

Tedarik Zinciri Yönetiminde Üç Boyutlu Baskı Teknolojisi: Potansiyel Etkiler, Fırsatlar ve Zorluklar

*Three-Dimensional Printing in Supply Chain Management: Potential Effects,
Opportunities and Challenges*

Göknur Arzu AKYÜZ⁽¹⁾

ÖZ: Üç boyutlu baskı, yakın dönemde karşılaşılan ve henüz çok farklı uygulama alanları açısından olgunlaşma sürecinde olan en önemli teknolojik gelişmelerden biridir. Maliyet-etkin bir hale gelmesi ve özümsemesi halen devam etmekte olan bu teknolojinin, Tedarik Zinciri Yönetimi üzerinde devrim niteliğinde değişiklikler yapması beklenmektedir. Bu teknolojinin tüm tedarik zinciri süreçlerini ve stratejik yapılandırılmasını etkileyeceği, çeşitli maliyet unsurlarının tamamen değişmesine sebep olacağı ve yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına neden olacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada, üç boyutlu baskı teknolojisinin tedarik zinciri yönetiminin çeşitli boyutları üzerindeki potansiyel etkileri incelenmiş ve uygulamanın sunduğu fırsat ve zorluklar araştırılmıştır. Çalışma, konunun halen gerek uygulama, gerekse araştırmacılar açısından önemli bir araştırma alanı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üç Boyutlu Baskı, Tedarik Zinciri Yönetimi, Etkiler, Fırsatlar, Zorluklar

JEL Sınıflaması: D20, L00, O33

Abstract: *Three-dimensional printing is one of the most important recent technological advances, still experiencing its maturation phase in terms of a number of application areas. This technology, for which assimilation is still on-going and cost-effectiveness is still on the way, is expected to bring revolutionary changes in supply chain management. The technology is anticipated to affect strategic configuration as well as all the processes of the supply chain; to result in radical change of various cost items and to lead to new business models. In this study, potential effects of the technology on various dimensions of supply chain management, as well as opportunities and challenges of its application are investigated. This study reveals that the topic is a significant research domain from both research and application perspectives.*

Keywords: *Three-dimensional printing, Supply Chain Management; Effects, Opportunities, Challenges*

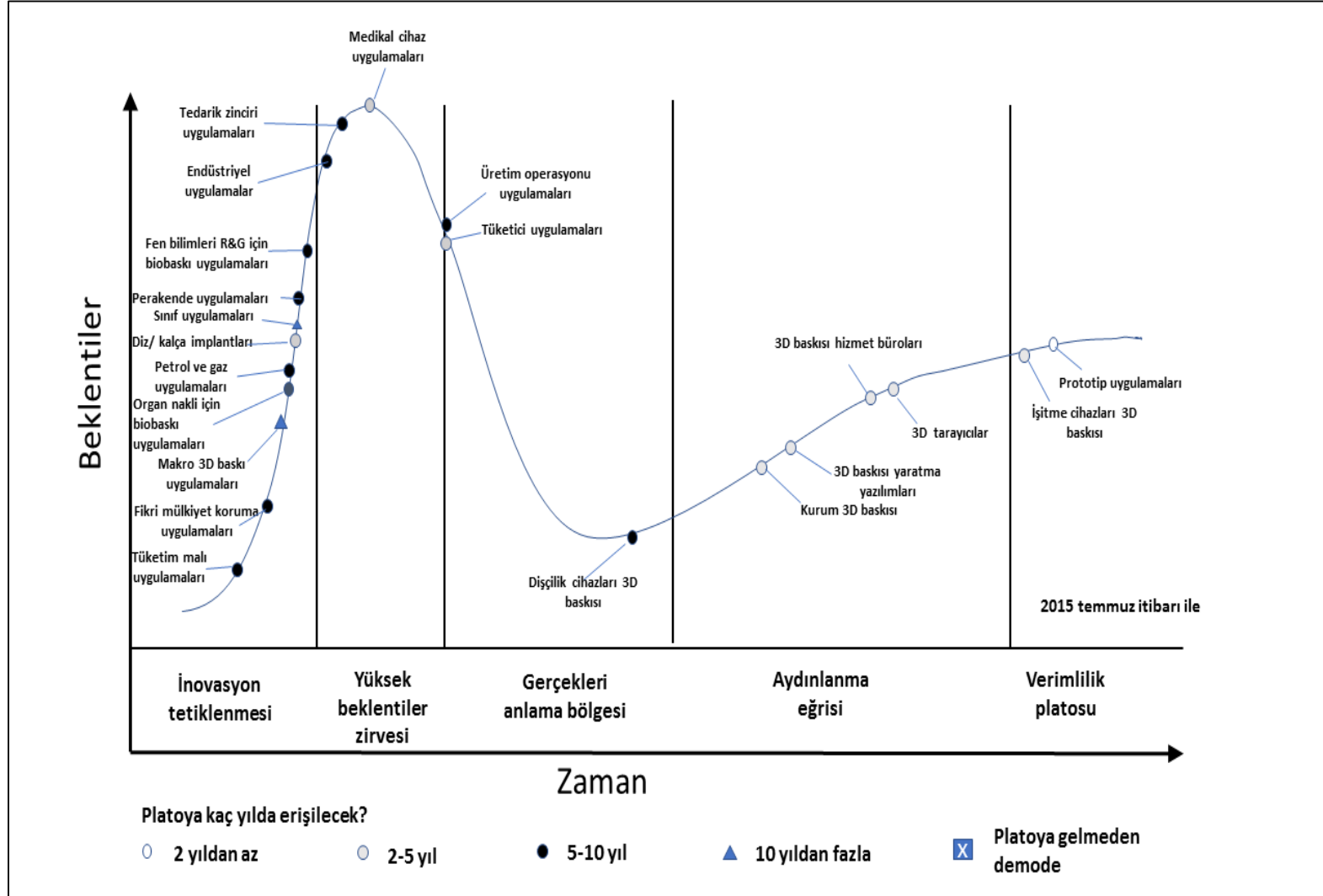
1. Giriş

Üç Boyutlu baskı, eklemeli (aditif), dijital ya da hızlı üretim gibi değişik isimlerle de bilinen ve kullanıcıların dijital üç boyutlu modellerden karmaşık geometrilere sahip somut objeler yaratmasına imkân veren çeşitli teknoloji ve üretim proseslerini ifade etmektedir (Hopkinson, Hague ve Dickens 2006; Lipson ve Kurman, 2013; Lee, Cooper, Hinkley, Gibson, Padgett ve Cronin, 2015; Gardan, 2016). Klasik üretim teknolojilerinin aksine, üç boyutlu baskı teknolojisi kullanıcıların çok çeşitli malzemeleri (örnek: plastik, metal, seramik, reçine, kumtaşı, biyomateryal, yiyecek içerikleri) kullanarak yüksek karmaşıklıkta ürünlerin iş emrinden iş emrine ya da üründen ürüne neredeyse hiç takım yenileme ve hazırlık zamanı olmadan üretimlerini sağlar (Tuck, Hague ve Burns, 2007; Conner2014; Kietzmann, Pitt ve Berton, 2015). Bu teknoloji başta uçak, tren ve otomobil yedek parçası üretimi, medikal ve çeşitli prototip uygulamaları olmak üzere çok geniş uygulama alanlarına ve çok çeşitli geometrileri işleme potansiyeline sahiptir (Garret, 2014; Niaki ve Nonino, 2017; Yalçın ve Ergene, 2017).

Çalışma boyunca 3 boyutlu baskı teknolojisi, “teknoloji” olarak isimlendirilecektir.

Teknoloji, dijital ortamda bulunan tasarımların gerçek hayata taşınması açısından CAD/CAM/CIM kavramları ile iç içe geçmiş ve prototip endüstrisinde devrim yapmış durumdadır. Gerek çok farklı endüstriyel uygulama alanları, gerek mevcut üretim süreçlerini destekleme, değiştirme ve yerine geçme potansiyeli ile, gerekse sunduğu ürün uyarlama imkânları ile küresel tedarik zinciri ve lojistik endüstrisini etkileyecek en önemli inovasyonlardan biri olarak görülmektedir (Mohr ve Khan, 2015).

Üç boyutlu baskı teknolojisinin çeşitli kullanım alanlarındaki özümseme ve yaygınlaşma durumu, Şekil 1-deki Gartner Group’un 2015 yılı Teknoloji İlerleme Eğrisinde (hype cycle) verilmiştir.



Şekil 1. Üç boyutlu baskı teknolojisi için teknoloji ilerleme eğrisi (Gartner Group, 2015)

Zamana karşılık teknoloji den beklentilerin gösterildiği bu grafikte, teknolojinin çeşitli uygulamalarının “verimlilik platosu” bölgesine geçmiş olduğu (prototip, işleme cihazları gibi), birçok farklı uygulamanın da halen “inovasyon tetiklenmesi” bölgesinde (biobaskı, perakende gibi) olduğu görülmektedir. Tedarik zinciri uygulamaları ise halen “beklentilerin zirvede olduğu” bölgededir.

Bu grafiğin ortaya koyduğu üzere, teknolojinin global tedarik zinciri ve lojistik sektörü üzerindeki etkileri konusunda yüksek beklentilerin söz konusu olduğu ve uygulamaların gerçek verimlilik etkilerinin henüz tam anlamı ile ortaya çıkmadığı değerlendirilmektedir.

Üç boyutlu baskı teknolojisi çeşitli kaynaklarda “yenilikçi” (Ahluwalia ve Mahto, 2018), “devrim niteliğinde” (Zeltmann, Gupta, Tsoutsos, Maniatakos, Rajendran ve Karri 2016; Niaki ve Nonino 2017), “mevcut tedarik zincirinin tüm yapısını değiştirme yeteneğine sahip” (BSR Report, 2015; Holmström, Holweg, Kjagavi ve Partanen, 2016), “yıkıcı” (Mohr ve Khan, 2015; Petric ve Simpson, 2013), “iş modellerinde değişime sebep olan” (Garret, 2014) ve “üçüncü endüstriyel devrimin köşe taşı” (Hull, 2015) gibi çeşitli sıfatlarla ifade bulmaktadır.

Bu noktadan hareketle, çalışmanın amacı üç boyutlu baskı teknolojisinin tedarik zinciri yönetimi üzerindeki potansiyel etkilerini ve tedarik zinciri yönetimi açısından ortaya çıkardığı fırsat ve zorlukları ortaya koymaktır.

Çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına cevap verir:

1. Üç boyutlu baskı teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki potansiyel etkileri nelerdir?
2. Üç boyutlu baskı teknolojisi tedarik zinciri yönetimi açısından ne tür fırsatlar ve zorluklar içermektedir?

Çalışma, henüz olgunluğa ulaşmamış yeni bir teknolojinin, günümüzde stratejik öneme sahip olan Tedarik Zinciri Yönetiminin çeşitli kavram ve boyutları ile ilişkisini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

Çalışma, metodolojik olarak “3 Boyutlu Baskı Teknolojisi” ve “Tedarik Zinciri Yönetimi” anahtar kelimeleri ile yapılmış bir literatür taramasıdır. Konunun teknolojik olarak yeniliği nedeniyle tarama kapsamında kullanılan kaynaklar 2013 yılı ve sonrasını kapsamakta, ağırlıklı olarak da Web of Science da taranan dergi makaleleri ile önemli bazı araştırma şirketlerinin (Gartner Group ve Deloitte gibi) çalışmalarından ve yerli literatürdeki dergi makalelerinden oluşmaktadır.

Çalışmanın bölüm yapısı şu şekildedir: Bölüm 2’de 3D baskı teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bölüm 3’de ilgili fırsatlar ve zorluklar tartışılmış, Bölüm 4’ te ise sonuç ve değerlendirmeler sunulmuştur.

2. Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Tedarik Zinciri Üzerindeki Potansiyel Etkileri

Literatürde teknolojinin, tedarik zinciri üzerinde çok farklı boyutlarda ve henüz anlaşılmayan değişikliklere sebep olacağı öngörülmektedir (Holmström ve diğerleri, 2016; Barz, Buer ve Haasis, 2016; Waller ve Fawcett, 2014). Mohr ve Khan (2015), bu etkilerin gerek yapısal, gerek yönetsel boyutlarda olacağını vurgulamış ve üç boyutlu baskı teknolojisinin tedarik zincirindeki etkilerini şu ana başlıklarda incelemiştir: (a) Kitlesele bireyselleştirme (mass customisation), (b) Kaynak verimliliği, (c) Üretimin merkezden yönetilmemesi/dağıtık yönetimi, (d) Karmaşıklığın azaltılması, (e) Envanter ve lojistiğin rasyonelleştirilmesi, (f) Ürün tasarımı ve prototip, (g) Yasal ve güvenlikle ilgili konular. Bu sınıflamadan da anlaşılacağı üzere, konunun tedarik zinciri üzerinde çok farklı boyutlarda ve çarpıcı etkilerinin olacağı öngörülmektedir.

Bu bölümde, konunun tedarik zincirinin çeşitli kavram ve boyutları ile ilişkileri analiz edilmiştir. Literatür taramasında özellikle öne çıkan kavramlar doğrultusunda, teknolojinin aşağıdaki boyutlarla ilişkisi ortaya konmuştur:

- Ürün tasarımı, prototip ve inovasyon ile ilişkisi
- Tedarik zincirindeki temel üretim ve envanter yönetimi kavramları ile ilişkisi
- Tedarik zinciri maliyetleri ile ilişkisi
- Tedarik zincirinde dış kaynak kullanımı ile ilişkisi
- Şebeke tasarımı ve yapısı ile ilişkisi
- Yönetsel ve organizasyonel kavramlar ile ilişkisi
- Sürdürülebilirlik ve çevre ile ilişkisi

Bu sınıflama, etkilenen temel kavram ve süreçlerin yanında, yapısal boyutu, yönetsel boyutu ve günümüz tedarik zincirinde özellikle öne çıkan 'sürdürülebilirlik ve çevre' boyutunu kapsamaktadır.

2.1 Ürün tasarımı, prototip ve inovasyon ile ilişkisi

Üç boyutlu baskı teknolojisi, prototip sürelerinin ve maliyetlerini azaltması başta olmak üzere bir fikrin ticarileşmesinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır (Walsh, Przychodsen ve Przychodsen, 2017; Gedik, Togay, Çoşkun ve Demirhan, 2018).

Literatürde ürün fikrinin tasarıma geçirilmesi süreci üzerinde teknolojinin şu temel etkilerinden bahsedilmektedir: (a) müşterinin tasarım aşamasına direk dahil olması, (b) tasarım süreçlerinin kısalması, hızlı ve etkin prototip aşaması, (c) modüler ve artımlı tasarım, (d) neredeyse tamamen baştan tasarım şansı, (e) daha sonraki aşamalar ile (satın alma ve üretim) artan entegrasyon (f) üretilebilir tasarım sınırlarının geliştirilmesi ve (g) kısalan ürünü pazara sunma süreçleri (Caputo, Marzi ve Pellegrini, 2016; Achillas, Aidonis, Lakovou, Thymianidis ve Tzetzis, 2015). Bu teknolojinin getirdiği hızlı prototipleme imkânı ile birlikte inovasyonun hızlı yaratılması (Gedik ve diğerleri, 2018; Kiraz, Sezer ve Şahin 2018), tasarımın dijital ortamda oluşundan dolayı rahatça paylaşılabilmesi ve revizyonunun çabuklaşması (Şahin ve Turan, 2018; Deloitte, 2018), ürünlerin piyasaya mümkün olduğunca erken sürülmesi (Ünal ve Saygılı, 2019), dolayısı ile sadeleşen ve etkinleşen bir inovasyon süreci söz konusudur (Weller, Kleer ve Piller, 2015).

Üç boyutlu baskı teknolojisi, müşterinin daha baştan tasarım sürecine dahil edilmesi imkânı vermektedir. Bu durum tüm sürecin daha müşteri odaklı olmasını, ürün tasarımı ve satın alma arasındaki sınırların azalmasını ve tasarım, üretim ve dağıtımın entegre edilmesini sağlamaktadır (Mohr ve Kahn, 2015). CAD/CAM/CIM ve “üretilebilirlik için tasarım (design for manufacturability)” kavramları ile uyumlu olarak çok daha kolay üretilebilir tasarımlar ortaya konması söz konusudur. Böylelikle modüler ve hızlı pazara sunulabilen ürünlerin yaratılması desteklenmekte, tedarik zinciri süreçlerinden kontrol altına alınması neredeyse en zor süreç olan tasarım süreci kısalmakta ve verimli hale gelmektedir. Bu da daha ilk aşamadan başlayarak içsel ve dışsal tedarik zinciri süreçlerinin daha entegre olması anlamına gelmektedir.

Teknoloji, yeni fikirlerin oluşması konusunda büyük firmalara nazaran daha başarılı olan ancak ürün fikrinin ticarileştirilmesi konusunda kaynak, yetkinlik ve altyapı ile ilgili kısıtları olan KOBİ’ler için özellikle önem taşımaktadır. KOBİ’lerin yaratıcı fikri büyük firmaların sahip olduğu ölçek ekonomilerine ve kaynaklara gerek duymadan, düşük maliyetle, kısa zamanda ve daha az riskle müşteri odaklı ürün tasarımlarına dönüştürebilmesine imkân sağlamaktadır (Walsh ve diğerleri, 2017). Teknoloji, kişisel yeteneklerin ve yaratıcılığın tasarım sürecine doğrudan dahil edilebilmesini sağlamakta, bu anlamda özellikle mobilya, moda ve kuyumculuk gibi estetik ve sanatsal boyutun yüksek olduğu ve özel tasarımların değerli olduğu sektörlerde yepyeni imkânlar sunmaktadır (Gedik ve diğerleri, 2018; Yıldırım 2016^a; Kiraz ve diğerleri, 2018).

Şekil 1’ de görüldüğü üzere prototip konusundaki uygulamalar günümüzde teknoloji ilerleme eğrisinin artık verimli kullanım bölgesindedir. Dolayısı ile teknoloji, tasarım sürecine yaptığı etkilerle tedarik zinciri yönetiminde en temel stratejilerden olan modüler tasarım, geciktirme ve son aşama uyarlama stratejilerinin daha iyi kullanılmasına imkân vermektedir. Bu nedenle modüler tasarımı destekleyerek hem müşteri isteğine göre uyarlanmış, hem de yüksek miktarda üretim yapabilme imkânını arttırmaktadır.

2.2 Tedarik zincirindeki temel üretim ve envanter yönetimi kavramları ile ilişkisi

Üç boyutlu baskı teknolojisi, müşteri talebi üzerine, tüketim yerine en yakın noktada ve kişiselleştirilmiş üretim yapılma imkânı sağlamaktadır (Niaki ve Nonino, 2017; Barz ve diğerleri, 2016; Schniederjans, 2017; Şahin ve Turan, 2018). Teknoloji fiziksel ürünün fiilen üretilmesi, taşınması ve dağıtımını yerine tüm ürün gamı için dijital ortamda üç boyutlu (3D) model dosyalarının tutulması ve müşteriye en yakın noktada 3D yazıcıdan basılmasına imkân vermektedir. Böylelikle tamamen müşteri tasarımına uygun, düşük miktarlarda ve müşteriye en yakın noktada baskı yapmak mümkün hale gelmektedir. Dolayısı ile teknoloji, kitlesel bireyselleştirme kavramını desteklemektedir (Gedik ve diğerleri, 2018; Yıldırım, 2016^b; Ünal ve Saygılı, 2019; Weller ve diğerleri, 2015). Tedarik zinciri yönetimi açısından bu durum, direk olarak ‘müşteri taleplerine cevap verebilme’, ‘kısılan ürünün pazara sunulma süreleri’ ve ‘esneklik’ anlamına gelmektedir. Bu bağlamda teknoloji tedarik zinciri yönetiminin müşteri odaklılık, entegrasyon, hızlı cevap verme, verimlilik gibi en temel birçok kavramını direk olarak destekler niteliktedir. Özellikle düşük üretim hacimlerinde etkin üretim çözümleri sunarak ‘siparişe göre üretim’ ve ‘uyarlama’ stratejileri

aracılığı ile müşteri taleplerine cevap verme yeteneğini arttırmaktadır (Achillas ve diğerleri, 2015).

Söz konusu bu yeni imkânlar temel üretim ve envanter yönetimi süreçleri üzerinde önemli değişimlere sebep olacaktır. Mevcut üret/satın al kararlarının gözden geçirilmesi, envanterin yarı-mamül yerine hammadde seviyesine çekilmesi, stok tutma birimlerinin azalması ve tüm envanter kararlarının etkilenmesi söz konusu olacaktır. Yüksek üretim hacimleri ve ölçek ekonomisi için tasarlanmış üretim yapıları artık ekonomik açıdan anlamını yitirecek ve seri üretime uygun üretim sistemi ihtiyaçları gittikçe azalacaktır (Petrick ve Simpson, 2013).

Fiziksel olarak taşıma ve depolamanın minimize edilmesi ile, temel lojistik süreçlerdeki her türlü taşıma ve depolama hareketlerinin daha verimli ve rasyonel hale gelmesi, küresel taşıma ve depolama ihtiyaçlarının ve envanter hacminin azalması gibi sonuçlar söz konusu olacaktır (Niaki ve Nonino, 2017; Petric ve Simpson, 2013; Zeltmann ve diğerleri, 2016; Barz ve diğerleri, 2016; Chen, 2016; Ünal ve Saygılı, 2019).

Doğru tasarımla üretim karmaşıklığının azaltılması, bileşenlerin tek bir üründe bir araya getirilmesi, çeşitli bileşenlerin montaj ihtiyacının azalması, birçok montaj işleminin ortadan kaldırılması ve üretim sisteminde önemli sadeleştirmeler söz konusu olacaktır (Mohr ve Khan, 2015). Ürün ağaçları sadeleşerek stok tutma birimlerinin sayıları azalacaktır. Karmaşık bir üretim yapısı yerine, daha etkin bir tasarım süreci ile entegre, 3D yazıcı destekli ve daha verimli bir yapı ortaya çıkacaktır. Yarı mamül stokları, işlem zamanları ve malzeme maliyetleri azalacaktır (Niaki ve Nonino, 2017; Lin , Chen ve Chiu, 2014).

Bu durum klasik çizelgeleme, partilendirme/parti büyüklüğü ve anlık envanter kararlarının da sorgulanmasına neden olacaktır (Holmström ve diğerleri, 2016). Süreç odaklı atölye operasyonları ürün modeline odaklanan operasyonlarla yer değiştirdikçe, gerek atölye içindeki malzeme akışı gerekse operasyonel planlama aktiviteleri köklü bir şekilde değişecektir. Çeşitli ekipman ve ilgili hazırlık sürelerinin azalması, üretimdeki partilendirme ihtiyacını da gittikçe azaltacaktır. Tüm bunların doğal sonucu ise, tedarik zinciri yönetiminin en önemli amaçlarından olan azalan üretim ve teslimat süreleri ile müşteri talebine daha hızlı cevap verme olacaktır (Mies, Marsden ve Warde, 2016). Dolayısı ile tüm yapı 'tam zamanında' felsefesine çok daha fazla yaklaşacaktır.

Üç boyutlu baskı teknolojisi mevcut ürünlerin ürün ağacında farklı aşamaların (parça, alt bileşen, bileşen veya bitmiş ürün) klasik üretimini tamamlayacak, hatta klasik üretimi yerine geçebilecek niteliktedir (Holmström ve diğerleri, 2016). Belli bir aşamaya kadar üç boyutlu baskı teknolojisi ile üretilmiş ürünlerin sonraki üretim aşamalarına klasik operasyonlar kullanarak devam etmesi veya ürünün özelliğine göre bitmiş ürünün tamamen bu teknoloji ile basılması mümkündür. Dolayısı ile tedarik zinciri süreçlerinin hangi aşamalarda ve şebeke üzerinde hangi noktalarda 3D baskı teknolojisi kullanılarak tasarlanacağı ve bu teknolojinin diğer üretim teknolojileri ile nasıl birleştirileceği yeni planlama problemleri olarak ortaya çıkmaktadır. Doğru noktalarda entegre edilmiş 3D baskı şebekeleri, talebe göre şirketin düşük ve yüksek üretim miktarları arasında hızlıca geçiş yapmasına izin verecek, bu da genel tedarik zinciri esnekliğini arttıracaktır (Rogers, Baricz ve Pawar, 2016).

2.3 Tedarik zinciri maliyetleri ile ilişkisi

Yukarıdaki bölümlerde ortaya konduğu üzere, 3D yazıcı kullanımı tedarik zinciri süreçleri üzerinde çeşitli noktalarda çarpıcı değişimlere ve sadeleşmeye sebep olacaktır. Bu değişimlerle birlikte, tasarımdan başlayarak birçok süreçte oluşan ve aşağıda belirtilen çeşitli maliyet unsurlarında azalma veya ortadan kalkma söz konusu olacaktır:

- Tasarım sürecinin daha bilgisayar destekli ve diğer süreçlerle daha entegre hale gelmesi ile, tasarım aşamasında pahalı ve karmaşık kalıp ve araçlar için yüksek miktarda yatırım ihtiyacı kalmayacaktır. Prototip, işlem, yeniden işlem, fire maliyetleri ve zaman kayıplarında iyileşmeler elde edilecektir (BSR Report, 2015).
- Dağıtım ve depolamada birçok fiziksel malzeme hareketinin azalması ya da ortadan kalkması ile, ilgili lojistik ve envanter maliyet unsurlarının da azalması ya da ortadan kalkması söz konusu olacaktır (BSR Report, 2015). Malzeme taşıma ve elleçleme ile ilgili maliyet ve zaman kayıpları azalacak, envanter ve depo yönetimi ile ilgili genel giderlerin azalması mümkün olacaktır (Deloitte, 2018; Ünal ve Saygılı, 2019).
- Üretimde oluşan birçok maliyetin (hazırlık zamanı, test, onarım, alet/takım ve kalıp maliyetleri gibi) azaltılması söz konusu olacaktır. Farklı aşamalarda oluşan hazırlık zamanı kayıplarında azalma ve operasyonda oluşan çeşitli verimliliklerden dolayı maliyetlerde iyileşme sağlanacaktır (BSR Report, 2015, Holmström ve diğerleri, 2016). Dolayısı ile bu tür maliyetleri haklı çıkaracak yüksek üretim miktarlarına gerek kalmadan, yani ölçek ekonomisine ihtiyaç duymadan, az miktarda üretimin düşük maliyetle yapılabilmesi imkânlı olacaktır (Deloitte, 2018). Özellikle bireyselleştirilmiş ve küçük parti miktarları ile çalışan üretimlerde birim maliyetlerde azalma olabilecektir (Rogers ve diğerleri, 2016).

Bu bağlamda ürün ağacında farklı seviyelerde klasik üretimle yapılan bileşen ve alt bileşenler 3D baskı teknolojisi ile yer değiştirdikçe, birçok noktada oluşan direkt işçilik, endirekt işçilik ve genel gider maliyetleri de azalacak veya ortadan kalkacaktır. Bakım-onarım ve yedek parça ihtiyaçları ve ilgili maliyet kalemleri de değişime uğrayacaktır.

Dolayısı ile klasik üretimde oluşan ürün maliyet yapısının farklılaşacağı ve birçok maliyet kaleminin toplam maliyet içerisindeki payının değişeceği öngörülmektedir.

Teknolojinin ileride birim başına maliyette klasik üretimle rekabet edecek hale gelmesi (Holmström ve diğerleri, 2016; Rogers ve diğerleri, 2016), ve hatta daha düşük maliyet avantajı sağlaması (Mies ve diğerleri, 2016) söz konusudur. Teknoloji çeşitli aşamalarda mevcut üretim teknolojileri ile birlikte kullanılmaya başlandıkça veya onların yerini aldıkça, maliyet unsurlarının tedarik zincirindeki partnerler arasındaki paylaşımı etkilenecektir. Bu durum doğal olarak satış fiyatları, firma karlılıkları ve pazar paylarına da yansiyacaktır.

2.4.Tedarik zincirinde dış kaynak kullanımı ile ilişkisi

Tedarik zinciri yönetimindeki en temel uygulamalarından biri olan dış kaynak kullanımı, şüphesiz ki 3D baskı teknoloji için de geçerlidir. Firmaların bu teknolojiye şirket bünyesinde yatırım yapmadan ilgili servis sağlayıcılardan hizmet alarak ulaşması mümkündür. Çeşitli lojistik, insan kaynakları hatta bilgi teknolojileri ile ilgili süreçlerinin dış kaynak kullanımı ile elde edilmesine benzer şekilde, firmalar

tedarik zinciri süreçlerinin belli aşamalarında 3D baskı teknolojisinde uzman partnerleri devreye sokup, ilgili hizmeti uzman partnerlerden alma stratejik kararına gidebileceklerdir. Bu konuda hizmet sağlayıcı firmaların düzenli olarak pazara girdiği ve uzman firmaların yaygınlaştığı görülmektedir (Rogers ve diğerleri, 2016).

Teknolojinin hizmet olarak dışarıdan sağlanması ile ilgili olarak literatürde üçlü bir hizmet sınıflaması söz konusudur: (a) generatif (tarama ve konstrüksiyon), (b) kolaylaştırıcı (mevcut tasarımın sadece baskı işlemi), (c) seçmeli (mevcut tasarımlar arasından seçim yapılarak modifikasyonu) (Rogers ve diğerleri, 2016). Dolayısı ile çeşitli sebeplerle bu teknolojiye yatırım yapmamış veya yapamamış partnerlerin yukarıda belirtilen herhangi bir sınıftaki hizmete bir servis sağlayıcı firma aracılığı ile ulaşmaları söz konusu olacaktır.

Bu durumun tedarik zincirinde dış kaynak kullanımına yeni bir boyut getirmesi beklenmektedir. Dış kaynak kullanımındaki ‘uzmanlaşma’ ve ‘iş uzmanına bırakma’ mantığından hareketle, teknolojinin yaygın kullanımındaki en büyük engellerden biri olan ilk yatırım maliyeti konusunda ara yollar bulma imkânı ortaya çıkacaktır. Teknolojinin elde edilme maliyetlerinde yaşanacak değişimlerin tedarik zinciri esnekliğine, ürün bireyselleştirilmesine ve ürün çevikliğine olumlu katkıları olacaktır (Rogers ve diğerleri, 2016). Bu konuda uzman hizmet sağlayıcı firmalar yaygınlaştıkça, şebeke üzerinde yeni uzun dönemli partnerliklerin oluşması söz konusu olacaktır. İlgili uzman firmalar tedarik zinciri ilişkilerine ve iş akışlarına değişik noktalarda müdahil olacaklar ve zaman içinde stratejik oyuncular haline geleceklerdir.

2.5. Şebeke tasarımı ve yapısı ile ilişkisi

Yukarıdaki bölümde belirtilen temel değişimler genel şebeke yapısı, konfigürasyonu tekrar konfigüre edilmesi ve ağ yapısındaki ilişkiler açısından değerlendirildiğinde, yine mevcut varsayımların değişmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Nyman ve Sarling, 2014).

Azalan lojistik ihtiyaçları, değişen ürün yapısı ve değişen envanter kararları ile birlikte, mevcut üretim ve dağıtım noktalarının değişmesi ve bazı tedarik zinciri aşamalarının (tiers) ortadan kalkması söz konusu olacaktır. Dağıtım kanalları kısalarak sadeleşecek (Waller ve Fawcett, 2014; Niaki ve Nonino, 2017), çeşitli üretim ve depolama noktaları yer değiştirecektir (Barz ve diğerleri, 2016). Azalan lojistik depolama ihtiyaçları doğrultusunda büyük dağıtım noktaları da yer değiştirecek ve azalacaktır. Gerek gelen (inbound), gerek üretim, gerekse giden (outbound) tarafta şebeke yapısı sadeleşecek ve kademe sayıları azalacaktır. Dolayısı ile, şebeke genel tasarımı açısından daha önce alınmış stratejik tasarım kararları sorgulanmak zorunda kalacak ve tedarik zinciri karmaşıklığı açısından önemli sadeleşmeler söz konusu olacaktır. Daha dijital ve lokal (Gebler, Anton ve Visser, 2014), daha dağıtık ve sade yapılar ile birlikte üretimin dağıtık yönetimi söz konusu olacaktır (Petric ve Simpson, 2013; Zeltmann ve diğerleri, 2016). Dolayısı ile teknolojinin, tedarik zinciri karmaşıklığını azaltacak bir potansiyele sahip olduğu (Mohr ve Khan, 2015) ve şebekelerin üretim odaklı bir yapıdan daha talep ve müşteri odaklı bir yapıya dönüşmesinde önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir (Bogers, Hadar ve Bilberg, 2016).

2.6. Yönetmel ve organizasyonel kavramlar ile ilişkisi

Yukarıdaki bölümlerde bahsi geçen değışiklikler şüphesiz ki yönetmel boyutta da değışimleri birlikte getirecektir. Gerek üretim, gerek tedarik, gerekse dağıtım tarafındaki sadeleşmeler firmalar için organizasyonel boyutta daha yalın, hiyerarşisi daha az olan ve daha işbirlikçi organizasyonel yapıları ortaya çıkaracaktır.

Teknolojinin yaygınlaşması ve güçlü tasarım ve üretim araçlarının herkes tarafından ulaşılabilir hale gelmesi ile birlikte, tasarım ve üretim bölümleri arasındaki yetki-sorumluluk ve rol tanımlarının keskin sınırları gittikçe azalacaktır (Petrick ve Simpson, 2013). Tasarım dosyası üzerinde başta müşteri olmak üzere ilgili tüm tarafların birlikte çalışabileceği, hızlı bir şekilde geri bildirim sağlayabileceği, gerekli revizyonların hızlıca yapılabileceği bir ortam söz konusudur. Dolayısı ile ürünün hızlıca hayata geçirilebileceği, daha işbirlikçi, daha etkileşimli, daha dinamik ve daha sade organizasyonel ve yönetmel yapılar söz konusu olacaktır.

Böyle bir yapıda alıcı/satıcı, tasarımcı/müşteri, profesyonel/amatör ayrımları gittikçe azalacaktır (Lipson ve Kumar, 2013). 3D baskı hizmetinde uzmanlaşan ve dış kaynak olarak baskı hizmeti sağlayan firmalar tedarik zincirinin yönetiminde stratejik partnerler haline geleceklerdir. Yönetmel ve organizasyonel açıdan müşteri ile çok daha fazla iletişim içinde, daha yalın ve dinamik yapılar ortaya çıkacaktır. Partnerler arasındaki iletişim, iş birliği ve entegrasyon farklı seviyelere taşınacaktır. Bu durum, tedarik zincirinin yönetiminde önemi gittikçe artan ve sıklıkla yer bulan işbirlikçi ve teknoloji destekli organizasyonel yapılara doğru olan değışimi (Lin, Hung, Wu ve Lin, 2016; Chondrocoukis, Nassopoulos, ve Marcoulaki, 2013) direk olarak desteklemektedir.

Bu bağlamda, teknolojinin benimsenmesi ve yaygın olarak kullanımı, işbirlikçi ve yalın tedarik zincirinin yönetimini destekleyecek önemli araçlardan biri olarak ortaya çıkmaktadır.

2.7. Sürdürülebilirlik ve çevre ile ilişkisi

Sürdürülebilirlik, çevre ve sosyal sorumluluk kavramları günümüz tedarik zincirinde gittikçe önem kazanan unsurlardır. Bu nedenle teknolojinin bu başlıklarda ne tür bir etkisi olacağını ortaya konması ayrıca önem arz etmektedir.

Rogers ve diğerleri (2016), çeşitli farklı çalışmalara dayanarak kaynak kullanımının daha verimli hale getirilmesi, lojistik hareketlerinin azaltımı gibi temel değışimler nedeniyle teknolojinin karbon salınımı ve karbon ayak izini azaltacağını öngörmektedir. Süreçlerdeki iyileştirmelerle birlikte daha az atık üretimi, geri dönüşüm materyallerinin kullanımının iyileştirilmesi gibi direk çevresel etkilerin elde edilmesi de beklenmektedir (Mohr ve Khan, 2015).

Teknolojinin kullanımı ile tüm ürün yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımı, kaynak ihtiyacı ve ilgili karbon emisyonu azaltımı söz konusudur (Niaki ve Nonino, 2017; Gebler ve diğerleri, 2014; Garret, 2014). Üretimdeki kaynak kullanımının iyileşmesi, israf ve atıkların azaltımı ve geri dönüşüm materyallerindeki iyileştirme yine çevresel boyutta iyileştirmelere sebep olacaktır (Mohr ve Khan, 2015). Sadece gereken miktarda malzeme kullanılması, artan geri dönüşüm imkanları, envanter seviyelerinin azaltım, karbon emisyonunun önemli kısmından sorumlu olan taşıma aktivitelerinin azaltımı verimlilik, enerji kullanımı ve çevre boyutundaki iyileştirici etkenler olarak ortaya konmaktadır (BSR Report, 2015).

3. Fırsatlar ve Zorluklar

3.1 Fırsatlar

Teknolojinin üretim hacmi, zamanlama ve süreçler açısından müşteri taleplerine göre kitlesel bireyselleştirme yeteneklerini ne şekilde desteklediği ve tedarik zinciri yönetiminin en temel kavramları olan yalınlık, çeviklik ve uyarlanabilirlik kavramları ile ne denli uyumlu olduğu bir önceki bölümde açıkça ortaya konmuştur. Bu bağlamda teknoloji tedarik zinciri yönetimi açısından aşağıda belirtilen başlıca önemli fırsatları sunmaktadır:

- Tedarik zinciri yönetimde gittikçe artan yapısal ve yönetsel karmaşıklığı azaltma ve sadeleştirme (Mohr ve Khan, 2015),
- Müşteriye yakın noktalarda sınırsız yeni konfigürasyon olanağı (Nyman ve Sarling, 2014),
- Tasarım ve üretim süreçlerinin çok daha iyi entegrasyonu (Caputo ve diğerleri, 2016),
- Lojistik hareketler ve envanter kararları ile ilgili mevcut anlayış ve yöntemlerin sorgulanması ve çeşitli verimsizliklerden kurtulma (Niaki ve Nonino, 2017; Petric ve Simpson, 2013),
- Oluşacak yeni maliyet yapısıyla müşteri tarafında elde edilebilecek çeşitli rekabetçi avantajlar (BSR Report, 2015; Deloitte, 2018),
- Daha tasarım aşamasından başlayan müşteri ile artan ilişki ve iş birliği imkânları (Caputo ve diğerleri, 2016),
- Baskı hizmeti sağlayan uzman firmalarla oluşacak ortaklık ve iş birliği imkânları (Rogers ve diğerleri, 2016).

Dolayısı ile 3D baskı teknolojisinin tedarik zinciri yönetimi için sınırsız verimlilik, iyileştirme, sadeleşme ve yeniden yapılanma fırsatları sunduğu değerlendirilmektedir.

3.2 Zorluklar

Şüphesiz ki uygulamalarda teknoloji ilerleme eğrisi üzerindeki ‘verimlilik platosu’ bölgesine geçilmesi konusunda halen çeşitli zorluklar söz konusudur.

Konunun malzeme bilimi ile entegrasyonu açısından olgunlaşmamış olması, konu ile ilgili standartların henüz oluşmamış olması, kısıtlı tasarım araçları ve işgücü yetkinlikleri bunların başında gelmektedir (Persons, 2015).

Sektör araştırmalarına dayanarak Strasystem.com (2015) şu temel zorlukları ortaya koymuştur: ekipman maliyetleri, firma içi kaynakların yetersizliği, firma içi işgücü uzmanlık ve eğitiminin yetersizliği, resmi standartların olmayışı, hukuksal ve yasal sonuçlar.

Teknolojinin fiyatında son yıllarda görülen azalmalara rağmen, ilk yatırım maliyeti halen 3D yazıcıların üretim sistemine birçok noktada entegrasyonu ve yaygın kullanımındaki zorlukların en önemlileri arasında gelmektedir.

Teknolojinin yaygınlaşması ve evde bile baskı yapılabilmesi, CAD dosyalarının güvenliği, ürün sorumluluğu, tasarım aidiyeti ve korsan 3D kopyaların önlenmesi gibi yasal konuları kritik bir öneme haiz kılmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile ilgili malzeme ve tasarım dosyasına sahip olan herkesin baskı yapması mümkün olacak ve bu durumda orijinal ve korsan kopyaların birbirinden ayırt edilmesi zorlaşacaktır. Bu

noktada tasarım güvenliği ve mülkiyet hakları, yönetilmesi gereken en önemli unsurlar haline gelecektir.

Literatürde desteklenen tüm bu zorlukların yanında, tedarik zinciri yapısında hangi noktalarda ve ürün ağacının hangi aşamalarında bu teknolojinin kullanılacağı sistemdeki tüm üret/satın al kararlarını etkileyecektir. Bu durum, mevcut yapıdaki tüm tedarikçi ilişkilerinin sorgulanması zorunluluğunu getirecektir.

Tasarım, üretim, depolama ve dağıtım süreçlerinin etkilenmesi ve değişimi, birçok kritik iş sürecinin yeniden yapılanması (BPR-business process reengineering) ihtiyacını beraberinde getirecektir. Partnerler arasında uzlaşma ile ortak iş akışlarının tasarlanması, bu iş akışlarının organizasyonel, yönetsel ve bilgi teknolojileri boyutları ile uygulamaya alınması, yani birden fazla partnerin iş süreçlerinin etkileneceği kapsamlı BPR projeleri söz konusu olacaktır. Gerek firmaların kendi içlerinde, gerek partnerler arasındaki iletişim, temel yetkinlik, kaynak paylaşımı, iş birliği ve iş akışları etkilenecektir. Bu bağlamda karşılaşılan tüm zorluklarla birlikte, BPR projeleri yönetimindeki tüm zorluklar ve başarı faktörleri (üst yönetim desteği, liderlik, değişim yönetimi gibi) devrede olacaktır.

Teknolojiye ulaşmada artan dış kaynak olarak kullanımı ile birlikte, stratejik partner haline gelmekte olan uzman hizmet sağlayıcılarla olan ilişkiler, ilgili anlaşma ve kontratların yönetimi ve fiyatlandırma politikaları yine yönetilmesi gereken önemli unsurlar olarak öne çıkacaktır.

Açıkça görülmektedir ki, uygulamaların verimlilik bölgesine geçebilmesi için teknik birtakım problemlerin aşılması ve bu teknolojinin maliyet-etkin hale gelmesi yeterli değildir. 3D baskı operasyonlarını iş akışlarına entegre eden partnerler arası yeni süreçlerin oluşturularak bu süreçlerle ilgili yeniden yapılanmanın ve değişimin her boyutuyla (yönetsel, organizasyonel ve teknik) yönetilmesi gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında, mevcut iş süreçlerinin yapılandırılmasındaki başarılı uygulamaların anahtarı sistemik yaklaşımla ve partnerler arası iş birliği ile alınacak stratejik kararlar olacaktır. Üst yönetimin 3D baskı ile ilgili genel algısı ve farkındalığı da teknolojinin özümsemesi ve etkin kullanımında şüphesiz önemli rol oynayacaktır.

4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Büyük teknolojik yenilikler, yeni gelişen bir teknolojinin maliyet, mesafe ve zaman boyutlarında daha önceki teknolojide var olan kısıtları kaldırdığı zaman ortaya çıkmaktadır (Lipson ve Kurman, 2013). Çalışmada teknolojinin tedarik zinciri yönetiminde maliyet, zaman ve mesafe boyutlarındaki tüm algıları sarsacak potansiyele sahip olduğu açıkça ortaya konmuştur. Teknolojinin tedarik zinciri yönetimi açısından ürün tasarımı, prototip ve inovasyon, temel üretim ve envanter yönetimi, maliyetler, dış kaynak kullanımı, şebeke tasarımı ve yapısı, yönetsel ve organizasyonel kavramlar, sürdürülebilirlik ve çevre açısından çok önemli değişimlere sebep olmakta olduğu detaylı olarak tartışılmıştır.

Artık bebeklik dönemini geçmiş olan 3D baskı teknolojisi, tedarik zinciri açısından ölçek ekonomilerini temelinden sarsan, tasarım-üretim-teslimat kavramları arasındaki sınırları gittikçe azaltan, hem müşteriye isteğine göre uyarlanmış hem de yüksek miktarda üretim yapabilme yeteneğini sağlayan ve sonsuz ürün uyarlama imkânları sunan bir karaktere sahiptir. Bu anlamda teknoloji, tedarik zincirinin verimliliği, entegrasyonu, esnekliği, çevikliği ve müşteri odaklılığı açısından çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Partnerler arası iş birliğini farklı bir boyuta taşımakta, müşteriyi daha

tasarım aşamasında çok etkin bir şekilde tüm sürece dâhil etmektedir. Dolayısı ileçalışma 3D baskı teknolojisinin yakın dönemde tedarik zinciri yönetimi anlayışını etkileyecek en önemli teknolojik unsurlardan biri olduğunu açıkça ortaya konmuştur.

Detaylı olarak tartışılan ve çeşitli boyutlarda ortaya konan mevcut zorlukların aşılaraq 3D baskı tedarik zinciri uygulamalarının teknoloji ilerleme eğrisinde verimlilik platosu bölgesine geçmesi şüphesiz belli bir süreç alacaktır. Bu çalışma, teknoloji yaygın kullanıma geçtiğinde tedarik zinciri yönetiminde çok önemli değişikliklerin yaşanacağını göstermiştir.

Sonuç olarak konu farklı sektör ve farklı tedarik zincirlerindeki uygulamalar açısından gerek araştırmacı, gerek uygulamacılar için halen çok önemli bir araştırma alanı olarak önümüzde durmaktadır. Çeşitli sektörlerde oluşacak uygulamalarla birlikte, şebeke seviyesinde ve her boyutta elde edilen iyileştirmelerle ilgili çalışmalar zamanla örnek uygulamaların oluşmasını sağlayacaktır. Özellikle teknolojinin farklı iş süreçleri yeniden yapılandırma uygulamalarında ne şekilde devreye alındığı ile ilgili çalışmalar diğer firma ve sektörlerle ışık tutacaktır. Farklı sektörler uygulamaları ile ilgili karşılaştırmalı çalışmalar konu ile ilgili olarak yine önemli katkılar sağlayacaktır.

5.Kaynaklar

- Achillas, C.; Aidonis, D.; Lakovou, E., Thymianidis, M. ve Tzetsiz, D. (2015). A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(1), 328-339. Part:1.
- Ahluwalia, S. ve Mahto, R.V. (2018). Additive manufacturing based innovation, small firms, customer involvement and crowd-funding: from co-creation to co-financing. *Translational Materials Research*, 5 (2), 1-7.
- Barz, A.; Buer, T. ve Haasis, H.D. (2016). A study on the effects of additive manufacturing on the *structure of supply networks*. IFAC- PapersOnLine, 49 (2), 72-77.
- Bogers, M.; Hadar, R. ve Bilberg, A. (2016). Additive manufacturing for consumercentric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 225-239.
- BSR (2015). 3-D Printing Sustainability Opportunities and Challenges. BSR Report. 25 Haziran 2016 tarihinde <https://www.bsr.org/reports/BSR-Report-3D-Printing-Sustainability-Opportunities-Challenges-2015.pdf> adresinden erişildi.
- Caputo, A., Marzi, G. ve Pellegrini, M.M. (2016) The Internet of Things in manufacturing innovation processes: Development and application of a conceptual framework. *Business Process Management Journal*, 22 (2), 383-402.
- Chen, Z. (2016). Research on the Impact of 3D printing on the international supply chain. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article Number: 4173873.
- Chondrocoukis, G., Nassopoulos, V. ve Marcoulaki, E. (2013). The impact of collaborative forecasting in the supply chain management of high technology products. *International Journal of Production Research*, 8 (3), 515-528.

- Conner, B.P. (2014), "Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services", *Additive Manufacturing*, Vol. 1 No. 4, pp. 64–76. Deloitte (2018). Disruptive manufacturing: The effect of 3D printing. 5 Temmuz 2018 tarihinde <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/insights-and-issues/ca-en-insights-issues-disruptive-manufacturing.pdf> adresinden erişildi.
- Gardan, J. (2016). Additive manufacturing technologies: State of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), 3118-3132.
- Garrett, B. (2014). 3D Printing: New economic paradigms and strategic shifts. *Global Policy*, 5(1), 70-75.
- Gartner Group (2015). Gartner says medical applications are leading advancement in 3D printing. 20 Haziran 2017 tarihinde <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917> sitesinden erişildi
- Gebler, M.; Uiterkamp, A.; Schoot, J.M. ve Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158-167.
- Gedik, E., Togay, A., Coşkun, M., ve Demirhan, E. (2018). Üç boyutlu baskının mobilya sektöründe ürün tasarımında kullanım imkanlarının araştırılması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(2), 16-25.
- Holmström, J., Holweg, M; Khajavi, S.H. ve Partanen, J. (2016). The direct digital manufacturing (r)evolution: Definition of a research agenda. *Operations Management Research*, 9 (1-2), 1-10.
- Hopkinson, N., Hague, R.J.M. ve Dickens, P.M. (2006), *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*, John Wiley and Sons
- Hull, C.W. (2015). The Birth of 3D Printing, Research. *Technology Management*, 58 (6), 25-30.
- Kietzmann, J., Pitt, L. ve Berthon, P. (2015), Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing, *Business Horizons*, 58 (2), 209–215.
- Kiraz, C.; Sezer, H.K., ve Şahin, İ. (2018). Kuyumculuk sektöründe 3b baskı tasarım tekniklerinin özgürlüğünden faydalanıldığında sektöre getirileri. *International Journal of 3d Printing Technologies and Digital Industry*, 2(2), 46-58
- Lee, M.P.; Cooper, G.J.T., Hinkley, T.; Gibson, G.M.; Padgett, M.J. ve Cronin, L. (2015). Development of a 3D printer using scanning projection stereolithography. *Scientific Reports*, 5, Article number :9725.
- Lin, C.; Hung, H-C.; Wu, Y-C. ve Lin, B. (2016). A knowledge management architecture in collaborative supply chain. *International Journal of Production Research*, 42(5), 83-94.
- Lin, YH; Chen, YT. ve Chiu, MC. (2014). Configuration optimization of additive manufacturing based supply chain using simulation approach. Cha, J; Chou, SY; Stjepandic, J; vd. (Ed). *Proceedings of 21st ISPE Inc International Conference on Concurrent Engineering*, Beijing Jiaotong Univ, Peoples Republic China, Sept. 08-11, 2014 IOS Press.

- Lipson H., ve Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis, IN: John Wiley and Sons.
- Mies, D.; Marsden, W. ve Warde, S. (2016). Overview of additive manufacturing Informatics: A digital thread. *Integrating Materials and Manufacturing Innovation*. 5(1), 114-142.
- Mohr, S. ve Khan, O. (2015). 3D Printing and its disruptive impacts on supply chains of the future. *Technology Innovation Management Review*, 5(11), 20-25.
- Niaki, M.K. ve Nonino, F. (2017). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 55 (5), 1419-1439,
- Nyman, H.J. ve Sarlin, P. (2014). From Bits to Atoms: 3D Printing in the Context of Supply Chain Strategies. Sprague, RH (Ed.). *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences 47th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-47)*, Waikoloa, Big Island, , 6-9 Jan. 2014., USA:IEEE, .: 4190-4199.
- Persons, T.M. (2015). 3D Printing: Opportunities, challenges and policy implications of additive manufacturing. 20 Temmuz 2017 de http://www.altfutures.org/pubs/PSFN/2015_Persons_PSFN.pdf adresinden erişildi.
- Petrick, I.J. ve Simpson, T.W. (2013). 3D Printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition, *Research-Technology Management*, 56 (6), 12-16.
- Rogers, H, Baricz, K. ve Pawar, K.S. (2016). 3D Printing services: classification, supply chain implications and research agenda. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 27(7), 990-1012.
- Schniederjans, D.G. (2017). Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: a survey analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, 287–298.
- Stratasys.com (2015). Top Challenges to Widespread 3D Printing Adoption. 20 Haziran 2016 tarihinde <https://www.stratasysdirect.com/blog/top-3d-printing-challenges/> adresinden erişildi.
- Şahin, K.ve Turan, O. (2018). Üç boyutlu yazıcıların karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Tuck, C., Hague, R.J.M. ve Burns, N.D. (2007). Rapid manufacturing - impact on supply chain methodologies and practice, *International Journal of Services and Operations Management*, 3(1), 1–22.
- Ünal, A.N., ve Saygılı, M.S. (2019). Sanayi 4.0 dönüşümünde 4 boyutlu baskı teknolojisinin yeri ve tedarik zinciri yönetimine etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1-14.
- Waller, M. A. ve Fawcett, S.E. (2014). Click here to print a maker movement supply chain: how invention and entrepreneurship will disrupt supply chain design. *Journal of Business Logistics*, 35(2), 99-102.

- Walsh, G.S., Przychodsen, J. ve Przychodsen, W. (2017). Supporting the SME commercialization process: the case of 3D printing platforms. *Small Enterprise Research*, 24(3), 257-273.
- Weller, C., Kleer, R. ve Piller, F.T. (2015). Economic implications of 3D-printing: market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, 164, 43-56.
- Yalçın, B. ve Ergene, B. (2017). Endüstride yeni eğilim olan 3-b eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(3), 65-88.
- Yıldıran, M. (2016)^a. Moda giyim sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim. *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi*, Mayıs-Haziran, 17, 155-172.
- Yıldıran, M. (2016)^b. Üç boyutlu yazıcılarla moda ürünlerinde kitlesel kişiselleştirme. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 9(19), 29-47.
- Zeltmann, S.E.; Gupta, N., Tsoutsos, N.G; Maniatakos, T.; Rajendran, J. ve Karri, R. (2016). Manufacturing and security challenges in 3D printing. *The Journal of the Minerals, Metals and Materials Society (JOM)*, 68 (7), 1872-1881.