



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Sanayi 4.0 Dönüşümünde 4 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Yeri ve Tedarik Zinciri Yönetimine Etkileri

Ahmet Naci ÜNAL<sup>a</sup>, Mehmet Sıtkı SAYGILI<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmet.saygili@vs.bau.edu.tr

### ÖZET

Tedarik zinciri yönetimi; hammadde ve malzemenin temini, ürün olarak üretilmesi ve müşteriye ulaştırılması sürecinde doğru ürünün, doğru miktarda, doğru fiyatta, doğru yerde ve doğru zamanda üretilmesi ve dağıtılmasını sağlamaya yönelik taraflar arasında malzeme, bilgi ve para akışının bütünleşmiş yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle herhangi bir ürünün, üretiminin başlangıcından, tüketiciye ulaşmaya kadar izlediği tüm sürecin, taşıma ve depolama faaliyetlerinin en uygun şekilde ve en düşük maliyetle yürütülmesini içermektedir. Bu sürecin kısa olması arzu edilse de hammadde, teçhizat, insan faktörü gibi unsurlar sürecin hızını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Günümüz dünyasında hemen her şeyin internet tabanlı, kısaca siber uzay bağlantılı olması sürecin hızını olumlu yönde etkileyen unsurlardan biri olarak görülmektedir. Almanya tarafından temel bileşenleri ortaya konulan “Dördüncü Sanayi Devrimi (Sanayi 4.0)” kavramı ile birlikte nesnelerin interneti, akıllı üretim, otonom sistemler, siber fiziksel sistemler, büyük veri, artırılmış gerçeklik, simülasyon (benzetim), sistem bütünleşmesi, bulut teknolojileri, üç boyutlu (3D) ve dört boyutlu (4D) baskı teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Özellikle 3D/4D baskılar, tedarik zinciri yönetimi süreçlerinde öncü ve belirleyici bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın amacı genelde 3D baskının, özelde ise 4D baskının tedarik zinciri yönetiminde üretim, taşıma, depolama, tedarik ve satınalma süreçlerine yönelik olumlu ve olumsuz etkilerini değerlendirmektir. Bu çalışmanın hazırlanmasında birincil ve ikincil verilerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak konu ile ilgili literatür taraması yapılmış, buna ek olarak da tedarik zinciri sürecinde rol alan sektör temsilcileriyle derinlemesine mülakat yöntemi ile yüz yüze görüşmeler yapılarak nitel yöntemler kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 3D/4D Baskı, Sanayi 4.0, Tedarik Zinciri Yönetimi

## The Place of 4D Print in Industry 4.0 Transformation and Its Effects on Supply Chain Management

### ABSTRACT

Supply chain management is defined as integrated management of material, information and money flow

between the parties in order to produce and distribute the right product in the right amount, at the right price, in the right place and at the right time in the process of delivering the raw materials, producing the product and delivering it to the customer. In other words, it includes the whole process from the start of production to the arrival of any product to consumer, the optimization of transportation and storage activities and the minimization of costs. Although this process is asked to be short, duration can be negatively affected by factors such as raw materials, equipments and human. In today's business world, almost everything is Internet based; in other words it is connected to cyber space, which is one of the factors that affects the speed of this process positively. The concept of 'Fourth Industrial Revolution' (Industry 4.0) which is foregrounded by Germany in particular, consists of basic components such as the internet of objects, smart production, autonomous systems, cyber physical systems, big data, augmented reality, simulation, system integration, cloud technologies, three dimensional (3D) and four dimensional (4D) printing technologies. Particularly, 3D/4D printing emerges as a pioneering and determining structure in supply chain management processes. The purpose of the present study is to assess positive and negative effects of 3D printing in general and 4D printing in particular on production, transportation, warehousing, supply and purchase processes in supply chain management. Primary and secondary data were utilized in this study. First, literature review was conducted about the subject and additionally, qualitative methods were used by conducting face to face meetings including in depth interviews with industry representatives who are involved in the supply chain process.

*Keywords: 3D/4D Printing, Industry 4.0, Supply Chain Management*

## I. GİRİŞ

**K**üreselleşme ve artan ürün çeşitliliği, maliyetlerin düşürülmesi gerekliliği, müşteri beklentilerinin artması, bilgi-iletişim teknolojileri kullanımının yaygınlaşması gibi üretim ortamında meydana gelen çeşitli değişiklikler sonucunda üretim işletmelerinin tüm tedarik zincirini yönetmeleri gerekliliği ortaya çıkmıştır [1]. Stratejik olarak konumlarını güçlendirmek ve verimliliklerini arttırmak için işbirliği yapan işletmeler tedarik zinciri süreçlerinde karşılıklı bağımlılık ve ilişki yönetimine dayanan bir kanal düzenleme stratejisi oluşturmuştur [2].

Önemli olan, işletmelerin tedarik zincirlerini doğru ürünü, doğru zamanda, doğru yerde ve doğru fiyattan müşteriye sunmaya yönelik olarak yönetebilmeleridir. Tedarik zinciri yönetimi, hizmet verilen pazara yanıt verebilmek ile verimlilik arasında en iyi karışımı elde etmek için bir tedarik zincirindeki katılımcılar arasında üretim, stok, yer ve ulaştırma süreçlerinin koordinasyonu olarak tanımlanabilir [3], [4]. Başka bir tanıma göre tedarik zinciri yönetimi işletme dışında tedarikçiler ve dağıtım kanalı üyeleri tarafından sürdürülen operasyonların işletme içi fonksiyonlarla bütünleştirilmesi ve rekabet performansının geliştirilmesi arayışıdır [5]. Nihayetinde tedarik zinciri yönetiminin tanımı, işletmelerin hammadde tedariki ile başlayıp, nihai ürünün müşteriye ulaştırılmasına kadar olan süreci maliyetleri düşürmek ve hizmet seviyelerini yükseltmek amacıyla planlanmaları, koordinasyonunu sağlamaları ve kontrol etmeleri olarak yapılabilir. Tedarik zinciri yönetiminin temel amacı, zincirdeki tüm bağlantıları değerlendirerek, planlayarak ve yöneterek müşteriye en iyisini sunmak ve bunun yanında maliyetleri düşürmek ve kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır [6].

Her sanayi devriminin tedarik zincirinin süreçlerine yönelik olumlu etkileri olmuştur. Günümüze kadar sanayide dört devrim gerçekleşmiştir. İlk sanayi devrimi (Sanayi 1.0) su ve buhar gücünü kullanarak mekanik üretim sistemlerinin kullanılmasıdır. İkinci sanayi devrimi (Sanayi 2.0) üretimde elektrik enerjisinden yararlanılarak yapılan seri üretimdir. Üçüncü sanayi devriminde (Sanayi 3.0) bilgisayar kontrollü üretim sistemleri ile programlanabilir makineler üretim hatlarında kullanılmaya başlanmıştır.

Bugün kısaca Sanayi 4.0 diye adlandırılan dördüncü sanayi devrimi kapsamında ise sanal ve fiziksel sistemlerin bütünleşmesini sağlayan akıllı makineler ve yapay zeka kullanılmaktadır. Yeni sanayi devriminde ortaya çıkan nesnelerin interneti, gelişmiş algılayıcılar, bulut teknolojileri, yapay zeka, gelişmiş robotik teknolojileri, 3D ve 4D baskı ile geleneksel üretim anlayışından makineler arası iletişime bağlı otomasyonla birlikte yüksek teknolojinin kullanıldığı akıllı fabrikalara doğru bir dönüşüm olmaktadır. Sanayi 4.0'ın temelinde üretimde tüm makine ve sistemlerin birbirleriyle haberleşmesine bağlı olarak gerçek zamanlı veri kullanılmasıyla yüksek katma değerli ürün ve hizmetlerin üretilmesi yer almaktadır. Yeni sanayi devrimi ile bilgi-iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelerden daha fazla alanda yararlanılmakta ve işletmelerin iş yapma şekilleri değişmektedir. İşletmelerin iş süreçlerinde yaşanan dijital dönüşüm üretim aşaması ile birlikte tedarik zincirinin tüm diğer aşamalarını da kapsamaktadır.

Özellikle 3D baskı teknolojisi ile dijital veri fiziksel ürüne dönüştürülebilirken, dış çevre şartlarına uyum gösteren ve nitelik değişikliği yapabilen akıllı malzemelerin kullanımı sonucunda yaşanan gelişmeler sürece yeni bir boyut katmaktadır. Bu akıllı malzemeler 4D baskı teknolojisi kullanılarak ürüne dönüştürülmektedir. Baskı teknolojisindeki gelişmelerin tedarik zinciri yönetimini maliyet, hız, karlılık ve çalışan verimliliği açısından etkileyeceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Sanayi 4.0 ile gelişen dijital dönüşüm sürecinin parçalarından olan 3D ve 4D baskının tedarik zinciri yönetiminde üretim, taşıma, depolama, tedarik ve satılma süreçlerine yönelik olası etkilerini saptamak ve değerlendirmektir. Çalışmanın ilk bölümü olan giriş bölümünde temel tanım ve kavramlara yer verilerek çalışmanın amacı belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde Sanayi 4.0'ın tedarik zinciri süreçleri üzerindeki etkileri konu ile ilgili daha önce yapılmış çeşitli çalışmaların amaç ve sonuçlarına değinilerek ortaya konulmaktadır. Üçüncü bölümde, 3D baskı tanımı çerçevesinde 4D baskı ve akıllı malzeme kavramları tanımlanmaktadır. Dördüncü bölümde, günümüzde kullanımı yaygınlaşan 3D baskı ile birlikte, 4D baskı kullanımının tedarik zinciri yönetimine muhtemel etkilerine değinilmektedir. Beşinci bölümde, 4D baskının tedarik zinciri yönetimine etkilerine yönelik konuyla ilgili uzman kişilerin görüşlerine başvurularak keşifsel bir araştırma yapılmaktadır. Çalışmanın altıncı bölümü olan sonuç kısmında literatür taramasından elde edilen bilgiler ile yapılan keşifsel araştırma kapsamında elde edilen bulgular birlikte ele alınarak konu hakkında değerlendirme yapılmaktadır.

## II. SANAYİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Sanayi 4.0, sanal ve fiziksel dünyanın bir araya gelerek [7] tedarik zincirindeki tüm paydaşların bilgiye eş zamanlı ulaşarak yüksek katma değer ortaya çıkarabilmelerini sağlamaktadır [8]. Sanayi 4.0, üretimle birlikte tedarik, satılma, taşıma, dağıtım ve depolama olmak üzere işletmelerin tedarik zinciri süreçlerinin bütününe etkilemektedir.

Sanayi 4.0'ın tedarik zincirine yönelik etkilerini ortaya çıkarmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Szozda'nın çalışması, Sanayi 4.0'ın günümüz tedarik zincirinin işleyişine etkilerini belirlemeye yöneliktir. Çalışmada işletmelerin Sanayi 4.0'a yabancı olmadığı ve Sanayi 4.0'ın işletmelerin tedarik zincirindeki fiziksel akış ve bilgi akışının düzenlenmesinde etkili olduğu ancak işletme yöneticilerinin veri güvenliği sorunları ve uzun mesafeli kablosuz ağların kapasitesi nedeniyle süreçlerin sanal dünyaya aktarılması konusunda endişe duyduklarına değinmektedir [9]. Glas ve Kleeman'ın çalışmasında ise Sanayi 4.0'ın tedarik zinciri açısından satınalmaya etkileri ortaya konulmaktadır. Çalışma, Sanayi 4.0'ın tedarik zincirinde, iş modellerinde ve iş süreçlerinde meydana getirebileceği değişiklikler tahminlenmektedir [10]. Henke ve Schulte'un çalışmasında, Sanayi 4.0'ın tedarik zincirine etkilerinin net olmadığı ifade edilmektedir [11]. Tjahjona vd.'nin çalışmalarında Sanayi 4.0'ın tedarik zinciri yönetimi üzerindeki etkisinin ön analizi yapılmaktadır. Çalışma kapsamında Sanayi 4.0 ile kullanılacak teknolojilerin tedarik zincirinin tedarik, taşıma, depo ve sipariş işleme fonksiyonları üzerinde oluşturabileceği fırsat ve tehditler değerlendirilirken Sanayi 4.0'ın esneklik, kalite standartlarını sağlama ve verimlilik açısından faydaları olduğuna değinilmektedir. Böylelikle işletmelerin kitlesel kişiselleştirmeyi mümkün kılarak, müşteri taleplerini karşılama ve pazara yeni ürün ve hizmetler sunarak değer yaratmasına olanak sağlayacağı görüşüne yer verilmektedir [12]. Pfohl vd. tarafından yapılan çalışmada da, Sanayi 4.0 terimi tanımlanmakta ve Sanayi 4.0 kapsamındaki teknolojilerin tedarik zinciri organizasyonuna etkileri fırsatlar ve tehditler olarak değerlendirilmektedir [13].

Konu ile ilgili daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda literatür taramasına, işletme içi gözlemlere ve uzman görüşlerine dayanılarak Sanayi 4.0'ın genel olarak tedarik zinciri yönetimine etkilerine değinilmektedir. Bu çalışmalar Sanayi 4.0 kapsamında kullanılan teknolojilerin, tedarik zinciri süreçlerinin mevcut yapısında değişikliklere neden olacağına yönelik işletmelerde farkındalık oluştuğunu göstermektedir.

Sanayi 4.0 ile gerçekleşen dijitalleşme süreci sonucunda işletmelerin tedarik zincirindeki iş süreçleri ile ilgili çeşitli faktörler ön plana çıkmaktadır. Bu faktörler aşağıda maddeler halinde yerilmektedir [14];

- Yeniliklere Açık Olmak: İşletmelerin ürün geliştirme süreçlerinin hem müşterileri hem de tedarik zincirindeki diğer işletmeleri dahil edecek şekilde açık yapıda olması.
- Dağıtık Üretim: Akıllı üretim sistemleri ile klasik üretim yapısı değişmektedir.
- Yeni İşbirliği Modelleri: Birbirine rakip, benzer ürünler üreten ve müşteri tipi aynı olan işletmelerin aralarında anlaşarak yatay işbirliği modeli oluşturması ya da aynı piyasada bulunan ve birbirini izleyen üretim süreçlerinde faaliyet gösteren işletmelerin aralarında anlaşarak dikey işbirliği modeli oluşturması.

Dijitalleşme sonucunda işletmelerde kullanılan akıllı makinelerin, kalite ve verimliliğin koruyucuları olması beklenmektedir. Siber fiziksel sistemler, sensörlerle elde ettikleri verileri mekanik hareketlere çevirebilecektir. Yapay zeka, nesnelerin interneti ve robotik geliştikçe, bir makine sadece bulunduğu konumdaki görevini yerine getirmesi gerektiğini kavramakla kalmayacak, aynı zamanda kendisini doğru yere ve doğru pozisyona taşıyarak işi gerçekleştirebilecektir. İnternet ve bulut teknolojisi ticari işlemlerle ilgili her şeyin tek bir sistemde yapılmasını sağlayacaktır. Tedarikçiler, üretim verilerini canlı olarak görebilecek ve herhangi bir sapma durumunda anında uyarılabilecektir. Gerçek zamanlı iletişim sağlayan akıllı işyeri otomasyon sistemleri ile birlikte fabrikalarda esneklik artacak ve üretim

daha fazla özelleştirilecektir. İşletmeler ürünleri hakkında elde ettikleri tüm verileri kullanarak daha yüksek seviyede katma değerli üretim yapabileceklerdir [15].

Sanayi 4.0 ile gerçekleşen ve gerçekleşmesi beklenen tüm gelişmelerin tedarik zinciri yönetiminde aşağıda yer alan olumlu yöndeki etkileri sağlaması beklenmektedir [16];

- Doğrudan Maliyet Tasarrufu Sağlanması: Teknolojideki gelişmeyle birlikte iş süreçlerinde bütünleşme oranı artmaktadır. Bunun sonucunda hata oranı düşmekte, tedarik zinciri süreçlerinde kesintiler azalmakta ve verimlilik artmaktadır.
- Hızın Artması: Üretim sistemleri, müşteri beklentilerini karşılamaya yönelik daha hızlı tepki verecektir. Üretimde daha fazla esneklik sağlanacak ve dağıtım kanalları çeşitlenecektir.
- Karlılık Artışı: Sanayi 4.0, katma değeri ve kar marjı daha yüksek olan özelleştirilmiş ürünlerin üretilmesine imkan tanımaktadır.
- Küresel Pazarda Rekabet Gücünün Artması: Günümüzde, Sanayi 4.0 kapsamında yüksek teknoloji kullanarak üretim yapan işletmeler rekabette avantaj sağlayacaktır. Bununla birlikte gelecekte, üretimde yüksek teknoloji kullanımı standart bir uygulama olarak karşımıza çıkacaktır.
- Çalışan Verimliliğinin Artması: İşletme içi eğitim süreleri kısalarak çalışma hızı artacaktır.

Sanayi 4.0 tam olarak gerçekleştiğinde, işletme operasyonlarının geleneksel tedarik zinciri yönetimine göre daha şeffaf, gerçek zamanlı ve verimli yönetilmesine olanak sağlayacaktır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda benzer ifadeler yer almakla birlikte, bu çalışmaların tamamında varılan sonuçların netleştirilmesi için nicel analizler yapılarak geliştirilmesi gerekmektedir.

### III. 4D BASKI VE AKILLI MALZEMELER

Küresel ticarete müşteri taleplerinin özelleştiği yoğun rekabet ortamında doğru ürünün, doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyattan piyasaya sunulması çok önemlidir. Bu nedenle günümüzde 3D baskı teknolojileri kaynakların verimli kullanılarak ürünlerin mümkün olduğunca erken piyasaya sürülmesine olumlu katkı sağlamaktadır. Eklemeli imalat olarak da anılan üç boyutlu baskı teknolojisinde, üç boyutlu baskı makineleri kullanılarak farklı hammadde katmanları üst üste konularak veya birbirine eklenerek dijital veri fiziksel ürüne dönüştürülmektedir [17]. Bu açıdan 3D baskı, üç boyutlu dijital tasarımları fiziksel parçalara dönüştürme yeteneği ile nesnelere üretmekte kullanılan bir teknolojidir [18]. Bugün 3D baskı, sağlıktan otomotive pek çok sektörde kullanılmakta ve yapılan Ar-Ge faaliyetleri ile geliştirilmektedir.

En, boy ve yüksekliği içeren üç boyutlu tasarım ve üretim sürecine dördüncü bir boyut eklenerek 4D baskı ortaya çıkmıştır. 4D baskıda, kullanılan malzeme programlanabilmektedir. Böylelikle fiziksel nesnelere, üretildikten sonra biçim ve işlev değiştirme kabiliyetine sahip olmaktadır. Değişim belli bir zaman aldığı için dördüncü boyut zaman boyutu olarak adlandırılmaktadır [19]. Aynı zamanda 4D baskıda dördüncü boyutun kapsamının akıllı malzemeler olduğu da belirtilmektedir [20]. Akıllı malzemeler, harici bir uyarana maruz bırakıldığında şekil veya niteliğinde (sertlik, renk, doku, şeffaflık, hacim) değişiklik yapabilen bir malzeme sınıfıdır [21]. Malzeme bilminde temel anlayış, mümkün olduğunca malzemenin kullanım süresince yıpranmadan ve bozulmadan niteliğini korumasıdır. Akıllı malzeme anlayışında ise dış çevre şartlarına uyum gösteren, hatta yerine getirdiği işleve yönelik fayda sağlayan nitelik değişimleri yapabilen malzemeler düşünülmektedir [22]. 4D baskı ile üretim yapmakta kullanılan malzemeler; suya batırılarak ya da ısı, basınç, akım, ultraviyole

ışığı veya diğer enerji kaynaklarına maruz bırakılarak şekil ve fiziksel boyutları değiştirmek üzere programlanmaktadır [23].

4D baskıda diğer önemli bir konu da baskı makinesinin kullanıcı arayüzü yani yazılımıdır. 4D baskı makinesinin yazılımında, hareket ve ısı değişimi gibi dış etkenlere bağlı olarak akıllı malzemenin şekil değiştirmesini sağlayacak kodlar bulunmaktadır. Bu teknoloji ile işleme maliyetleri yüksek ve kullanım alanları kısıtlı olan akıllı malzemelerin daha fazla kullanılması amaçlanmaktadır.

#### IV. 4D BASKININ TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNE ETKİLERİ

İş sürecinde akışı hızlandıran ve maliyetleri düşüren her türlü gelişmenin tedarik zinciri yönetimine olumlu etkisi bulunmaktadır. Öncelikle günümüzde yaygın olarak kullanılan 3D baskı teknolojisinin tedarik zinciri yönetimine olan olumlu etkilerine değinmekte fayda vardır. Bu etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [24];

- Son derece karmaşık ve/veya özelleştirilmiş ürünlerin tasarlanması, bunların prototip haline getirilmesi ve üretilmesi için daha düşük sayıda üretim adımı sağlamaktadır.
- Yerelleştirilmiş (adem-i merkeziyetçi) üretim stratejileriyle üretim faaliyeti, ürüne ihtiyaç duyulan yerde gerçekleştirilmektedir. Böylelikle teslimat süreleri kısalmaktadır.
- Yerelleştirilmiş üretim yoluyla taşıma, depolama ve ithalat/ihracat maliyetlerinin vb. azalması sonucunda lojistik ve üretim maliyetleri azalmaktadır.
- Üretimde en az miktarda malzeme ve enerjiyi kullanarak yüksek sürdürülebilirlik ve üretkenlik sağlamaktadır.

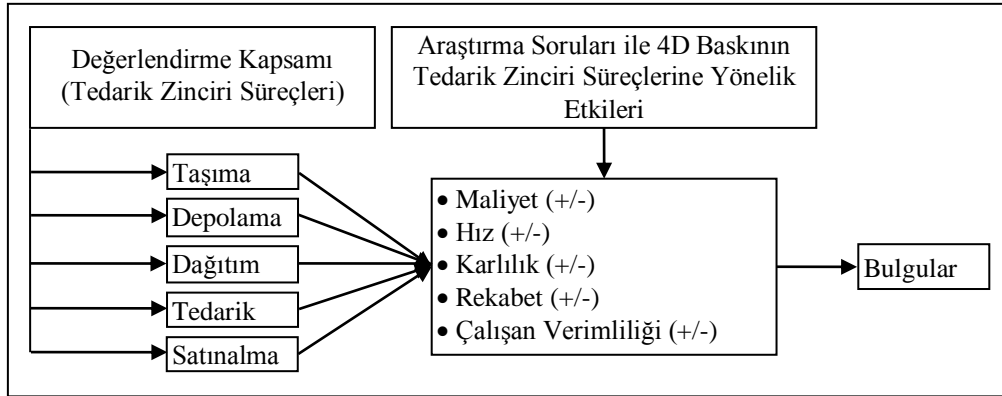
3D baskı teknolojisi hem donanım hem de yazılım açısından her geçen gün daha fazla gelişmektedir. Bu gelişmelere bağlı olarak yeni üretilen 3D baskı makineleri, önekilere göre daha hızlı üretim yapabilmekte ve üretilen ürün çeşitliliği artmaktadır.

4D baskı teknolojisi ise henüz gelişim sürecinin ilk aşamasındadır denilebilir. Bununla birlikte 4D baskı teknolojisi hem baskı makinesi hem de malzeme açısından geliştirildikçe daha fazla ürün çeşidi bu teknoloji ile üretililecektir. Bu teknolojinin yaygınlaşması ile daha fazla ürün bir arada taşınabilecek, mümkün olan en az depolama alanına ihtiyaç duyulacak ve teslim edilen ürünler kendi kendini kurabilecektir [25]. Aynı zamanda ürünün kullanımından kaynaklı yıpranma maliyetleri düşecektir. Örneğin, hasar gören bir malzeme yeterli ısı derecesine maruz kaldığında tekrar kullanılabilir duruma gelebilecektir. Bu malzeme, tedarik zinciri içinde müşteriye teslim edilen bir ürün olabileceği gibi, müşteriye ürünü teslim edecek taşıma aracının lastik, tampon vb. bir parçası da olabilir.

Sanayi 4.0 kapsamındaki tüm teknolojiler genelinde tedarik zinciri yönetimine yönelik gerçekleşen olumlu etkiler, 4D baskının kullanım alanlarının yaygınlaşması sonucunda 4D baskı özelinde tedarik zincirinin üretim, taşıma, depolama, tedarik ve satın alma süreçlerine yönelik olarak da gerçekleşebilecektir.

#### V. YÖNTEM

Araştırma, yapısı itibarı ile nitel ve keşifselidir. Nitel araştırma, insanların yaşadıkları dünyayı ve tecrübelerini nasıl algıladıkları ve yorumladıklarını analiz etmek üzere geliştirilen araştırma yaklaşımlarını adlandırmakta kullanılan genel bir tanımdır [26]. Sanayi 4.0'ın ve 3D baskının tedarik zinciri yönetimine etkilerine yönelik pek çok araştırma yapılmış olmakla birlikte, 4D baskı teknolojisi ile ilgili çalışmalar henüz yenidir ve kaynaklardan 4D baskının tedarik zinciri yönetimine etkileri ile ilgili yeterli bilgi elde edilememektedir. Bu nedenle konu ile ilgili keşifsel araştırma yapılmıştır. Çok yeni ürünlerle ilgili diğer kaynaklardan yeterli bilgi alınmadığı durumlarda, işin doğasında teknoloji olduğu için uzman kişilerin görüşlerine başvurulmaktadır [27], [28]. Bu kapsamda araştırma konusu ile ilgili uzmanlarla derinlemesine mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Mülakat türleri arasından mülakatçının genel hatlarıyla yol haritasına sahip olduğu, bununla birlikte katılımcının ilgi ve bilgisine göre bu çerçeve içerisinde farklı sorular sorularak konunun değişik boyutlarının ortaya çıkarılmasına çalışıldığı yarı-biçimsel mülakat tekniği [29] uygulanmıştır. Açık uçlu sorulardan oluşan yarı yapılandırılmış anket formu ile birincil veriler toplanmıştır. Böylelikle çalışmanın literatür taramasında bulunan kriterler ve bu çalışma kapsamında belirlenen kriterler Şekil 1'de gösterilen model çerçevesinde bir araya getirilerek konu hakkında uzman kişilerin görüşleri alınmıştır (Şekil1).



*Şekil 1. Araştırma kapsamında değerlendirilen kriterler*

Araştırmada herhangi bir ampirik modele ve hipotezlere yer verilmemiştir. Konu ile ilgili İstanbul ilinde faaliyette bulunan üç uzmanın görüşleri birincil veri olarak toplanmıştır. Araştırma kapsamında mülakat yapmak için 4D baskı teknolojisini kullanan üreticilerle görüşülmesi planlanmıştır. Fakat bu konuda faaliyet gösteren herhangi bir üreticiye ulaşamamasından dolayı görüşmeler 3D baskı yöntemiyle çeşitli sektörlerde üretim yapan işletmelerde çalışan uzmanlarla sınırlı kalmıştır. Bu kişiler görüşmeye kabul edilirlerken, 4D baskı teknolojisinin kapsamı ve gelişimi hakkında bilgi sahibi olduklarını beyan etmişlerdir. Uzmanlar K1, K2 ve K3 şeklinde kodlanmıştır. Her bir uzmanın çalıştığı işletme ağırlıklı olarak belli bir sektöre yönelik üretim yapmaktadır. Uzman K1'in işletmesi sağlık, K2 ve K3'ün işletmesi makine yedek parça sektörleri için 3D baskı teknolojisi ile üretim yapmaktadır. Görüşler, aşağıdaki araştırma soruları çerçevesinde elde edilmiştir:

1. 4D baskının tedarik zinciri süreçlerine yönelik avantajları ve dezavantajları hakkındaki görüşleriniz nelerdir?
2. 4D baskının tedarik zinciri yönetimine yönelik bugünkü ve gelecekteki etkileri nelerdir?
3. 4D baskının tedarik zinciri süreçlerinde kullanımının yaygınlaştırılması nasıl sağlanabilir?

Derinlemesine mülakatta, mülakat yapılan kişiler mümkün olduğunca düşündüklerini açıkça ifade etmeye teşvik edilmiş [30], bunun için her sorunun kapsamı detaylandırılarak mülakat yapılmıştır.

## VI. BULGULAR

Bu bölümde, araştırma soruları kapsamında yapılan mülakatlar sonucunda uzman görüşleri yazılı olarak aktarılmış ve görüşler sonucunda değerlendirmeye alınan kriterlere yönelik elde edilen bulgular tablolar içinde gösterilmiştir.

### *A. 4D BASKININ TEDARİK ZİNCİRİ SÜREÇLERİNE YÖNELİK AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI*

4D baskının tedarik zinciri süreçlerine yönelik avantajları ve dezavantajları ile ilgili öne çıkan görüşler aşağıda sıralanmakta ve değerlendirme kriterleri çerçevesinde Tablo 1'de verilmektedir.

K1: 4D baskı teknoloji ile ilgili gerekli yatırımların yapılması için katlanılacak maliyetler, bu teknoloji ile üretilen ürünün ortaya çıkardığı katma değerle karşılaştırıldığında düşük kalacaktır ve böylelikle üretim maliyetleri azalacaktır. Bununla birlikte üretim sürecinde kullanılmakta olan, akıllı malzemelerden üretilmiş bir makine/teçhizatın yıpranma süresi yavaş olabileceğinden işletim maliyetleri de düşecektir. 3D baskıda ürünler talebin ihtiyaçlarına uygun şekilde özelleştirilirken, 4D ile ürünler aynı zamanda ortam koşullarına da uygun şekilde özelleştirilebilecektir. Bu sayede çevre koşullarına dayanıklı olan ürünlerin üretilmesi ile birlikte kurulum öncesinde düşük hacimli muhafaza edilebilecek ürünler sayesinde taşıma ve depolama süreçlerinde daha fazla ürüne işlem yapılabilecektir. Diğer taraftan akıllı malzemelerin fiyatı diğer malzemelere göre çok daha yüksek olacaktır ve bu durum kullanımının yaygınlaşması açısından bir dezavantaj ortaya çıkaracaktır. Üretim yapmak için kullanılan malzemelerin belli bir kısmı için çok sayıda tedarikçi alternatifi bulunurken bir kısmı için ise tedarikçisi az sayıdadır. Akıllı malzemelerin tedarikinde gecikme yaşanmaması için birden fazla alternatif tedarikçiyle çalışılması önemlidir. Çünkü tedarik sürecinde gecikme yaşandığı takdirde satış gelirlerinin düşmesine neden olabilecektir.

K2: 4D baskıda avantaj sağlayan en temel faktör malzemeye hafıza katılmasıdır. Örneğin kübik şekilde bir ürün yatay olarak üretilecek, depolanacak ve taşınacaktır. Daha sonra son kullanıcıya teslim edildiğinde kurulum talimatlarındaki adımlar izlenerek ürün kendi kendini kuracak ve kübik hacimli şeklini kullanım alanında alacaktır. Malzemeye hafıza katılması tedarik zincirinin taşıma ve depolama süreçlerinde alan kullanımını azaltacağından, aynı anda daha fazla ürünün taşınması ve depolanması sağlanacağından maliyetleri azaltacaktır. Bunlarla birlikte günümüzde 3D baskı sürecinin seri üretim sürecine göre daha uzun sürdüğü düşünüldüğünde 4D baskı sürecinin de en büyük dezavantajı üretim sürecinin uzunluğu olacaktır. Üretim sürecinin uzunluğundan dolayı satınalma ve tedarik sürelerinin doğru tahmin edilmesi gecikme yaşanmaması ve üretimin yavaşlamaması açısından önem taşımaktadır.

K3: Bir ürünün hafızalı moleküllerden oluşan parçalarının dayanıklılığı diğer parçalara göre çok daha üst seviyede olacağından, kullanıma bağlı yıpranma süreleri uzayacaktır ve yedek parça üretmeye, taşımaya, depolamaya ya da tedarik etmeye yönelik iş süreçlerini azaltacaktır. Bu durum daha az iş sürecine neden olacağından çalışan verimliliğini arttıracaktır. Bir de Sanayi 4.0 kapsamında üretim



araç gereçleri akıllanırken, malzemelerin de akıllanması sonucunda üretim sürecinde emeğe olan ihtiyaç azalacaktır. Bu durum işletmenin verimliliğini olumlu yönde etkilerken, insanı olumsuz yönde etkileyecektir. Akıllı malzemelerin dayanıklılığı nedeniyle kullanım maliyeti düşecektir. Ürünlerinde bu malzemeleri kullanan işletmeler, rakipleri karşısında daha dayanıklı ürünler ve daha fazla garanti süresi sunmalarıyla müşterilerde güven uyandırarak satışlarını arttırabilecektir. Tüm bu avantajların yanında akıllı malzemelerin ilk satınalma maliyetlerinin yüksek olma ihtimali dezavantaj olarak gösterilebilir.

**Tablo 1.** 4D baskının tedarik zinciri süreçlerine yönelik avantajları ve dezavantajları

Uzman	Avantajlar			Dezavantajlar		
	Etkilenecek Tedarik Zinciri Süreci	Etki	Açıklama	Etkilenecek Tedarik Zinciri Süreci	Etki	Açıklama
K1	Üretim	Maliyetin düşmesi	Düşük sermaye yatırımları ve işletim maliyetleri	Satınalma	Maliyetin artması	Akıllı malzeme fiyatlarının yüksek olacağı beklentisi
	Taşıma ve Depolama	Maliyetin düşmesi	Düşük hacimli ürünler	Tedarik	Satış gelirlerinin düşmesi	Malzeme tedarikinde gecikme yaşanması durumunda ortaya çıkacaktır
K2	Taşıma ve Depolama	Maliyetin düşmesi	Hafızalı malzemelerin düşük hacimli yer tutması	Üretim	Sürecin uzun olması	Seri üretime göre 4D baskı üretimi süresinin daha fazla olacağı tahmin edilmektedir
				Satınalma ve Tedarik	Üretimin yavaşlaması	Satınalma ve tedarik sürelerinde gecikme
K3	Üretim, Taşıma, Depolama, Tedarik	Çalışan verimliliği	İş süreçlerinin azalması ve aynı işi yapmak için daha az çalışmaya gerek duyulması	Satınalma ve Üretim	Maliyetin artması	İlk satınalma maliyetinin yüksek olması
	Üretim	Karlılık ve rekabet	Üretimde akıllı malzeme kullanan işletmeler, rakiplerine göre daha dayanıklı ürünler sunarak satışlarını arttırabilecektir			

## B. 4D BASKININ TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNE YÖNELİK BUGÜNKÜ VE GELECEKTEKİ ETKİLERİ

4D baskının tedarik zinciri yönetimine yönelik bugünkü ve gelecekteki etkileri ile ilgili öne çıkan görüşler aşağıda sıralanmakta ve değerlendirme kriterleri çerçevesinde Tablo 2'de verilmektedir.

K1: Günümüzde bu teknoloji yaygın kullanılmadığı için tedarik zinciri yönetimine yönelik fark edilebilir bir etkisi bulunmamaktadır. Gelecekte akıllı malzemelerin yaygınlaşması, 4D baskı makine ve yazılımlarında gelişmeler yaşanması sonucunda üretim hızında artış sağlanabilir.

K2: Bugün 4D baskı ancak bilim insanları tarafından ya da bazı küresel işletmelerin Ar-Ge bölümlerinde yapılan deneysel çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle tedarik zinciri yönetimine etkisi için daha emekleme aşamasındadır bile diyemeyiz. Bununla birlikte dünyada bilimsel araştırmalar hız kesmeden devam etmektedir. Nesnelerin interneti, yapay zeka vb. teknolojilerde hızlı adımlar atılmaktadır. Bir gün akıllı malzemeler konusunda yapılan çalışmalar da hız kazanacaktır. O

zaman bugünkünden farklı yeni bir tedarik zinciri yönetim süreci tasarlanacak, zincir üyelerinin rolleri değişebilecektir.

K3: 4D baskının bugünkü tedarik zinciri ağına bir katkısı bulunmamaktadır. İlerleyen yıllarda öncelikle 3D baskılarda yaşanan gelişmeler görülecektir. Kişiye özel üretimde hızın arttığı maliyetlerin düştüğü bir dönüm noktası yaratacak şekilde 4D baskı kullanımının yaygınlaşması ve malzemelerin akıllı olması belki de yeni bir sanayi devrimi olarak gerçekleşecektir.

**Tablo 2.** 4D baskının tedarik zinciri yönetimine yönelik bugünkü ve gelecekteki etkileri

Uzman	Bugünkü Etkiler			Gelecekteki Etkiler		
	Etkilenecek Tedarik Zinciri Süreci	Etki	Açıklama	Etkilenecek Tedarik Zinciri Süreci	Etki	Açıklama
K1	Üretim, Taşıma, Depolama, Tedarik ve Satınalma	Fark edilebilir bir etkisi yoktur	4D baskının günümüzde yaygın kullanılmaması	Üretim	Hızın artması	4D baskı makine ve yazılımlarında gelişmeler yaşanması sonucunda
K2	Üretim, Taşıma, Depolama, Tedarik ve Satınalma	Fark edilebilir bir etkisi yoktur	4D baskının günümüzde yaygın kullanılmaması	Üretim, Taşıma, Depolama, Tedarik ve Satınalma	Tüm süreçler yeniden tasarlanacak	Akıllı malzeme çeşitlerinde yaşanan gelişmeler sonucunda zincir üyelerinin rolleri değişebilecektir
K3	Üretim, Taşıma, Depolama, Tedarik ve Satınalma	Fark edilebilir bir etkisi yoktur	4D baskının günümüzde yaygın kullanılmaması	Üretim	Kişiye özel üretimde hız artışı maliyet düşüşü	4D baskı ve akıllı malzeme kullanımının yaygınlaşması

Bir gün akıllı malzemeler konusunda yapılan çalışmalar da hız kazanacaktır. O zaman bugünkünden farklı yeni bir tedarik zinciri yönetim süreci tasarlanacak, zincir üyelerinin rolleri değişebilecektir.

### **C. 4D BASKININ TEDARİK ZİNCİRİ SÜREÇLERİNDE KULLANIMININ YAYGINLAŞTIRILMASI**

4D baskının tedarik zinciri süreçlerinde kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik görüşler aşağıda sıralanmakta ve değerlendirme kriterleri çerçevesinde Tablo 3'de verilmektedir.

K1: Günümüzde 3D baskı üreticiler tarafından pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. 4D baskı kullanımının yaygınlaşması için akıllı malzeme türlerinin çeşitliliği açısından gelişmeler yaşanması gerekmektedir. Örneğin 3D baskı makinelerinde kullanılan sarf malzemelerin hem temini kolay hem de maliyeti düşüktür. Fakat aynı durumu 4D baskı makineleri için yakın gelecekte söyleyemeyiz. 4D baskının yaygınlaştırılmasında önem arz eden bir diğer konu da 4D baskı makinelerinde kullanılacak doğru yazılımın geliştirilmesi gerekliliğidir.

K2: 3D baskının gelişmesi ve yaygınlaşmasındaki en büyük etki insanların kişiselleştirme ihtiyacıdır. 4D baskının yaygınlaştırılmasında da en büyük etkiyi güvenlik, emniyet, alan tasarrufu, maliyet minimizasyonu vb. nedenlerden dolayı insanlar tarafından bu teknolojiye oluşacak yoğun talep neden olacaktır.

K3: 4D baskı teknolojisinin yaygın olarak kullanılabilmesi için akıllı malzeme olarak yeni malzemelerin ortaya çıkartılması gerekmektedir. İlk olarak 3D baskıda kullanılan esnek malzemelerin yerine geçebilecek akıllı malzemeler üretilebilir. Bununla birlikte mukavemet gerektiren işler için akıllı malzemeler üretilebilirse bu teknoloji pek çok alanda kullanılabilir.

**Tablo 3.** 4D baskının tedarik zinciri süreçlerinde kullanımının yaygınlaştırılması

Uzman	Kullanımı Nasıl Yaygınlaştırılır		
	Etkilenecek Tedarik Zinciri Süreci	Etki	Açıklama
K1	Üretim	Tedarik zinciri süreçleri içinde öncelikle üretimde kullanımı yaygınlaşacaktır	Akıllı malzeme çeşitlerinin artması ve 4D baskı makinelerinin geliştirilmesi
K2	Üretim	Tedarik zinciri süreçleri içinde öncelikle üretimde kullanımı yaygınlaşacaktır	İnsanların 4D baskı ile üretilen ürünlere yönelik talebinin artması
K3	Üretim	Tedarik zinciri süreçleri içinde öncelikle üretimde kullanımı yaygınlaşacaktır	Akıllı malzeme çeşitlerinin artması

## IV. SONUÇ

Tedarik zinciri yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak ürün ya da hizmeti kaynağından tüketim noktasına kadar akış içinde en kısa zamanda ve en düşük maliyetle ulaştırılmayı amaçlamaktadır. Günümüzde bilgi-iletişim teknolojileri kullanımı bu amacın gerçekleştirilmesine etki eden en önemli faktörler arasındadır. Sanayi 4.0 ile üretim, taşıma, depolama, tedarik ve satınalma süreçlerinde verimliliği arttırmaya yönelik pek çok yazılım ve donanım kullanılmaktadır. Bunlardan biri de kişiye özel üretim imkanı sağlayan 3D baskı teknolojisidir. Bu teknoloji ile bilgisayarda yapılan üç boyutlu çizimler ürüne dönüştürülmektedir. Müşterilerin bireysel ihtiyaçlarına cevap verilmekte, üretimi karmaşık olan ürünler üretilmekte, zaman ve emek tasarrufu sağlanmakta, üretim maliyetleri düşürülmektedir.

Üretim sürecinde akıllı malzemelerin yer aldığı 4D baskı teknolojisinin kullanımıyla tedarik zinciri maliyetlerinin daha da aşağıya çekilmesi ve zincirin verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak Sanayi 4.0, 3D baskı ve 4D baskının tedarik zinciri yönetimine yönelik olumlu etkilerine değinilmektedir. Bu çalışma kapsamında tedarik zinciri yönetiminin üretim, taşıma, depolama, tedarik ve satın alma süreçlerine yönelik olumlu etkileriyle birlikte olumsuz etkilerine de değinilmiştir ve bu etkiler Tablo 4' te gösterilmektedir.

**Tablo 4.** 4D Baskının Tedarik Zinciri Yönetimine Etkileri

Araştırma Sonucunda Elde Edilen Olumlu Etkiler	Araştırma Sonucunda Elde Edilen Olumsuz Etkiler
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyet Tasarrufu</li> <li>• Hız</li> <li>• Karlılık</li> <li>• Rekabet</li> <li>• Çalışan Verimliliği</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyet Artışı</li> <li>• Karlılıkta Azalma (Satış gelirlerinin düşmesi)</li> <li>• Hızın Azalması (Sürecin uzun olması ve üretimin yavaşlaması)</li> </ul>

4D baskı kullanımının tedarik zinciri yönetimine yönelik etkileri mülakat yapılan uzman görüşleri ve literatür taramasından elde edilen bilgiler birlikte dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre olumlu etkiler maliyet tasarrufu sağlanması, hızın, karlılığın, çalışan verimliliğinin artması ve üretimde daha yüksek standartlaşmaya yönelik rekabet ortamının sağlanması olarak sıralanabilmektedir. Yatırım ve işletim maliyetlerinin düşeceği beklentisi üretim maliyetlerini azaltarak, ürünlerin kurulumdan önce düşük hacimli olarak muhafaza edilebilmesi taşıma ve depolama maliyetlerini azaltarak maliyet tasarrufu sağlanması beklenmektedir. 4D baskı makine ve yazılımlarında gelişmeler yaşanması sonucunda üretim hızında artış sağlanacağı öngörülmektedir. Üretimde akıllı malzeme kullanan işletmeler, rakiplerine göre daha dayanıklı ürünler sunarak satışlarını arttırabilecektir. Bu durum karlılığın artmasını sağlarken aynı zamanda rekabeti de özendirilebilecektir. Yapılan görüşmelerde iş süreçlerinin ve emeğe olan ihtiyacın azalmasıyla çalışan verimliliğinin artacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte önceki çalışmalarda çalışan verimliliği, işletme içi eğitim sürelerinin kısaltılarak çalışma hızının artması olarak yer almaktadır.

4D baskının tedarik zinciri yönetimine olumsuz etkileri, maliyet artışı, karlılığın ve hızın azalması olarak sıralanmaktadır. Akıllı malzeme fiyatlarının yüksek olma olasılığı, üretime yönelik ilk satınalma maliyetlerini arttırabilecektir. Malzeme tedarikinde olası bir gecikme yaşanması, satış gelirlerinin ve karlılığın düşmesine neden olabilecektir. Seri üretime göre 4D baskı üretim hızının daha yavaş olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, 4D baskı yaygınlaşmadığı için tedarik zinciri yönetimine yönelik günümüzde fark edilebilir bir etkisi görülmemektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için akıllı malzeme çeşitlerinin artması ve kullanımlarının yaygınlaşması, 4D baskı yapacak makinelerin yazılımsal ve donanımsal açıdan geliştirilmesi, baskı süresinin düşürülmesi, akıllı malzeme fiyatlarının uygun seviyede olması gerekmektedir.

Konu hakkındaki değerlendirmeler, literatür taraması sonuçları ve mülakat yapılan uzmanların çalışma alanları çerçevesinde ele alınmıştır. Etkilerin değerini ve oranını sayısal olarak ölçmeye yönelik veriler elde edilememiştir. Bu nedenle ortaya çıkan sonuçları desteklemeye yönelik gelecekte nicel analiz yöntemleri kullanılarak yapılacak araştırmalar önem arz etmektedir.

## V. KAYNAKLAR

- [1] J. W. O'Brien, T. C. Formoso, R. Vrijhoef and A.K. London, '*Construction Supply Chain Management Handbook*, Boca Raton, United States: CRC Press, 2009, ch. 2, pp. 2.1-2.28.
- [2] J. D. Bowersox, J.D. Closs and B.M. Cooper, '*Supply Chain Logistics Management*, 2nd ed., New York, United States: Mc Graw Hill Press, 2002, ch. 1, pp. 1-30.
- [3] A. Rushton and S. Walker, '*International Logistics and Supply Chain Outsourcing From Local to Global*, London, United Kingdom: Kogan Page Press, 2007, pp. 1-15.
- [4] M. Hugos, '*Essentials of Supply Chain Management*, New Jersey, United States: John Wiley & Sons Inc., 2003, ch. 1, pp. 1-42.
- [5] M. Erdal, '*Satın alma ve Tedarik Zinciri Yönetimi*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Beta Yayınları, 2014, böl. 4, ss. 239-292.

- [6] R. Basu and N. Wright, *Total Supply Chain Management*, Oxford, United Kingdom: Elsevier Press, 2008, ch. 1, pp. 1-46.
- [7] L. P. Steenkamp, C. I. Ras, G. A. Oosthuizen and K. H. von Leipzig, "Emerging Synthesis of Social Manufacturing," *International Conference on Competitive Manufacturing*, Stellenbosch, South Africa, 2016, pp. 559-564.
- [8] A. F. Özsoylu, "Endüstri 4.0," *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 41-64, 2017.
- [9] N. Szozda, "Industry 4.0 and Its Impact on the Functioning of Supply Chains," *Scientific Journal of Logistics*, vol. 13, no. 4, pp. 401-414, 2017.
- [10] A. H. Glas and F. C. Kleemann, "The Impact of Industry 4.0 on Procurement and Supply Management: A Conceptual and Qualitative Analysis," *International Journal of Business and Management Invention*, vol. 5, no. 6, pp. 55-66, 2016.
- [11] M. Henke and A.T. Schulte, "Einkauf und die 4. Industrielle Revolution," *Beschaffung Aktuell*, vol. 62, no. 3, pp. 20-21, 2015.
- [12] B. Tjahjono, A. Enrique and G. C. Pelaez, "What Does Industry 4.0 Mean to Supply Chain," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1175-1182, 2017.
- [13] H. C. Pfohl, B. Yahsi and T. Kurnaz, "The Impact of Industry 4.0 on the Supply Chain," *Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, Hamburg, Germany, 2015, pp. 31-58.
- [14] W. Lehmacher, F. Betti, P. Beecher, C. Grotemeier and M. Lorenzen, "Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains," World Economic Forum, Geneva, Switzerland, REF 061117-00035015, 2017.
- [15] R. Love, "If we sit back on this, Germany will gobble us up," *Works Management*, vol. 68, no. 10, pp. 16-19, 2015.
- [16] R. Recknagel. (2017, December 14). [Online]. Available: [http://www.tusayder.org/wp-content/uploads/2017/08/Flexis\\_SC\\_Industry40.pdf](http://www.tusayder.org/wp-content/uploads/2017/08/Flexis_SC_Industry40.pdf)
- [17] I. Gibson, R. David and S. Brent, *Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, New York, United States: Springer Press, 2015, pp. 1-18.
- [18] C. K. Chua and F. K. Leong, *3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications*, 4th ed., Singapore: World Scientific Press, 2015, ch. 1, pp.1-18.
- [19] S. Tibbits, C. McKnelly, C. Olguin, D. Dikovsky and S. Hirsch, "4D Printing and Universal Transformation," *ACADIA Design Agency Conference*, Los Angeles, United States, 2014, pp. 539-548.
- [20] X. Li, J. Shang and Z. Wang, "Intelligent materials: a review of applications in 4D printing," *Assembly Automation*, vol. 37, no. 2, pp. 170-185, 2017.

- [21] K. S. Leist and J. Zhou, "Current status of 4D printing technology and the potential of light-reactive smart materials as 4D printable materials," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 11, no. 4, pp. 249-262, 2016.
- [22] A. V. Orhon, "Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı," VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Edirne, Türkiye, 2013, ss. 297-304.
- [23] T. A. Campbell, S. Tibbits and B. Garret. (2017, November 30). [Online]. Available: [https://www.files.ethz.ch/isn/182356/The\\_Next\\_Wave\\_4D\\_Printing\\_Programming\\_the\\_Material\\_World.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/182356/The_Next_Wave_4D_Printing_Programming_the_Material_World.pdf)
- [24] L. Kubáč, "3d Printing In Logistics," *Acta Logistica Moravica Periodický Internetový Časopis V Oboru Logistiky*, vol. 7, no. 1, pp. 8-15, 2017.
- [25] E. Pei and G. H. Loh, "Technological considerations for 4D printing: an overview," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 3, no. 1-2, pp. 95-107, 2018.
- [26] A. Güler, M. B. Halıcıoğlu ve S. Taşğın, *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2015, böl. 1, ss. 1-38.
- [27] F. Bozkurt ve A. Ergen, "Pazarlama İletişiminde Yeni Bir Mobil Pazarlama Aracı: 2 Boyutlu Barkodlar," *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 43-64, 2012.
- [28] N. Malhotra, *Marketing Research An Applied Orientation*, 6th ed., London, United Kingdom: Pearson Press, 2010, ch. 5, pp.168-207.
- [29] R. Coşkun, R. Altunışık ve E. Yıldırım, *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı*, 9. baskı, Sakarya, Türkiye: Sakarya Yayıncılık, 2017, böl. 4, ss.81-116.
- [30] E. Gegez, *Pazarlama Araştırmaları*, İstanbul, Türkiye: Beta Yayınları, 2007, böl. 3, ss. 49-68.