gelmeye başlamıştır. 1929 Ekonomik krizi sonrası başlayan ve çalışana değerin de gözetildiği Neo-Klasik dönemi, 1950’li yıllarda Çevresel koşulların da incelendiği Modern Dönem takip etmiştir. 1980 sonrası ise Post-Modern dönem ile müşteri, rekabet ve teknoloji odaklılık, işletmelerin sürdürülebilirliğinde en önemli değerler olmuştur (Seçtim ve Erkul, 2020).

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Ege Üniversitesi, İşletme Bölümü, Orcid: 0000-0001-8191-0206

<sup>2</sup> Makine Mühendisi, Orcid: 0009-0006-1909-3747

Ticari piyasaların yüzyıllar boyunca bilgi ve deneyimler ile gelişimi, her anlamda kendini sürekli geliştirmek zorunda olan, daha rekabetçi bir pazar ortaya koymuştur. Pazarın ihtiyacını iyi anlamak ve analiz ederek yönetim sistemlerini kurgulamak mega işletmelerin sürekliliğini sağlamada en kritik konulardandır. S&P endeksinde ilk 500'e giren şirketler, 1970 yıllarında bu listede 30-35 yıl kalırken, günümüz şirketleri bu dinamik değişim hızının etkisi ile 15-20 yıl içinde listeden silinmektedir (Perry, 2021).

Müşteri ve rekabet koşullarının her geçen gün daha da kızıştığı günümüz koşullarında, sürdürülebilir yönetim politikaları çok önemlidir. Sanayi devrimi öncesi daha bireysel iş ve yönetim modelleri hakim iken, sanayi devrimi ile fabrikalarda kitlesel üretim ile yeni terim ve bakış açılarının hayatımıza girmesine neden olmuştur. Bunlardan ilki, iş bölümü kavramı Genç'e (1991) göre "iş bölümü, yapılması gereken işin, birbirini izleyen bir dizi işleme bölünerek herkesin mümkün olduğu kadar basitleştirilmiş bir iş yapmasını sağlayacak biçimde dağıtılması" olarak tanımlanmaktadır. Özellikle 1970'li yıllarda dile getirilen "uzmanlaşma" terimi ile birlikte, (Nişancı, 2015) yönetsel iş bölümlerinde, uzmanlaşmanın verimliliği arttırdığı ortaya konmuştur. Özetle, iş bölümü ve uzmanlık derecesi ilkesi doğrultusunda; işletmelerde iş bölümünün uzmanlaşmayı, uzmanlaşmanın ise verimliliği arttırdığı söylenebilir (Arslan, 2022).

Önceki yönetim dönemlerinde, genel hatları ile tekil üst yönetim odaklı bakış açısı hakim iken, günümüz koşullarında daha kitlesel süreçler ve karmaşık matris yapılar, bir çok farklı birim yönetiminin ortak paydada; işleme hedefi için çalışmasını zorunlu hale getirmiştir. Burada temel amaç, harcanan efor karşılığı çıktının, beklenen ölçüde olmadığı koşullarda, daha çevik müdahaleler ile sürecin veriminin artırılmasını sağlamaktır. Kitlesel üretimin baş mimarlarından sayılan ve verimlilik hesaplamalarına yoğunlaşan Henry Ford'un 1926 yılında bir kapıdan giren metal hammaddeyi,

81 saat içinde başka bir kapıdan bitmiş araç olarak çıkartması bir devrim etkisi yaratmıştır (Hugos, 2018).

Değişime uyum sağlamak adına, otomotiv üreticileri, iyi fiyatlı ve kaliteli ürün beklentilerine ek olarak; tedarik zinciri yönetimi optimizasyonu konusunda başarılı ve sürdürülebilir hizmet sağlayan tedarikçiler ile çalışmak istemektedir. “Dış Kaynaktan Yararlanma” (Outsourcing) denilen kavram ile üreticilerinin, o işte uzmanlaşmış bir tedarikçiye işi yönlendirerek, daha katma değerli ve stratejik konulara odaklanabilmesine imkan sağlanmaktadır. Bu kavram 1987 yılında dillendirilmeye başlanmış olsa da özellikle yakın tarihte yaşanan tedarik zinciri krizleri, bu konunun ne kadar önemli ve sistemselsel yönetilmesi gerektiğini bir kez daha gözler önüne sermiştir.

### **Otomotiv Endüstrisinde Tedarik Zinciri**

19. Yüzyıl başlangıcında, zanaatkarlığın baskın olduğu ilk evrede, yüksek vasıflı işçiler ile ve çok fazla zaman harcanarak üretim yapılabilmekteydi. Bu süreçte otomotiv üreticilerinin tedarikçileri çok olsa da bu tedarikçiler ve otomotiv üreticileri arasında koordinasyon zayıftı. Bu sebeple otomotiv üreticilerinin üretim adetleri çok düşük oluyor, bunun neticesinde de üretilen otomobillerin fiyatları çok yüksek oluyordu. 20. yüzyılın başlarında seri üretim kavramı Henry Ford tarafından geliştirildi. Henry Ford, araçlarındaki tüm parçaları birbiri ile değiştirilebilir ve montajı kolay bir seri üretim bandında üretilebilmesi için bir dizi çalışmalar yürütmüştür. Bu konuda çalışma verimliliğini de arttıran Ford, seri üretim hattını faal tutarak, oluşan hataların ayrı bir birim tarafından çözülmesini öngörmüştür. Fakat hattın her zaman çalışır durumda tutulması, yüksek envanter seviyesi, çok sayıda işçi ve çok fazla onarım çalışması yapılması anlamına gelmekteydi (Womack ve Diğerleri, 1990).

20. yüzyılın ortalarında rekabetin de artması ile Toyota tarafından geliştirilen yalın üretim trendi uygulamaları benimsendi. Yalın üretim ile, üretimde ekip çalışması, koordine tedarik zinciri operasyonları ve israfın ortadan kaldırılması ilkeleri benimsendi. Ekip çalışması ile öğrenilmiş derslerden çıkarımlar ile olası kriz koşullarının minimize edilmesi yaygınlaşmaya başladı. Just-In-Time (JIT) teslimat sistemlerinde envanter yönetimini minimize edebilmek adına tedarik zincirinde koordinasyonun artırılması ihtiyacı da yine bu süreçte önem kazanan ilkelerdendir. Ayrıca israfın minimize edilmesi kavramı, yapılan çalışmalarda daha düşük envanter seviyesi yönetimi ile, daha az yatırım finansmanı kullanılması ve olası riskler karşısında şirketlere daha fazla esneklik sağlayan önemli kavramlardan olmuştur (Womack ve Diğlerleri, 1990).

Güncel otomotiv üretim trendlerini incelediğimizde modüler üretimin ön plana çıktığı görülmektedir. Modülerliğin temel olarak; tasarımda modülerlik, imalatda modülerlik ve organizasyonda modülerlik olarak üç düzeyi vardır. Temel anlamda tasarımda modülerlik; birçok alt modülün birbiri ile çalışabildiği, sürecin ölçümlenerek değerlendirilebildiği bir sistemsel kurguyu içermektedir. İmalatta modülerlik; üretim ve montaj süreçlerini basitleştirmek ve gerekli durumlarda alt tedarikçiden montajlı parçanın alınması ve tüm modüllerin test edilebildiği kurguları içerir. Organizasyonda modülerlik ile ise değişken müşteri talepleri karşısında üretim çıktısını değiştirmek için makineleri zamanında ve uygun maliyetli yönetebilmektir. Tüm bunlar birer planlama ve standardizasyon gerektiren uygulamalardır (Camuffo, 2002).

Otomotiv üreticilerine esneklik ve dolayısı ile rekabet gücü sunan modüler üretim metodolojisi ile tedarik zincirinde birtakım değişimler zorunlu hale gelmiştir. Bu yapıya uyum sağlayabilmek adına otomotiv üreticileri karmaşayı azaltarak verimliliği arttırmak için tedarikçi ortaklaştırma veya süreçleri taşere etme yöntemlerine

yönelmektedir (Baron ve Cole, 2003). Bu yeni yapıda tedarikçilerden beklenen, parçanın üretiminin yanında bu modüler sistemlere de entegre olabilmeleridir. Böylelikle üretici şirketler hem tedarikçinin üretim tecrübesinden faydalanacak hem de sisteme entegre olmuş bir tedarikçi ile sorunları minimize ederek çalışabilme fırsatını yakalamış olacaklardır. Ayrıca bu metoda uyum sağlayamayan küçük tedarikçilerin de operasyonlarını sürdürülebilir şekilde devam ettirebilmeleri için aktif çalışmalar yürütüyor olması önemlidir.

Temel anlamda daha stratejik kavramların yönetilebilmesi açısından daha küçük modüler yapıların dış kaynak kullanımı ile yönetildiği iş modeli, “Tam Hizmet Sağlayıcılık” (Full Service Provider - FSP) olarak adlandırılmaktadır. FSP modelinin entegrasyonu hakkında 4 aşamanın incelenmesinde fayda vardır;

### **Parçaları veya Modüler Sistemi Taşere Etmenin Karşılaştırılması**

Otomotiv üreticileri, ihtiyaç olan parçaları dışarıdan temin etmektense modüler yapı ile komple süreci dış kaynak kullanımına taşere etmenin daha verimli olduğunu deneyimlemişlerdir (Howard ve Squire, 2007). Fakat otomotiv müşterileri marka bazlı iç kokpit tasarımı, koltuk konforu, motor performansı gibi birçok farklı alanda uygulama farklılıklarını deneyimlemeyi sevmektedir. Bu sebeple otomotiv üreticileri, genel anlamda ürün bütünlüğü ve özgünlüğü konusunda diğer sektörlerle kıyas ile genel bir standart yakalayamamıştır. Özetle, farklılaşmış müşteri talepleri doğrultusunda, modüllerde iç içe çalışılmak zorunda olduğu için Otomotiv üreticilerinde modüler anlamda dış kaynak kullanımı diğer sektörlerle göre daha zor ve kısıtlı yapılabilmektedir (Veloşo ve Fixson, 2001).

### **Tedarikçinin Ürün Gelişimi Aşamasında Katılımı**

Otomotiv Üreticileri ile FSP şirket arasında iş ilişkisinin kurulmasında amaç, tedarikçinin teknolojileri ve yeteneklerinden faydalanmaktır. Özellikle erken aşamada tedarikçi-üretici etkileşiminin başarılı sonuçları hem akademik hem pratik anlamda deneyimlenmiştir (Clark ve Fujimoto, 1991). Tedarikçileri dış kaynak olarak kullanmak, teknoloji ve talep değişkenlikleri de dahil olmak üzere olası risklerin tedarikçiye transferine izin verir. Böylelikle daha düşük maliyetler ile görevlerin yerine getirilmesi ve yeni teknolojilere erişmek için kaynakların verimli kullanılması konusunda da otomotiv üreticilerine avantaj sağlayabilirler (Quinn ve Hilmer, 1994).

### **Sistem Entegrasyonu**

Modern, yüksek teknolojiyi üretim yapan şirketlerde koordine sistemlerin sürdürülebilirliği için sistemler arası entegrasyon bir zorunluluktur. Modüler üretimde, ürün mimarisi ve modüllerin üretim ve araç montaj hatlarına entegrasyonu sürecin temellerini oluşturur (Hobday ve Diğerleri, 2005). Otomotiv OEM'leri bu temel yeterlilikleri tedarikçilere devretmekten, kendilerine bir rakip yaratmaktan çekinseler de tasarımdan, üretime, planlama ve tedarik zincirine kadar tüm sisteme entegre olmuş ve hatta bu sürecin yönetimini yaparak OEM firmasının marka değerinin artışında önemli rol oynayan tedarikçiler vardır. Fakat tedarikçinin marka bilinirliği, uzun dönem anlaşmalarda sorumluluk yeterlilikleri, sürdürülebilirlik stratejileri veya son müşteriye ulaşım konuları göz önüne alındığında tedarikçilerin kapasitelerinin de sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

### **Yeniliklere Açıklık**

Yenilere açık tedarikçi ve OEM iş birliklerinde, tedarikçilerin ürün geliştirme fazında sürece dahil edilmesi önemli konulardandır (Chesbrough, 2003). İnovasyon faaliyetlerini birlikte yöneten tedarikçi ve OEM'ler arasında uzmanlık alanlarına paralel büyük

gelişim fırsatları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca açık etkileşim ile tedarikçinin geliştireceği özel ekipman, ürün veya yönetim stratejileri de OEM’de verimliliğinin artışına imkan sağlayabilecektir. Bağlantı elemanlarının yönetiminde OEM şirketin modüler yapısına tam entegrasyon için FSP operasyonları altında aşağıdaki süreçlerde yapılanma sağlanacaktır;

- Mühendislik: Tasarım aşamasında sürece dahil olacak ve OEM mühendislerin teknik desteklerine birebir destek sunulacaktır.
- Lojistik: Sevkiyat operasyonlarından sorumlu olacaktır.
- Kalite: Hem OEM hem de alt tedarikçi kalite süreçlerinden sorumlu olacaktır.
- Depo Yönetimi: Tüm operasyonel işlemler OEM adına yürütülecektir.
- Ticari Süreçler: Tüm ticari süreçler OEM ile birlikte yürütülecektir.
- Muhasebe ve Finans: Faturalaşıma ve vergi yönetimi ile mevzuatlar konusunda sorumlu olunacaktır.
- İnsan Kaynakları Yönetimi: Tüm ekibin kurulması ve sürdürülebilir çalışma performansı için bu birimin desteğinden faydalanılacaktır.

Tedarikçiler, OEM adına C-Parça yönetim kurgusunda ticari veya yönetsel sorunlar yaşanabilmektedir. Otomotiv üreticileri de sürdürülebilir bir strateji hedefi ortaya koymak isterken, daha az katma değerli C-Parça ürünlerin yönetimi gibi daha mikro yönetsel süreçlerde zaman kaybı yaşayabilmektedir. Bu süreç yönetimlerinde otomotiv sektörü gibi dinamik bir alana hizmet veren Tam Hizmet Sağlayıcı (Full Service Provider - FSP) şirketlerden destek alınabilmektedir. Bu profesyonel hizmetin kurgulanması

konusunda sahada yer alan eksiklikler doğrultusunda ve otomotiv sektörünün değişken dinamikleri karşısında şirketler ve haliyle OEM’ler ticari ve kavramsal sürdürülebilirlik konusunda sorunlar ile karşılaşabilmektedir.

### **Tedarik Zinciri ve Pareto Analizi**

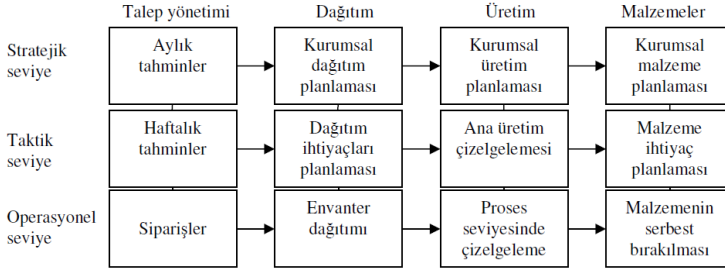
Endüstri devrimi, 18. Yüzyılda buhar gücü ile makineleşmiş endüstrinin doğuşuna neden olan ve verimlilik kavramının ön plana çıktığı, insanlık için büyük dönüşüm süreçlerindendir. Bu dönüşüm ile artan nüfusun talebini karşılamak için de daha verimli üretim ve lojistik metotları üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Kavram olarak askeri uygulamalarla başlayan lojistik kavramı, zamanla, askeri alandan ana ticari arenaya taşınmıştır. Bu kapsamda, 1800’lerden itibaren ortaya çıkan Endüstri Devrimi ulaşım ve taşıma sistemlerine köklü değişiklikler getirmiştir; Demiryolu, karayolu ve denizyollarının sanayi devriminin gereksinimi haline gelmesi, hammaddenin ana üretim merkezlerine taşınması ve yine üretilen malların pazar noktalarına iletilmesindeki rolleri ile lojistik sisteminin devrimsel dönüşümüne öncülük etmiştir (Cuturela ve Manole, 2013).

Tedarik zincirinin tanımı hakkında birçok farklı tanım olsa da temel anlamda hammadde temininden son müşteriye kadar bir ürün veya hizmetin ulaşması için, değer zinciri içinde tedarikçi, dağıtıcı, üretici, perakendeci ve müşteriler arasındaki tüm malzeme, ürün, para ve bilgi süreçlerinin yönetimidir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011).

Tedarik zinciri yönetim fonksiyonu; uzun dönemli kararların alındığı stratejik seviye, orta dönemli kararların alındığı taktik seviye ve kısa dönemli kararların alındığı operasyonel seviye olarak, birbiri ile örüntü içinde üç evreyi içermektedir. Stratejik seviyede aylık bazında öngörüler ve kurumsal kültüre uygun olarak yönetim yapılmaktadır. FSP süreçleri bu seviyede kontrol edilmektedir.

### Şekil 1 Tedarik Zinciri Fonksiyonları



*Kaynak: Johnson ve Pyke, 2000*

Günümüz tedarik zinciri yönetiminde en kritik konulardan biri de stok yönetimi uygulamalarıdır. OEM'ler, kaynaklarını daha verimli kullanabilmek adına “ABC (Pareto) Analizi” olarak da bilinen stok yönetimi analizleri ile ürünleri segmente etmektedirler. ABC Analizinin temeli, 1951 yılında General Electric firmasında çalışan H.Ford Dickie tarafından kurgulanmıştır. Az sayıda kalemin yüksek envantere karşılık geldiğinin fark edilmesi ile başlayan sürecin, ilk gözlemi ise Vilfredo Pareto tarafından “Pareto Analizi” olarak literatüre geçmiştir.

Bu analiz klasik anlamda genellikle ürün ciroları doğrultusunda yapılmakta iken, daha fazla değişkenin de göz önüne alındığı Çok Kriterli ABC Analizi de daha karmaşık yapıların sınıflandırılmasında önem arz etmektedir. Çok kriterli ABC Analizi metodunda; Bulanık Analitik Hiyerarşi Analizi (BAHP) ve İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemleri ile daha kapsamlı analizler yapılabilmektedir (Kılıç ve Diğerleri, 2014).

Genel anlamda pareto analizi satış değeri özelinde yapılmakta olup, ABC parça gruplarını incelediğimizde; Kategori A ürünler toplam değerin %80'ini oluştururken, toplam miktarın %20'u bu gruptadır. Kategori B ürünler toplam değerin %15'ini oluştururken, toplam miktarın %30'u bu gruptadır. Kategori C

ürünler toplam değerin %5'ini oluştururken, toplam miktarın %50'u bu gruptadır. C Parça kategorisindeki ürünlerin, görülen %5'lik katkısına karşın, görünmeyen verimsizliklerin ve iş yükünün getirdiği kayıpların başarı ile yönetiliyor olması, asıl odaklanılması gereken stratejik kararlara daha fazla zaman ayırabilmeyi mümkün kılmaktadır.

## **Uygulama**

Örnek çalışma, 4000'e yakın çalışan, 23 şirket, 12 üretim ve 14 satış ve lojistik merkezi ile 9 farklı ülkede ulusal ve uluslararası pazarlarda bağlantı elemanları, pazarlama ve ticaret, teknoloji, eklemeli imalat, kalıp ve sac şekillendirme, kimya, makine ve otomasyon, tarım ve turizm alanlarında faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır.

Şirket kapsamında FSP Müdürlüğünce koordine edilen FSP programları için, Tedarik Zinciri, Mühendislik, Kalite, İnsan Kaynakları ve Digital Dönüşüm direktörlüklerinden operasyonel süreç desteği alınmaktadır. Her direktörlüğün, OEM'in ilgili birimi ile iletişime geçerek kısa sürede sonuç elde etmesi beklenmektedir. Ayrıca program bazlı müdürlükler de kurulmuş olup, tüm operasyonel sürecin koordinasyonu bu ekipler tarafından yönetilmekte iken, ticari yönetimi de kapsayan FSP Ekibindeki Proje Lideri projenin sürdürülebilirliğindeki sorumlu kişidir.

Örnek olarak müşteriden 100 kalemlik ve yıllık kullanım adetlerini içeren kurgu bir paket alınmıştır. Satış ekiplerince alınan paket, satış ekibinin ön değerlendirmesi sonrası iç üretim ile imal edilecek ürünler için Mühendislik birimlerine, şirket bünyesinde üretilmeyecek ürünler (Tedarikçi Üretim) için ise FSP Satın Alma ekiplerine teklif talebi gönderilmiştir. Teklifte olmazsa olmaz parametreler fiyat, termin, sapma bilgisi, teslim şekli ve ülkesi ile ürünün menşei bilgisidir.

Müşterinin teknik resminin anlaşılacak uygun ürünün üretilmesi veya üretim yapabilecek tedarikçinin bulunması süreçteki en önemli adımlardan biridir. Tekliflerde makinelerin üretim kabiliyetleri, uygun hammadde seçimi, gerekli ise kalıp üretimi ve olası sapmaların belirlenmesi hususlarına dikkat edilerek teklif değerlendirilmesi, müşterinin beklentilerin karşılanmasında kritik konulardandır.

Üretilen ürünler, mühendislik ekiplerince detaylıca değerlendirilmelidir. Mühendislik ekiplerinin değerlendirmeleri sonrası, ilgili makine ve üretim başlangıç tarihleri doğrultusunda planlama ekipleri, termin konusunda çalışma yürütmektedirler. Böylelikle teklif oluşmasının gereklilikleri sağlanmış olur ve satış temsilcisi ilgili verileri proje yönetim dökümanına işler. Firma bünyesinde üretilmeyecek ürünler için ise, FSP Satın Alma ekipleri, ürün segmentasyonunu tamamlayarak, o gruba hizmet edebilecek anlaşmalı tedarikçilerine teklif isteği talebini gönderir. Tedarikçilerden gelen tekliflerde ürün baz fiyatı, taşıma ücreti, vergiler, kalıp ömrü, tedarikçi performans puanı, gerekli kalite belgeleri ve termin süresi dikkate alınarak, yıllık bazda birim fiyat etkisinin karşılaştırma tablolarında analiz edilmesi tedarikçi seçiminde belirleyici rol oynamaktadır. Tamamlanan teklifler şirket sürdürülebilir karlılık hedefleri doğrultusunda analiz edilerek parça bazlı fiyat çalışması tamamlanmış olur.

K46 referansı için Çin, Almanya ve Türkiye'deki tedarikçilerden teklif alınmıştır. Kalite belgeleri, tedarikçi performansı, teklif fiyatı ve termin parametreleri ile analiz yapılarak tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışılacak alt tedarikçinin belli yetkinlikleri karşılıyor olması ürün nominasyonu yapılabilmesi için bir zorunluluktur. Bu konuda şirket içi değerlendirme prosedürleri kapsamında 80 puan altı tedarikçiler ile çalışılmamaktadır. Teklif alınan 3 tedarikçinin de performans puanları yeterli seviyede olup, tedarikçiler ürünlerinin

Otomotiv imalatında kullanılabilmesi için gerekli kalite sertifikalarına da sahiplerdir.

Çalışılacak alt tedarikçinin tüm koşullar sağlansa bile ürünü zamanında teslim edebilmesi çok önemlidir. Tedarikçinin ürünleri üretebilmesi için gerekli “Üretim Termini”ne ek, ürünün istenen lokasyona ulaşması için gereken “Sevkiyat Termini” bilgisinin de biliniyor olması gerekmektedir. Bu noktada da ürünün sevk ülkesi ve teslimat şekli iyi analiz edilmelidir.

Yapılan kontrollerde, tedarikçi performans puanı, gerekli kalite belgeleri ve termin konusunda 3 tedarikçi için kısıtlayıcı bir durum bulunmamıştır. Bu noktada yapılan fiyat kontrollerinde;

- Çin’de bulunan A tedarikçisinin teklif fiyatı ilk aşamada diğerlerine göre daha uygun gibi gözükse de navlun ve vergilerin de fiyata eklenmesi ile en pahalı maliyete sahip firma olmuştur.
- Almanya’da bulunan B tedarikçisinden alınan fiyat 2. En iyi fiyattır.
- Türkiye’de bulunan C tedarikçisi ise en iyi fiyatı veren firma olmuştur.

C-Parça yönetim şirketi olarak sunulan hizmetin eksiksiz analiz edilmesi, müşterinin sürdürülebilir olarak desteklenebilmesinde kritik bir noktadır. Bu başlık altında sırası ile hizmetin sağlanabilmesi için depo hacminin belirlenmesi, depoda süreç yönetiminde çalışacak mavi yaka personel sayısının tespiti, stok çevrim hızının ve stok yatırım maliyetinin analizi, genel giderlerin tespiti ve çalışacak insan kaynakları yönetim bütçesinin oluşturulması incelenecektir. Bulunan tutar yıllık 100.000 adetlik araç üretimine bölünecek ve araç başı servis ücreti hesaplanacaktır.

Tüm paket için analiz yapıldığında yıllık kullanım adetleri için harcanacak toplam navlun bedeli “187.335 Euro” olarak

hesaplanmıştır. Yıllık kullanım adetleri için harcanacak toplam vergi bedeli “344.00 Euro” olarak hesaplanmıştır. OEM şirketi ile yapılan anlaşma doğrultusunda;

- Seri üretim hatlarının sürdürülebilir desteği için bölgesel bazlı bir minimum stok seviyesi tutulacaktır.
- Ürünler 12 kg taşıma kapasiteli kutularda muhafaza edilecektir. Kutuların ebatları 300mmx200mmx150mm olacaktır.
- Ürünler 600 kg taşıma kapasiteli paletlerde sevk edilecektir. Palet ebatları 1000mmx800mm olup bir palette en fazla 45 kutu olabilecektir.
- OEM’in yıllık çalışma haftası 46 haftadır ve haftanın 6 günü çalışma olacaktır.

K46 referansı, yıllık 192.100 adet talep ile Türkiye’deki C tedarikçisinden alınacaktır. Tedarikçinin ilettiği termin üretim için 6 hafta olup, sevkiyat için de 1 haftalık zaman gerekmektedir.

Türkiye’de olacak bu tedarikçi için 6 hafta bitmiş ürün 1 hafta da sevk aşamasında ürün tutulması gerekmektedir. 7x1,5 Kutu=10,5 Kutu (Minimum Stok). Minimum stok altına düşmeden yeniden sipariş noktasında sipariş verilmelidir. 6 Haftalık üretim sürecinde 6x1,5 Kutudan toplam 9 kutu ihtiyaç olacaktır. Dolayısı ile depomuzda 10,5+9=19,5 Kutu seviyesinde yeniden sipariş verilmelidir. Ek olarak 1,5 haftalık yoldaki stoğu da göz önüne aldığımızda 19,5+1,5=21 Kutuluk stok seviyesi depomuzda sürekli bulunacaktır. Bir palette 45 kutu olabileceği ve minimum stok için 21 kutu gerektiği bilgisi ile, minimum stok seviyesinin sağlanabilmesi için 1 paletlik alana ihtiyacımız olacaktır (0,8 m<sup>2</sup>).

Bu analizler tüm ürünler için yapıldığında toplam 1.092 m<sup>2</sup> lik bir stok alanına ihtiyacımız olacaktır. 3 katlı raflarda ürünler stoklanabileceği için 364 m<sup>2</sup>’lik bir depo sadece ürünlerin

stoklanmasında kullanılacaktır. Ürünler raflardan forklift ile alınacağı için ve minimum çalışma alanları doğrultusunda 1.616 m<sup>2</sup> lik bir depo ihtiyacı olacaktır. Ayrıca kamyonlara yükleme/boşaltma yapılabilmesi için rampaların da olduğu yükleme ve boşaltma alanları da 500 m<sup>2</sup> olarak düşünülmelidir. Ofis çalışanları ergonomisi gereği kişi başı ortalama 20 m<sup>2</sup> ek hacim ihtiyacı ortak kullanımlar için toplam 300 m<sup>2</sup> lik bir hacim de depo hacminin hesaplanmasına eklenmelidir. Tüm bu hesaplamalar doğrultusunda ideal ofis 2.820 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. (20 ofis çalışanı için) Bu doğrultuda uygun depo kiralaması veya yatırımı yapılmalıdır.

Proje koşullarında haftalık 6 günlük çalışma olacağı ve yılda 46 hafta çalışılacağı belirtilmiştir. Bu durumda yıllık çalışma gün sayısı 276 gündür. Ürünün satış fiyatı ile yıllık kullanım adedinin çarpımı, o referans için ciroyu vermektedir. Depoda tutulan mal değerli envanter olarak değerlendirilmelidir. Bu envanterin tutulabilmesi için borçlanıldığında, ödenecek faiz tutarı, ürün stok taşıma maliyeti olarak değerlendirilmektedir.

Bu adıma kadar yıllık adetler ve araç üretim sayısı bazında oluşacak baz maliyetler belirlenmiştir. OEMe sunulacak hizmetin devamlılığı ve ticari sürdürülebilirlik açısından araç başı kar tutarı belirlenmelidir. Çalışmada bu tutar 2,5 Eur/Araç olarak belirlenmiş olup tüm süreçte yıllık 100.000 adet araç için tutar 250.000 Euro/Yıl olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde yıllık bazda bulunan tüm harcama kalemleri toplandığında; Navlun Tutarı + Vergi Tutarı + Stok Taşıma Bedeli + Depo Yatırım Maliyeti+ İnsan Kaynakları Yatırımı ile toplam 1.783.442 Euro bulunmuştur. Bu değer yıllık araç sayısı olan 100.000'e bölümü ile Hizmet Ücreti 17,83 Eur/Araç olarak hesaplanmıştır.

## **Sonuç ve Öneriler**

Bu teorik altyapı doğrultusunda alan araştırması hayata geçirilerek elde edilen iyileştirmeler analiz edilmiştir. Uygulama için

otomobil üreticisi bir şirketinin 100 kalemlik bir bağlantı elemanı paketi için dış kaynak kullanılmayı tercih etmesi durumunda, tedarikçinin bu kritik süreç için dikkat etmesi gereken teklif detayları ile sürdürülebilir bir destek için oluşturması gereken yönetsel alt yapı detaylı incelenmiştir.

Tüm yapı ve paket tamamen kurmaca verilere dayanmakta olup paketin toplam parça cirosu 4,5 Milyon Euro iken, bu paket için tedarikçinin alacağı servis ücreti de yıllık 1,8 Milyon Euro seviyesinde bulunmuştur. Tedarikçinin karı düşüldüğünde ise toplam servis ücreti 1,55 Euro olacaktır. Burada OEM'in bu paketi kendisi almak isteme durumunda  $4,5 \text{ M} + 1,55 \text{ M} = 6,05 \text{ M}$  Euro harcaması gerekecektir. Burada FSP şirketin 4,5 M euroluk parça cirosundan bir kar marjı talep etmediği unutulmamalıdır. Bu hesap doğrultusunda 6,05 M Euroluk işin yönetimi için talep edilen kar 250.000 Eurodur (%4). Şirket vizyonu doğrultusunda proje başlangıcında karlılık oranları detaylıca analiz edilmiştir.

Mevduat faizinin, hizmet karşılığı kazanılan toplam karlılıktan yüksek olması ticari sürdürülebilirlik için istenen bir durum değildir. Market rekabetinin çok yoğun olduğu bu süreçte, sürdürülebilir karlılık analizleri büyük önem kazanmıştır. Birçok tedarikçi yanlış hesaplamalar veya kavramsal tasarımlar ile sürece dahil olabilmekte, bunun neticesinde de hem tedarikçi hem de OEM büyük zarar görebilmektedir.

Toplam ciroyu azaltarak karlılığın yükselmesi için tedarikçi yerleştirme, parça ortaklaştırarak maliyet azaltma, daha az maliyetli referansların alternatif olarak önerilmesi ve alt tedarikçideki maliyet yaratacak avantaj ve yönlendirmelerin de yakından takip edilerek yönetiliyor olması çok önemlidir. Tedarikçi seçiminde seçim parametrelerinin artırılması BAHF tekniği ve TOPSIS yöntemi uygulanarak daha sürdürülebilir tedarikçi seçimleri yapılabilir. Böylelikle OEM ve tedarikçiler arasında toplam kaliteyi artırıcı ve daha sürdürülebilir bir iş modeli kurgulanabilir.

## Kaynakça

Arslan, M. (2022). *Ders Notları*, (04.27.2022 tarihinde <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ahmet.acar/132779/10.%20hafta.pdf> adresinden ulaşılmıştır).

Baron, J., Cole, D.E. (2003). Automotive Manufacturing's Changing. *Manufacturing Engineering*, 131(3).

Camuffo, A. (2002). *Rolling Out a "World Car": Globalization, Outsourcing and Modularity in the Auto Industry*. IMVP Working Paper, (06.06.2025 tarihinde <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/719/camuffo1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> adresinden ulaşılmıştır)

Chesbrough, H. (2003). The Era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review*, 44(3), 35-41.

Clark, K.B., Fujimoto, T. (1991) *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*. HBS Press, Boston.

Cuturela, S.C., Manole, A. (2013). A Short Historical Perspective on The Evolution of Logistics and Its Implications For Globalization. *Romanian Statistical Review*, 61(3), 188-198.

Elmacı, O. (1992). İşletmelerin Küresel Pazarlar Yönelimli Stratejik Rekabet Gücü Analizi. *Eskişehir Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1-2), 317-335.

Genç, T. (1991). Toplumsal İş Bölümü. *Eğitim ve Bilim Dergisi*, 15(80), 48-56.

Hobday, M., Davies, A., Prencipe, A. (2005). Systems Integration: a Core Capability of the Modern Corporation. *Industrial and Corporate Change*, 14(6), 1109-1143.

Howard, M., Squire, B. (2007). Modularization and the Impact on Supply Relationships. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(11), 1192-1212.

Hugos, M. (2018). *Essentials of Supply Management*, 4th edition, USA, Wiley.

Johnson, M.E., Pyke, F.D. (2000). A Framework for Teaching Supply Chain Management. *Production and Operations Management*, 9(1), 2-18.

Kılıç, A., Aygün, S., Keskin, G.A., Baynal, K. (2014). Çok Kriterli ABC Analizi Problemine Farklı Bir Bakış Açısı: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 179-188.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Ulaştırma Hizmetleri Tedarik Zinciri Yönetimi 840UH0013*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

Nişancı, Z.N. (2015). Geçmişten Günümüze Yönetim Düşüncesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 13(25), 257-294.

Odabaşı, M. (1997). *Verimlilik Diye Diye Söyleşiler*. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara.

Perry, M.J. (2021). *Only 52 US Companies Have Been on the Fortune 500 Since 1955, Thanks to the 'Creative Destruction' hat Fuels Economic Prosperity*. (12.06.2025 tarihinde <https://www.aei.org/carpe-diem/only-52-us-companies-have-been-on-the-fortune-500-since-1955-thanks-to-the-creative-destruction-that-fuels-economic-prosperity-2/> adresinden ulaşılmıştır).

Quinn, J.B., Hilmer, F.G. (1994). Strategic Outsourcing. *MIT Sloan Management Review*. (18.06.2025 tarihinde <https://sloanreview.mit.edu/article/strategic-outsourcing/> adresinden ulaşılmıştır).

Seçtim, H., Erkul, H. (2020). Yönetim Yaklaşımları Üzerine Kuramsal Bir Değerlendirme. *Management and Political Sciences Review*, 2(1), 18-50.

Veloso, F., Fixson, S. (2001). Make-Buy Decisions in the Auto Industry: New perspectives on the Role of the Supplier as an innovator. *Technological Forecasting and Social Change*, 67, 239-257.

Womack, J., Jones, D., Roos, D. (1990) *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production, Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press, New York.

**GEÇİCİ KAPAK**

*Kapak tasarımı  
devam ediyor.*