

## DERLEME MAKALE (Review Article)

Şeyma Erener<sup>1</sup>,  
Orcid: 0000-0003-2309-5519

Serkan Boz<sup>2</sup>,  
Orcid: 0000-0001-2989-1105

<sup>1</sup>Interior Architect, Ege University, Graduate Faculty of Social Science, Department of Industrial Design, Industrial Design Culture and Applications, İzmir, Turkey

<sup>2</sup>Asst.Prof.Dr., Ege University, Faculty of Fashion Design, Department of Fashion Design, İzmir, Turkey

### Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Serkan BOZ  
bozserkan@gmail.com

### Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0, Eklemeli Üretim Yöntemi, 3B Baskı, 3B Yazıcı

### Keywords:

Industry 4.0, Additive Manufacturing, 3D Printing, 3D Printer

## Modern Üretim Tekniklerinde Eklemeli İmalat Sistemlerinin Yeri ve Kullanım Alanları

Situation and Usage Areas of Additive Manufacturing Systems in Modern Production Techniques

Alınış (Received): 29.01.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 26.02.2021

### ÖZ

Tarihsel süreçte üretim sistemlerine şekil veren birçok değişiklik meydana gelmiştir. Elektriğin seri üretimde kullanılmasıyla başlayan teknoloji çağında, makineleşme üretim teknolojilerinin gelişimini hızlandırmıştır. Sanayileşmede yaşanan bir dizi yenilik endüstride yeni kavramların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Üretim bandına akıllı sistemler dahil edilerek, bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinin imalat sisteminde denemeye başlanması Endüstri 4.0 kavramının temellerini oluşturmuştur. Endüstri 4.0, prensipte cihazlar arasındaki veri akışının sağlandığı bilgisayar destekli ileri teknoloji stratejilerini kapsayarak, üretim yöntemlerinde maksimum verimliliği hedefleyen eklemeli imalat sistemlerini odağına almaktadır.

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemlerine genel bir bakış sunularak 3 Boyutlu yazıcıların çalışma prensipleri ve uygulama teknikleri hakkında bilgiler verilmektedir. 3 Boyutlu baskı sistemlerinin genel kullanım alanlarına değinerek, bireylerin temel yaşam ihtiyaçlarını karşılayan sektörlerde yapılan çalışmalardan örnekler ele alınarak incelenmiştir.

### ABSTRACT

In the historical process, many changes have occurred that shape the production systems. Mechanization, which started with the use of electricity in mass production, has accelerated the development of production technologies. A series of innovations in industrialization has created new concepts in the industry. The inclusion of smart systems in the production line and the introduction of computer-aided design methods in the manufacturing system has formed the basis of the Industry 4.0 concept. In principle, Industry 4.0 focuses on additive manufacturing systems which aim maximum efficiency in production methods by covering computer-aided advanced technology strategies that provide data flow between devices.

In this study, an overview of additive manufacturing methods is presented, information is given about the printing principles and application techniques of 3D printers. Referring to the general usage areas of 3D printing systems, the samples obtained from the studies conducted in the sectors where the basic life needs of individuals are met were examined.

**Kaynak Gösterimi:** Erener Ş., Boz S., 2021. "Modern Üretim Tekniklerinde Eklemeli İmalat Sistemlerinin Yeri ve Kullanım Alanları", TJFDM, 2021, 3 (1): 47-56

**How to cite:** Erener Ş., Boz S., 2021. "Situation and Usage Areas of Additive Manufacturing Systems in Modern Production Techniques", TJFDM, 2021, 3 (1): 47-56

## 1. GİRİŞ

Dünya tarihinde toplumların yaşamını etkileyen sayılı değişiklikler meydana gelmiştir. Tarihsel süreç içerisinde, bireylerin yaşantısındaki en önemli kırılma noktalarından birini yaratan dönem şüphesiz sanayi devrimiyle başlamıştır. Fabrikalarda kullanılan buharlı makinelerle başlayan ilk sanayi devrimi, elektriğin kullanımıyla seri üretime geçişin ortaya çıkardığı makineleşmenin giderek önem kazandığı 2. ve 3. Sanayi devrimini tetiklemiştir. Demir yollarının yaygınlaşmasıyla ulaşım ağları gelişerek nihai ürünlerin yeni pazarlara girişi ve hammadde temini kolaylık kazanmıştır. Teknoloji devrimi olarak da tanımlanan bu dönemde yapılan buluşlarla desteklenen yeni makinalar üretim sistemini organize etmeyi sağlamıştır (Özsoylu, 2017). Gelişen teknolojiyle sanayileşme hız kazanarak hacmini genişletmiştir. Doğal kaynak kullanımını artmış, gelişmemiş ülkelerdeki üretim maliyetlerinin düşüklüğü batılı ülkelerin ekonomisini sarsmaya başlamıştır. Endüstrideki sorunların giderek büyümesiyle yeni bir kavram arayışı ortaya çıkmıştır. Bu arayış 4. Sanayi devrimini tetikleyerek endüstrinin günümüzden geleceğe uzanan değişimini başlatmıştır (Özsoylu, 2017).

Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan 4. Sanayi devrimi, günümüz teknolojisinin getirisi olan internetin bağlantı gücünü kullanarak üretim süreçlerini akıllı sistemlere adapte etmeyi amaçlamaktadır. Almanya'nın 2009 Finans Krizi sonrasında imalat alanında, Çin'in ucuz işçiliğe bağlı düşük üretim maliyetleri karşısında rekabet gücünü yeniden kazanmak için, yenilikçi, hata payı azaltılmış ve insan gücü gerektirmeyen yeni bir üretim modeli üzerinde çalışmasıyla Endüstri 4.0'ın ilk temelleri atılmıştır. 2011 yılında Almanya'da düzenlenen Hannover Fuarı'nda ortaya çıkan bu kavram fiziksel ve sanal dünyayı birleştirerek, nesnelerin ve hizmetlerin internetinin üretime dahil edilmesini içermektedir. (Özenir ve Nakıboğlu, 2019). Kavramın üretim vizyonu, modüler ve verimli inşa metotlarıyla ürünlerin kendi oluşum süreçlerini denetlediği senaryolara dayanmaktadır (Lasi vd., 2014).

Endüstri 4.0 küresel pazardaki şirketlerin; hammadde tedarikçileri, fabrikaları, dağıtımçıları ve müşterileri arasındaki sistematik iletişim ağını kurmayı amaçlar. Sistem değer ağları üzerinden dijital entegrasyon sağlayan ağ bağlantılı üretim yöntemi oluşturmayı hedeflemektedir (Carvalho vd., 2018). Mühendislik süreçlerinde kullanılan uçtan uca dikey ve yatay entegrasyon, iletişim otomasyonunda standart süreçlerin iş birliğini sağlamaktadır (Erol vd., 2016). Bu endüstrinin üretim modelinde sensör ve aktörlerin bulunduğu otonom makinalarla çevrili eklemeli üretim, endüstriyel internet simülasyon, bulut ve siber güvenlik, büyük veri, yatay dikey entegrasyon ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı akıllı fabrikalar bulunmaktadır (Cordes ve Stacey, 2017). Birbirine bağlı sistemler nesnelerin interneti sayesinde aralarında yaptıkları bilgi alışverişiyle olası arızaları öngörerek önlemektedir. Ayrıca kullanılan eklemeli üretim sistemleriyle tasarımcıya ürünün oluşum sürecinde anında revize imkanı sağlamaktadır. Var olan üretim sistemlerinin iyileştirilmesinin ön plan da olduğu Endüstri 4.0'da kullanılan eklemeli üretim yöntemlerinin içeriği, sağladığı fayda açısından oldukça önemlidir. Geliştirilen 3 Boyutlu baskı teknolojileri geleceğin üretim modelinin kilit noktası olarak görülmektedir. 3 Boyutlu yazıcılar günümüzde tıp, uzay ve havacılık, kalıpcılık, otomotiv, dişçilik, askeri donanım, mimari, kişisel araç-gereç, heykeltçilik, kuyumculuk, eğitim, moda, gıda ve endüstriyel tasarım alanında prototip, kalıp, nihai ürün ya da yedek parça üretim amacıyla

kullanılmaktadır (Özsoy ve Duman, 2017). Her geçen gün değişen teknolojiyle 3 Boyutlu baskı teknolojisinin kullanılacağı sektörler giderek çoğalmaktadır.

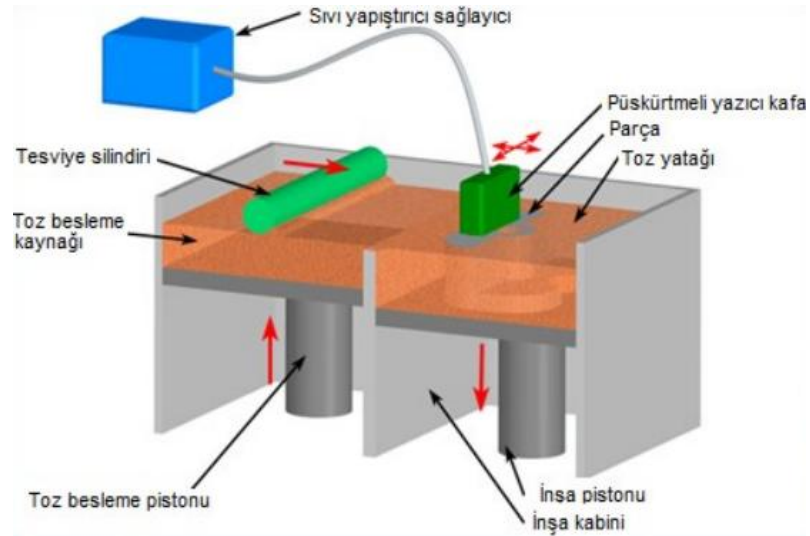
## 2. EKLEMELİ İMALAT (3 BOYUTLU BASKI)

Endüstri 4.0.'ın getirisi olan eklemeli imalat modeli eski üretim yöntemlerine yenilikçi bir bakış açısı kazandırmaktadır. Eklemeli imalat, bir ürünün sanal ortamda 3 Boyutlu geometrik verileri hazırlandıktan sonra çizim dosyasının bilgisayar ortamından belirli formatlarla alınarak yazıcıya yüklenmesiyle oluşturulmaktadır. 3 Boyutlu yazıcıya tanımlanan veriler sayesinde makine, kullanacağı malzemeyi ısıtıp eriterek birbiri ardına katmanlı bir yapı haline getirmektedir (Özsoy ve Duman, 2017).

3 Boyutlu üretim teknolojileri kullanıldığı sektörler bakımından farklı özellikler içermektedir. Basılacak ürünün yapısal özelliği ve fonksiyonu doğrultusunda 3 Boyutlu yazıcıların baskı kaliteleri, boyutsal ve yapısal donanımları değişiklik göstermektedir. Kişisel kullanıma uygun yazıcıların (masa üstü) boyları küçüktür ve hobi amaçlı kullanıma uygun tasarlanmıştır. Ticari amaçlı kullanıma uygun üretilmiş yazıcıların boyları daha büyük ve baskı kaliteleri yüksektir. (Groth, vd. 2014).

### 2.1. Boyutlu Yazıcı

3 Boyutlu yazıcı ABD' de Massachussets Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiştir. Bu cihazlar, toz, sıvı veya katı halde bulunan malzemelerin işlenerek ürün meydana getirmesini sağlamaktadır. Bilgisayar ortamında oluşturulan bir modelin verilerinin, belirli formatlarla yazıcıya yüklenerek basılmasıyla ürün oluşturmayı hedeflemektedir. 3 Boyutlu yazıcıların çalışma mantığı mürekkep püskürtmeli yazıcılarla benzerlik göstermektedir. İmalat işleminde çok ağızlı bir nozul yapııştırıcı püskürterek kullanılan tozu birbirine bağlamaktadır. Basım işlemi biten ürünün etrafını çevreleyen destek tozları/saçakları vakum, fırça veya el ile temizlenmektedir. Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre değişiklik gösteren işlemler olsa da 3 Boyutlu yazıcının basit çalışma prensibi Şekil 1.'de, imal edilen ürün örnekleri Şekil 2.'de sunulmuştur.



Şekil 1. 3 Boyutlu yazıcı sisteminin görsel anlatımı (Anonim 2019)  
Figure 1. 3 Dimensional printing system (Anonim 2019)



Şekil 2. 3 Boyutlu yazıcı imalatı ürünlerin görseli  
*Figure 2. 3 Dimensional printing products*

3 Boyutlu yazıcıların çalışma prensipleri temelde benzerlik göstermekte ancak kullanım alanı ve amacına göre materyal ve yöntemler farklılıklar gösterebilmektedir. 3 Boyutlu yazıcıların farklı materyal ve yöntem uygulamaları;

- Stereolitografi (SLA),
- Katı Zemin Kürleme (SGC),
- Lamine Nesne İmalatı (LOM),
- Eriyik Yığarak Modelleme (FDM),
- Çok Jetli (Polyjet-Multijet) Modelleme (MJF),
- Seçmeli Lazer Sinterleme ve Ergitme (SLS/SLE),
- Elektron Işınli Ergitme (EBM) olarak sınıflandırılmaktadır.

## 2.2. Eklemeli İmalat Yönteminin Kullanım Alanları

Endüstri 4.0 kavramıyla temelleri atılan eklemeli imalat yöntemleri, günümüz teknolojisiyle gelişip yaygınlaşarak, tıp, uzay ve havacılık, kalıpcılık, otomotiv, dişçilik, askeri donanım, mimari, kişisel araç-gereç, heykeltçilik, kuyumculuk, eğitim ve gıda sektörlerinin üretim alanında kullanılmaktadır (Özsoy ve Duman, 2017). Üretimde, insana bağlı oluşan hatalardan kaynaklı artan imalat maliyetlerini düşürmek, tasarım sürecinde kullanılan prototip ve kalıp için harcanan vakti kontrol ederek azaltmak, üretim verimliliğini arttırmak vb. gibi amaçlarla pek çok sektörde ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır.

3 Boyutlu baskı teknolojisi, bilgisayar odaklı bir üretim tekniği olması sayesinde kullanıcıya masaüstü yazıcılarla kişiselleştirilebilir kullanım imkanı da sağlamaktadır. Kişiselleştirilmiş ürün ihtiyacını karşılamasıyla özellikle sağlık sektöründeki faaliyetlerin kalitesini artırmış, kişiye özel medikal ve dental implant üretimi, yapay organ ve canlı doku baskısı gibi hayati faaliyetleri destekleyici ürünlerin yapımını kolaylaştırmıştır. Bu bağlamda sağlık sektörü, 3 Boyutlu baskı sistemleri uygulamalarında son 15 yılda en büyük üçüncü pazar haline gelmiştir (Wohlers, 2012).

Bahsedilen sektörlerdeki üretim örnekleri Şekil 3., 4. ve 5.'te görsel olarak verilmektedir.



Şekil 3. Yapay organ üretimi (Saracco R., 2018).  
Figure 3. Bioartificial organ process (Saracco R., 2018)



Şekil 4. Dental implant üretimi (Anonim, 2021)  
Figure 4. Dental implant process



Şekil 5. 3B Medikal protez üretimi (McCue T. J., 2014)  
Figure 5. 3D printed medical implant (McCue T. J., 2014)



Küresel pazarda oldukça büyük bir hacme sahip moda sektöründe de eklemeli üretim teknikleri kullanımı görülebilmektedir. Doğal kaynak kullanımının çok yüksek olduğu bu sektörde 3 Boyutlu baskı teknolojilerinin yaygınlaşarak kullanılmasıyla tüketim minimuma indirilebileceği düşünülmektedir. Günümüzde pek çok yenilikçi tasarımcı koleksiyonlarında 3 Boyutlu imalat yöntemlerini kullanmaktadır. Vizyoner bir tasarımcı Iris Van Harpen koleksiyonlarının imalat yöntemlerinde 3 Boyutlu yazıcılardan yararlanmaktadır. Harpen ilk olarak 2010 yılında 3 Boyutlu baskı makinasıyla ürettiği “Crystallization” isimli koleksiyonunu Amsterdam Moda Haftasında tanıtmıştır. 2013 yılında “Danimarka, En İyi Tasarımcı” ödülünü alan Harpen çıkardığı koleksiyonlarda bu üretim tekniğinden sıkça faydalanmıştır (Yıldırım, 2016). Tasarımcının “Crystallization” koleksiyonundan seçilen örnek giysiler Şekil 6.’da gösterilmektedir.



*Şekil 6. 3B yazıcıdan basılan giysi örnekleri*  
*Figure 6. 3D printed cloth samples*

Gıda sektörü, imalat sanayinde oldukça öne çıkan alanlardan biridir. 3 Boyutlu yazıcılar; hedef kitleye bağlı olarak tüketicinin bireysel ihtiyaçlarına göre lif, protein, nişasta açısından zengin, sağlıklı ve kişiselleştirilmiş ürünler yapabilmek için gıda sektöründe de kullanılmaktadır. Bu yöntem gıda israfını azaltarak sürdürülebilir fayda sağlamaktadır. Kişisel isteğe göre tasarlanabilen farklı şekillerde ve özellikte çikolata, şekerleme, pasta, kurabiye, pizza, makarna vb. gibi daha birçok gıdanın üretiminde kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır (Aydın vd., 2019).

Ukraynalı mimar ve endüstriyel tasarımcı olan Dinara Kasko eklemeli üretim yöntemlerini kullanarak bilgisayar ortamında tasarladığı tatlıları 3 Boyutlu yazıcılar sayesinde üretmektedir. Pastacılık dünyasına yenilikçi bir bakış açısı kazandıran tasarımcı kullandığı bu yöntemle yaptığı her tatlının aynı şekil ve kalitede olmasını sağlamaktadır. Ayrıca ürünlerin reçetelerini ve silikon kalıplarını internet ortamında satarak evinde aynı tatlıyı yapmak isteyen kullanıcılara erişim imkanı tanımaktadır (Şekil 7.) (Anonim, 2016). Tasarımın görsel örneği Şekil 8.’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Tasarımcının kullanıcıya sunduğu paket içeriği  
Figure 7. Visual representation of the Package content



Şekil 8. 3 Boyutlu yazıcıdan basılan pasta süsü  
Figure 8. 3D printed cake decoration

Bireylerin barınma gibi temel ihtiyaçlarından doğan inşaat sektöründe, büyük yapı elemanlarının basılması ya da yapının tamamının inşasında eklemeli imalat yöntemleri kullanılabilir. Kamer Maker, Contour Crafting, Win Sun, D-shape cihazlarıyla inşaat ve mimari alanda 3 Boyutlu baskı yapılabilir. Türünün ilk örneği olan D-shape 2007 yılında icat edilmiştir. Lazer Sinterleme yöntemi (SLS) benzer prensiple çalışan cihaz ezilmiş dolomit kireçtaşı sağlam bir yapıya çevirerek inşa yapmaktadır. Sistem kum ve inorganik bağlayıcılar kullanarak basım işlemini gerçekleştirmektedir. Kamer Maker, Contour Crafting ve Win Sun sistemleri ise yazıcı kafadan püskürtülerek dökülen malzemeyle yapı oluşturmaktadır (Felek, 2019).

ICON mimari tasarım ve inşaat firması Vulcan ismini verdiği kontur oluşturma (Contour Crafting) yöntemiyle çalışan baskı cihazıyla yapılar oluşturmaktadır (Şekil 9.). Daha az iş gücü, maliyet ve süreyle bina oluşturma fikrinden yola çıkarak hareket eden firma, Amerika'nın Teksas eyaletindeki Austin şehrinde 27 saatten kısa bir sürede 500 metrekarelik bir alana evsizler

için köy inşa etmiştir (Şekil 10.). Yapının duvarları kullanılan yöntem gereği yığma katmanlardan oluşmaktadır (Şekil 10.). Normal bir evden çok daha düşük maliyete üretilen yapının, savaş ve afet bölgelerindeki sığınmacılar için kullanılması hedeflemektedir (ICON Team, 2019).



Şekil 9. Contour Crafting yönteminin şematik gösterimi (ICON Team, 2019)  
Figure 9. Visual representation of the Contour Crafting system (ICON Team, 2019)



Şekil 10. Vulcan yapımı ev görseli ve duvar detayı (ICON Team, 2019)  
Figure 10. Home visual made of Vulcan and wall detail (ICON Team, 2019)

### 3. SONUÇ

Seri üretimin getiriyle tüketim döngüsü kısalmış ve doğal kaynak kullanımı ciddi boyutlara ulaşmıştır. Ürün tasarım sürecinde kullanılan yöntemlerin, maliyetli, hata payı yüksek ve sürdürülebilirlikten uzak oluşu alternatif imalat sistemlerine zemin hazırlamıştır. Teknolojinin her geçen gün gelişmesi endüstride yeni bir devrim yaratarak akıllı yazılımlarla otonom robotların entegre çalıştığı bir sanayi düzeni olan Endüstri 4.0'ı ortaya çıkarmıştır. Endüstri 4.0'la birlikte ortaya çıkan üretim sistemlerinde eklemeli imalat yöntemlerinin kullanılması yaygınlaşmıştır.

Eklemeli imalat yöntemleri, bilgisayar destekli 3 Boyutlu baskı sistemiyle üretim sürecinde uygulanan prototip hazırlama, kalıp çıkarma ve nihai ürün oluşturma aşamalarının tümünü



gerçekleştirebilmektedir. 3 Boyutlu yazıcılar sayesinde bilgisayar ortamında hazırlanan tasarlanan parçalar, fonksiyonlarına uygun üretim tekniğiyle oluşturulmaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere uygulamanın farklı teknikleri bulunmaktadır ancak En yaygın kullanılan baskı teknikleri olarak, Stereolitografi (SLA), Ergiterek Yığılma ile Modelleme (FDM), Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS) ve Seçmeli Lazer Ergitme (SLE), Elektron Işınli Ergitme (EBM) yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak üretimin birçok farklı sektöründe üretim iyileştirilme çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Bireylerin temel ihtiyaçları olan yaşama, barınma, beslenme ve giyinme gibi kavramlardan ortaya çıkan sektörlerin küresel pazarda kapladıkları hacim azımsanamayacak seviyededir. Moda unsurunun da bu farklı üretim yöntemini artan oranda kullanacağı öngörülmektedir. Özellikle aksesuar ve giysi tasarımında prototip üretimleri, koleksiyon çalışmaları ve giysi üzerinde kullanılan yardımcı malzeme ve aksesuarların üretiminde 3 Boyutlu üretim teknolojilerinin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Eklemeli imalat sistemlerinin sağlık, inşaat, gıda ve giyim sektöründe kullanılması beraberinde bireylerin yaşam kalitesinde iyileşmeyi getirmektedir. Kişiselleştirilebilir ürün imkanı sunan 3 Boyutlu yazıcılar, sağlık alanında; medikal ve dental implant üretimi, yapay organ ve canlı doku baskısı gibi hayati faaliyetleri destekleyici parçaların üretimini sağlamıştır. 3 Boyutlu baskı teknolojisi gıda sektöründe hammadde israfını en aza indirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu teknoloji sayesinde büyük bir pazar hacmine sahip olan gıda endüstrisinin oluşturduğu çevre kirliliği azaltılarak birçok yönden iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Eklemeli imalat yöntemlerinin gelişmekte olduğu inşaat sektöründe, mimari yapıların oluşumundaki temel öğelerin eksilerini gidermek amacıyla, yapı üretiminde 3 Boyutlu baskı cihazları kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle konut sıkıntısı çeken ülkelerin, savaş ve afet gibi olaylar sonucunda, ortaya çıkan barınma ihtiyacına yönelik binalar üretilebilmektedir. Eski imalat yöntemleri kullanılarak oluşturulan yapıların, yüksek iş gücü gerektirerek uzun sürede tamamlanıyor olması üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bu teknoloji sayesinde kısa zamanda düşük maliyetli alanlar oluşturularak bireylerin barınma ihtiyacı karşılanabilecektir. 3 Boyutlu baskı teknolojilerinin sürdürülebilir bir yaklaşımla giyim alanındaki üretimde ve tüketimde hammadde kullanımını minimuma indirmeyi hedeflemektedir.

Modern üretim yöntemleriyle gelecekte tüm sektörlerde insanlar, nesnelere ve sistemleri birbirine bağlayan yeni bir imalat anlayışı benimsenecektir. Eklemeli üretim yöntemlerinin farklı alanlarda yeni malzeme ve metotlarla uygulanışı dünya kaynaklarının yenilenmesini sağlayacaktır. Geleceğin üretim teknolojisinin başlangıcı olan 3 Boyutlu yazıcının tarihsel yolculuğu, her geçen gün yapılan akademik çalışmalar ve öncü uygulamalarla gelişerek yeni teknolojilere dönüşecektir.

#### **4. KAYNAKÇA**

- Anonim, 2016. "Mimar Pastası", Arkitera, <https://www.arkitera.com/haber/mimar-pastasi/> Erişim Tarihi:21.02.2021
- Anonim, 2019. "Eklemeli İmalat Teknolojileri", Eklemeli imalat, <https://eklemeliimalat.net/eklemeli-imalat-teknolojileri-nelerdir/>, Erişim Tarihi:21.02.2021
- Anonim, 2021. "Dental Master Models for Restoration: Prosthetics and Implants", <https://www.prodways.com/en/industrial-segment/dental/dental-models-for-prosthetics-and-implants/> Erişim Tarihi: 26.02.2021

- Aydın H.Y., Kılıç A., Tekin A.R., 2019. “Geleneksel Türk Gıdalarının 3B Yazıcı ile Yazdırılması”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3(1), 1-10
- Carvalho N., Chaim O., Cazarini E., Gerolamo M., 2018. “Manufacturing in the Fourth Industrial Revolution: A Positive Prospect in Sustainable Manufacturing”. Procedia Manufacturing, 21, 671-678
- Cordes F., Stacey N., 2017. “Is UK Industry Ready for the Fourth Industrial Revolution”, The Boston Consulting Group: Boston, MA, USA <https://media-publications.bcg.com/Is-UK-Industry-Ready-for-the-Fourth-Industrial-Revolution.pdf>, Erişim Tarihi:19.02.2021
- Erol S., Jäger A., Hold P., Otta K., Sihn W., 2016. “Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production”, Procedia CIRP, 54, 13-18
- Felek S.Ö., 2019. “Mimari Yapılarda 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanımı”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3(3), 289-296
- Groth C., Kravitz N.D., Jones P.E., Graham J.W., Redmond W.R., 2014. “Three-Dimensional Printing Technology”, J.Clin.Orthod., 48(8), 475-85
- ICON Team, 2019. “Printing Homes for the Homeless in Austin”, ICON, <https://www.iconbuild.com/updates/printing-homes-for-the-homeless-in-austin>, Erişim Tarihi:19.02.2021
- Lasi H., Fettke P., Kemper H.G., Feld T., Hoffmann M., 2014. “Industry 4.0”, Business&Information Systems Engineering, 6(4), 239-242
- McCue T.J., 2014. “3D Printed Prosthetics”, Forbes, <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2014/08/31/3d-printed-prosthetics/?sh=56b4f1a33b45>, Erişim Tarihi: 26.02.2021
- Özenir İ., Nakıboğlu G., 2019. “Sürdürülebilir Üretimde Endüstri 4.0’ın Yeri”, BMIJ, 2019, 7(5): 2248-2281
- Özsoy K., Duman B., 2017. “Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği” International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 1(1), 36-48
- Özsoylu A.F., 2017. “Endüstri 4.0”, Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi”, 21(1), 41-64
- Saracco R., 2018. “Disruptive Technologies beyond 2030 for the Smart Planet III”, <https://cmte.ieee.org/futuredirections/2018/04/01/distr/>, Erişim Tarihi: 26.02.2021
- Wohlers T., 2012. “Wohlers report 2012”. Wohlers Associates, Inc.
- Yıldıran M., 2016. “Moda Giyim Sektöründe Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım ve Üretim”. Art-e Sanat Dergisi, 9(17), 155-172.