



## Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ile Gıda Üretimine Genel Bakış

Celalettin Değerli, Sedef Nehir El\*

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova/İzmir, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

#### Derleme Makale

Geliş 01 Kasım 2016  
Kabul 20 Mart 2017

#### Anahtar Kelimeler:

3 Boyutlu yazıcı  
Gıda dizaynı  
Yazdırılabilirlik  
Kişiyeye özel gıda tasarımı  
Gıda üretimi

#### \*Sorumlu Yazar:

E-mail: sedef.el@ege.edu.tr

### ÖZET

Üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi, son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. İlk olarak malzeme üretimi alanında ortaya çıkan bu teknoloji, zamanla diğer alanlarda da uygulanmaya başlamıştır. Bu alanlardan biri de gıda üretimidir. Bu makalede 3D yazıcılar ile gıda üretiminin tarihsel süreci, 3D yazıcıların çalışma prensipleri, gıda üretiminde günümüze kadar yapılan çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan ham maddeler incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, üretilen gıda tipine göre kategorize edilmiştir. Ayrıca 3D yazıcıların sektöre girişinin üretici ve tüketici açısından yarattığı etkiler ve gelecek senaryoları tartışılmıştır.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(6): 593-599, 2017

## A Review on Food Production with 3 Dimensional (3D) Printing Technology

### ARTICLE INFO

#### Review Article

Received 01 November 2016  
Accepted 20 March 2017

#### Keywords:

Customized products  
3D Food printing  
Printability  
Food design  
Additive manufacturing

#### \*Corresponding Author:

E-mail: sedef.el@ege.edu.tr

### ABSTRACT

Three dimensional (3D) printing technology, have been quite popular in recent years. It came out first in the area of material production, but now, it has been applied on the other possible fields like food production. In this review, historical period of 3D printing, 3D printer types and working principles, studies on 3D food printing until today and the raw materials used in this studies were investigated. Studies on food printing was also categorised according to food types. Also, the impacts of 3D printing technology on food sector from the point of producer and consumer and future needs were discussed.

DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i6.593-599.1062>

### Giriş

Üç boyutlu (3D) yazıcılar, sunduğu yenilikler ve avantajlar ile günümüzde hem üreticiler, hem de tüketiciler tarafından ilgiyle karşılanmaktadır. 3D yazıcıların üretim sırasında özel alet-ekipman gerektirmeyişi, iş gücünü azaltması, ürünün kalite özelliklerine (renk, şekil, tekstür, aroma vb.) etki edebilmesi ve gerektiğinde kullanılan ham madde içeriğinin kolayca ayarlanabilmesi gibi özellikleri, bu

ilgiyi doğuran başlıca nedenler olarak gösterilmektedir (Sun ve ark., 2015). Bu alanda farklı patentler mevcuttur (Ben-Yoseph ve ark. 2009; Fork ve Hantschel 2010; Von Hasseln 2011; Batchelder 2012). Bu patentlerde 3D yazıcı ile gıda üretimine uygun hazne/yazıcı başlığı tasarımları, gıda tipine göre geliştirilmiş yazıcı tasarımları gibi çalışmalar yer almaktadır. Günümüzde ise, bu teknolojiye uygun olarak geliştirilmiş ham maddeler ile bu ham

maddeleri uygun şekilde işleyebilen teknolojilere ticari olarak erişim sağlanabilmektedir (Pallotino ve ark., 2016). 3D yazıcı adı ile bilinen sistem ilk olarak “additive manufacturing” veya “solid freeform fabrication” kavramları ile ortaya çıkmıştır (Kodama, 1981; Hull, 1986). Bu iki kavram, seramik, metal, polimer gibi çeşitli materyallerin katmanlar halinde şekillendirilerek belirli geometrilere fiziksel yapılar oluşturulması şeklinde özetlenebilir. 3D yazıcı teknolojisinin malzeme bilimi alanında ortaya çıkmasının ardından ham madde olarak kullanılacak akışkan özelliği sağlayabilen gıda maddeleri ile bu teknolojinin gıda üretimine de uyarlanabileceği fikri ortaya çıkmıştır (Godoi ve ark., 2016). Bu alandaki ilk denemeler 2 boyutta (x ve y eksenleri) bisküvi süslemeleri ve kek süslemeleri için yapılmıştır. Bu denemelerde şeker, su ve çikolata kullanılmış ve ürün yüzeyine yazdırılacak şekilde modellenmiştir. (Sun ve ark., 2015; Pallotino ve ark., 2016). Ardından gıda alanında 3 boyutlu tasarımlar yapabilen ilk prototipler geliştirilmiştir. Ancak bu prototipler somutlaştırılmamış ve gerçek denemeler yapılamamıştır (Electrolux, 2009; Philips Design, 2010). Modellemenin ve simülasyonların üzerine çıkıp somut olarak da geliştirilebilmiş ilk 3D gıda yazıcısı prototipi, 2007 yılında Cornell Üniversitesi tarafından Fab@Home Model 1 adı ile tanıtılmıştır (Malone ve Lipson, 2007; Periard ve ark., 2007). Daha sonra bu yazıcıyı takip eden başka çalışmalar da yapılmıştır (Hao ve ark., 2010; Zoran ve Coelho 2011; Burritobot 2014). Üniversitelerin başlattıkları bu yarışa gıda üreticisi büyük firmaların da dahil olmasıyla son on yılda farklı prensiplerle çalışan 3D yazıcıların gıda işleme sistemlerine uyarlanmasına çalışılmıştır. Gıda işleme tekniklerinde kullanılabilen bu prensipler:

- Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS) (Gray 2010)
- Katmanlı Yığın Modelleme (Fused Deposition Modelling - FDM) (Cohen ve ark., 2009; Hao ve ark., 2010)
- Bağlayıcı Yazdırma (Binder Jetting - BJ) (Southerland ve ark., 2011)
- Inkjet Yazdırma'dır (Mironov ve ark., 2009)

Günümüzde 3D yazıcılar ile üretilebilir gıdaları konu alan bazı çalışmalar ve projeler –bazıları tamamlanmış olarak- mevcuttur. 2011 yılında, Bilim ve Teknolojide Avrupa İşbirliği (European Cooperation in Science and Technology–COST) Organizasyonu'nun “Yazdırılabilir Ham Madde ve Paketleme Teknolojilerinde Yeni Yaklaşımlar, Çıktı ve Dijitalin Kombinasyonu–FP1104” isimli çağrısı, Avrupalı bilim insanlarının bu konuda disiplinler arası yaklaşımlar oluşturmaları için yapılmıştır. FP1104 Aksiyonu ile çalışmalar 2012-2016 yıllarını kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Ancak henüz sonuç raporu açıklanmamıştır. Bu aksiyonun amaçlarından biri de yeni teknolojiler geliştirerek “yazdırılabilir gıda üretmek” veya “gıdanın üzerine yenilebilir materyal yazdırmak”tır. Bir diğer proje de Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi (National Aeronautics and Space Administration–NASA)'nin çeşitli firmalar ve kendi araştırmacıları ile finanse ettiği “Derin Uzay Görevlerinde 3D Gıda Yazıcılarının Gıda Üretiminde Kullanılabilmesi”

başlıklı projesidir. Bahsi geçen projede yapılan uzun süreli seyahatlerde kullanılmak üzere bazı konseptleri oldukça fütüristik olsa da- 3D gıda yazıcısı sistemleri geliştirilmesi hedeflenmektedir (Pallotino ve ark., 2016). Türkiye’de ise 3D yazıcı teknolojisi üzerine çalışmalar malzeme mühendisliği alanında başlamıştır (Türker ve ark., 2005; Şakar-Deliormanlı, A ve ark., 2008). Giderek artan ilgiyle birlikte, Türkiye’de de kurulan şirketler ve yapılan akademik çalışmalar sonucunda, 2014 ve 2015 yıllarında Uluslararası 3D yazıcı fuarları düzenlenmiştir. 2016 yılında ise fuar ile birlikte sempozyumu da içeren bir organizasyon düzenlenmiştir. Bu sempozyumda 3D yazıcı teknolojisi ile ilgili her alandan yapılan çalışmalar ziyaretçilere sunulmuştur. Gıda alanında ise iki çalışma göze çarpmaktadır. Bu çalışmalardan birincisinde gıda üretimine uygun, 3 ekseninde çalışacak şekilde plastik hazneli yazdırma başlığı tasarlanmış ve pişirmeye hazır kek hamuru üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımın entegre edildiği 3D yazıcı yurt dışından temin edilmiştir. Bu tasarımda, yazdırma işleminin yapıldığı düzlemin sıcaklığı Arduino kontrol kartı ile ayarlanabilmektedir. (Kaya ve ark., 2016). Diğer çalışmada ise yaş pasta süslemeleri ve yemeklerin sunumunda kullanılan tabak süslemeleri için 3D yazıcı prototipi geliştirilmiştir. Ancak herhangi bir üretim denemesi yapılmamıştır (Subaşı ve ark., 2016). Yakın gelecekte, Türkiye’de bu alandaki çalışmaların artacağı ve bu artışın da endüstriyel tasarım mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği, gıda mühendisliği ve bilgisayar mühendisliği dalları ile disiplinler arası projeler için motivasyon kaynağı oluşturacağı tahmin edilmektedir.

Bu derlemede, 3D gıda yazıcılarında ulaşılan mevcut teknoloji ve çeşitleri, bu yazıcılarda kullanılan ham maddeler ve 3D yazıcı ile gıda üretiminin uygulama alanları, günümüze değin yapılan çalışmalar incelenerek açıklanmıştır. Ayrıca 3D gıda yazıcılarının gıda sektörüne etkileri ve gelecek yaklaşımları tartışılmıştır.

### 3D Yazıcı Teknolojisi, Prensipleri ve Başlıca Çeşitleri

3D gıda yazıcılarında 3 boyutlu olarak modellenmiş ürün tasarımları, örneğin küp şeklinde bir kurabiye, çok katlı veri (STL dosyası) formatına dönüştürülmektedir. Ardından bu verilerin yardımıyla yazıcı kartuş, platform ve başlıklarına uygun sinyaller gönderilerek yazdırma işlemi başlatılmaktadır. Yazdırılan her katman için bu döngü tekrar etmektedir (Sun ve ark., 2015).

#### *Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering – SLS)*

Bu teknikte lazer ışını ile toz formdaki ham madde ısıtılmakta ve sinterlenmektedir. Böylece 3D tabaka oluşmaktadır. Yazdırma yüzeyi bir platform halinde hareket ederken, her hareketin ardından ikinci bir başlık yüzeyin üzerinden geçerek sinterlenecek yeni toz katmanını hazırlamakta ve ardından tekrar yüzeydeki ham maddeye –STL dosyasındaki modele göre- ısıtılarak şekil verilmektedir. Her katman ısıtıldıkça, platform –z ekseninde aşağıya doğru inmekte ve 3D şekli muhafaza etmektedir. Yazıcı başlığı -x ve -y eksenlerinde hareket ederken, yazdırma platformu da –z ekseninde hareket etmektedir (Godoi ve ark., 2016).

### *Katmanlı Yığın Modelleme (Fused Deposition Modelling – FDM)*

Bu yöntem ise öncelikle plastik materyalleri modelleme amacıyla geliştirilmiştir (Crump, 1989). Son yıllardan itibaren gıda alanına uyarlanan FDM yönteminde  $-x$ ,  $-y$  ve  $-z$  eksenlerinde hareket kabiliyetine sahip yazdırma başlıkları kullanılmaktadır. Bu başlıklarda ekstrüzyona uğratılan ve erime noktasının hemen üzerinde platforma aktarılan gıda materyalinin hızlı bir şekilde katı forma geçmesi sağlanmaktadır. Daha sonra  $-z$  ekseninde hareket eden başlık, platforma aktardığı  $-y$  ve artık katı forma geçmiş olan- gıda materyalinin üzerine ikinci tabakayı yazdırmaya başlamaktadır. Bu şekilde katmanlar halinde 3D üretim tamamlanmaktadır (Cohen ve ark., 2009; Hao ve ark., 2010). Bu sistemdeki önemli noktalardan biri, dış ortamın sıcaklığı ile yazdırılan materyalin sıcaklığı arasındaki ilişki olarak kabul edilmektedir. Yazdırma sıcaklığı materyalin erime noktasının hemen üzerinde, dış ortamın sıcaklığı ise erime noktasından mutlaka düşük olmalıdır. Böylece yazdırılan gıda materyali hızlı bir şekilde katı forma geçebilmektedir (Kading ve Straub, 2015).

### *Bağlayıcı Sıvılarla Yazdırma (Binder Jetting – BJ)*

Bu yöntemde yazdırma platformu dizaynı ve materyal formu SLS yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Ancak güç kaynağı olarak lazer kullanılmamaktadır. Şeker ve nişasta gibi toz formdaki gıda ham maddelerinden oluşan yazdırma platformu üzerine, birden fazla yazıcı başlığı olan sistemler aracılığı ile  $-x$  ve  $-y$  eksenleri boyunca sıvı uygulanarak şekiller oluşturulmaktadır. Ardından ikinci katmana geçilmekte ve katmanlar oluşturulduktan sonra yazdırma platformu  $-z$  ekseninde aşağıda doğru hareket etmektedir (Southerland ve ark., 2011). 3D Systems firması tarafından gerçekleştirilen *Sugar Lab* projesinde BJ prensibi ile şeker üretimi yapılmıştır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre oldukça hızlıdır; fakat kurulum maliyeti de oldukça yüksektir (Sun ve ark., 2015).

### *Inkjet Yazdırma (Inkjet Printing)*

Bu yöntem günlük hayatta kağıt çıktısı almak için kullanılan klasik yazıcılardaki prensibe dayanmaktadır. Yazdırılacak materyal çok küçük damlacıklar halinde bir başlık aracılığıyla yazdırma platformuna püskürtülmektedir. Yazdırılması istenen geometrik şekle göre aralıklarla veya sürekli olarak dozlama yapılabilen bu yöntemde, önceden hazırlanmış ürünlerin tamamlanmasında (örnek: pizza tabanının üzerine domates sosu eklenmesi, hareketli bant üzerinde pişmekte olan kurabiyelerin üzerine çikolata sosu eklenmesi) oldukça hızlı ve hatasız çözümler sunulmaktadır (Godoi ve ark., 2016).

### **3D Yazıcılarda Gıda Üretiminde Kullanılan Ham Maddeler**

3D yazıcılarda gıda üretiminde kullanılan ham maddeler, yazdırılabilir özellikteki ham maddeler, modifiye edilerek yazdırılabilen ham maddeler ve alternatif yazdırılabilir kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır.

### *Yazdırılabilir Özellikteki Ham Maddeler*

3D gıda yazıcılarında kullanılabilecek ham maddelerde istenen özellik, ham maddenin yazıcı kartuşundan yazdırma platformuna doğru sorunsuz bir şekilde akabilmesi ve platformda oluşturduğu katı yapıyı koruyabilmesidir. Bu doğrultuda nişasta ve protein gibi hidrojel yapı oluşturabilen maddeler ile peynir, çikolata ve humus kolayca yazıcı kartuşundan platforma akabilecek özellik kazanabilir (Cohen ve ark., 2009). Bir başka çalışmada şeker, nişasta ve ezme haline getirilmiş patates ham madde olarak kullanılmış ve olumlu sonuç alınmıştır (Walters ve ark., 2011). Özellikle belirtilmesi gereken bir başka nokta, söz konusu ham maddeler ile üretilen gıdaların genelde atıştırmalık veya tatlı grubuna ait olması, hiçbirinin ana yemek olarak tüketilebilecek nitelikte olmamasıdır (Sun ve ark., 2015).

### *Modifiye Edilebilen Ham Maddeler*

Meyve ve sebzeler, et, pirinç, kuru baklagiller gibi gıdalar, doğal yapıları gereği yazdırılmaya uygun değildir. Ancak bazı gıdalar ön işlemler uygulandıktan ve hidrokolloidler (agar, ksantan gam, pektin gibi) eklendikten sonra yazdırılabilir özellik kazanabilmektedir (Cohen ve ark. 2009). Lipton ve ark (2010) transglutaminaz enzimi ve agar ilavesi ile hindi etini yazdırılabilir forma getirmişler ve yazdırma sonrası pişirme işleminde fiziksel yapıdaki bozulmaları en aza indirmişlerdir. Bu konuda henüz çalışılmamış başta kuru baklagiller ve sebzeler olmak üzere birçok temel gıda bulunmaktadır.

### *Yazdırılabilir Alternatif Kaynaklar*

2011 yılında Walters ve ark. tarafından “Insect Au Gratin” projesi çalışılmıştır. Bu projede alternatif protein kaynağı olarak görülen böcekler ile çalışılmış ve toz haline getirilmiş böcekler ile eritme peynir karıştırılarak yazdırılabilir kıvamda ve besleyici özelliği yüksek bir ham madde elde edilmiştir. Mevcut tarım uygulamaları ve gıda prosesleri sonucu ortaya çıkan atık maddelerden biyoaktif bileşikler, enzimler ve bazı aroma maddeleri elde edilerek yazdırılabilir materyal kaynağı oluşturulması da geleceğe yönelik başka bir çalışma konusu olarak dikkat çekmektedir (Sun ve ark. 2015).

### **3D Gıda Yazıcısı Uygulamaları**

#### *Fırıncılık Ürünleri*

3D gıda yazıcıları ile kurabiye hamuru denemeleri, giriş kısmında da bahsedilen *Fab@Home* modeli ile başlamıştır. Yapılan ilk çalışmada; tereyağ, yumurta sarısı ve şeker gibi bileşenlerin kullanım miktarı, yazdırılabilir akışkanlıkta ham madde ve pişirme sonrası stabilite parametreleri açısından belirleyici olmuştur. Bu çalışmada termal olarak kararlılığını koruyabilen kurabiye reçetesi oluşturulmuştur. Yazdırılan kurabiyeler pişirme öncesi buzdolabında dinlendirilmiştir (Lipton ve ark., 2010). Singapur Üniversitesi’nde gerçekleştirilen başka bir çalışmada, un, tereyağ, şeker ve yumurta beyazından oluşan temel içeriği ile bisküvi hamuru karışımı hazırlanmış ve 3D yazıcı ile yazdırıldıktan sonra geometrik şeklini koruyabilen bisküvi hamurları geliştirilmiştir (Sun ve ark., 2015).

### Makarna

3D gıda yazıcıları alanında söz sahibi olan firmalardan TNO (Hollanda) ve ünlü makarna üreticisi Barilla (İtalya) firmasının ortak projesinden, geleneksel makarna tarifine uygun olacak şekilde makarna üretebilen yazıcı geliştirilmiştir. Bu tarifte yalnızca durum buğdayı irmiği ve su kullanılmaktadır. Ancak bu yazıcının dakikada yalnızca 2 adet makarna üretme kapasitesine sahip olduğu belirtilmektedir (Sol ve ark., 2015). Bu yazıcının geliştirilmesi 2 patent ile korunmaktadır (Van Bommel 2014; Van der Linden 2015). Makarnanın, insan beslenmesindeki temel gıdalardan biri olması nedeniyle, bu konuda yapılacak çalışmaların artması beklenmektedir. Bu eğilimle, özellikle artisan makarna üretimlerinde 3D gıda yazıcılarının tercih edilmesi öngörülmektedir.

### Çikolata

Çikolata, içeriğindeki kakao yağı nedeniyle kristallenme eğilimi gösteren bir gıdadır. Yağ fazının sulu faz ile birlikte bir arada bulunabilmesi ve bu emülsiyon yapısının stabilitesi çikolata kalitesi açısından çok önemlidir (Rosales ve ark., 2016). Çikolatanın ekstrüzyon ile doğrudan 3 boyutlu katmanlar halinde şekiller oluşturduğu ve bu şeklin korunabildiği sistem giriş kısmında da bahsedilen *Fab@Home* 3D gıda yazıcısı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu yazıcıda FDM sistemi kullanılmaktadır. Çikolatanın akışkanlık kazandığı sıcaklığın hemen üzerinde ekstrüde edildikten sonra platformda soğuyan çikolata yazdırıldığı şekli almakta ve bir sonraki tabaka bu soğuyan çikolatanın üzerine eklenmektedir (Schaal, 2007). Bu başlangıç adımının ardından Hao ve ark (2010) çikolatanın 3D gıda yazıcıları ile yazdırılmasını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Yine aynı ekip tarafından Exeter Üniversitesi bünyesinde kurulan ChocEdge Şirketi, 3D gıda yazıcılarını ticari bir ürün olarak piyasaya sunmuştur (Şekil 2, Şekil 2a ve Şekil 2b). Çikolatayı 3D gıda yazıcılarında ticari olarak deneyen diğer firmalar Foodini, TNO ve The Hershey Company'dir (Godoi ve ark., 2016). Bir başka çalışmada ise Massachusetts Teknoloji Enstitüsü – MIT (ABD)'nde Zoran ve Coelho (2011) tarafından "digital chocolatier" adıyla 3D gıda yazıcısı prototipi geliştirilmiştir. Bu prototipte çoklu değiştirici sistemiyle çikolatanın reçetesi üzerinde üretim sırasında değişiklikler yapmak mümkün olabilmektedir. Müşteriye özel içerik

hazırlanabilmesi giriş bölümünde de bahsedildiği gibi 3D gıda yazıcıları için önemli bir avantaj olarak görülmektedir. 2014 yılına gelindiğinde, Khot ve arkadaşları yaptıkları çalışmada fiziksel aktiviteyi 3D yazdırılmış materyallere dönüştürebilecek bir sistem modelleyerek, 3D gıda yazıcısı konusunu ilgi çekebilecek bir yönden ele almışlardır. 2015 yılında ise bu çalışmayı bir sonraki aşamaya taşıyarak "EdiPulse" adını verdikleri, 3D gıda yazıcısı ile bağlantılı bir mobil uygulama geliştirmişlerdir. İngilizce "yenebilir" ve "nabız" sözcüklerinin birleşiminden oluşan bu sistemde kişi, gün boyunca nabız ölçümünü yapacak bandı vücuduna yerleştirip, mobil uygulamayı çalıştırmaktadır. Bundan sonra gün boyu gerçekleştirdiği fiziksel aktivitenin yoğunluğuna ve süresine göre bir skor elde eden tüketici; bu skora göre 3D gıda yazıcısından kendine özel bir "çikolata mesaj" almaktadır. Fiziksel aktivitenin yoğunluğu nabız aralıklarına göre belirlenmekte ve nabız yükseldikçe çikolatanın kalınlığı artmaktadır. Fiziksel aktivitenin süresine göre ise mesajın uzunluğu değişiklik göstermektedir. Mobil uygulamada kayıt altına alınan nabız bilgisi kaydedilerek, 3D gıda yazıcısında kullanılmak üzere uygun formata dönüştürülmektedir. Eğer kişi fiziksel aktivite açısından zayıf bir gün geçirmiş ise, motive edici mesajlar; yoğun fiziksel aktiviteli bir gün geçirmiş ise övgü dolu mesajlar almaktadır (Khot ve ark., 2015a; Khot ve ark., 2015b). Araştırmacılar, bu yaklaşımlarıyla fiziksel aktiviteyi desteklemektedirler. Geline noktada 3D gıda yazıcısı ile çikolata üretimi halen oldukça kısıtlı ve yavaş bir proses olarak değerlendirilmektedir. Yakın gelecekte yapılacak çalışmalar ile, özellikle ürün eldesi hızının artırılmasıyla 3D yazdırılmış çikolata üretiminin sektörde önemli bir yer edineceği tahmin edilmektedir (Godoi ve ark., 2016).

### Eritme Peynir, Soslar ve Kaplamalar

*Fab@Home* 3D yazıcı sistemi ile eritme peynir, yer fıstığı ezmesi ve pasta kaplama ürünleri (frosting) denenmiştir. Eritme peynirler, uygun akışkanlık sağlanan sıcaklıklarda krakerlerin üzerine uygulanmış; uygulamalarda tekdüze ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Pasta kaplama şekerlemelerinde ise, el ile hazırlanması oldukça zor olan geometrik ve iç içe şekillerde çalışılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Periard ve ark., 2007).

Tablo 1 3D Yazıcı İle Üretilmiş Gıda Ürünleri ve Kullanılan Yazıcı Tipleri

Gıda Ürünü	Kullanılan Ham Maddeler	Kullanılan Yazıcı Tipi	Referans Çalışma
Kurabiye	Şeker, un, yumurta, tereyağ	FDM	Lipton ve ark., 2010; Sun ve ark., 2015
Makarna	Durum buğdayı irmiği, su	FDM	Sol ve ark., 2015
Çikolata	Kakao yağı, şeker, kakao, tereyağ, lesitin	FDM	Schaal, 2007; Hao ve ark., 2010; Zoran ve Coelho, 2011; Khot ve ark., 2015a; Khot ve ark., 2015b;
Eritme Peynir, Soslar ve Kaplamalar	Peynir, çikolata, domates, gamlar, şeker, tuz	BJ, Inkjet Yazıcı	Periard ve ark., 2007; Grood ve ark., 2013
Et ve Deniz Ürünleri	Deniz tarağı, hindi eti, agaroz	FDM, Biyoyazıcı	Lipton ve ark., 2010; Marga ve ark., 2012a



Şekil 1 Fab@Home 3D gıda yazıcısı



Şekil 2 ChocEdge - Choc Creator 3D gıda yazıcısı



Şekil 2a ChocEdge – Choc Creator 3D gıda yazıcısı ile üretilmiş iki boyutlu çikolata örnekleri



Şekil 2b ChocEdge - Choc Creator 3D gıda yazıcısı ile üretilmiş 3D çikolata örneği

Günümüzde ise; özellikle pasta ve kurabiye süslemeleri, kaplamalar için yenibilir kartuş ve pasta üzerine resim baskıları için yenibilir kağıt üreten Inkedibles™ (2016) firması tüketicilere, ev tipi yazıcılara uygulanabilen çözümler sunmaktadır (Pallotino ve ark., 2016). Bu firma ile isteğe uyarlanmış gıda ürünleri pazarında 3D gıda yazıcısı uygulamaları yer almaya başlamıştır. Bunların dışında; Grood ve ark. (2013) tarafından inkjet yazdırma sistemi ile pizza sosu ve çikolata sosu dozlaması yapabilen bir sistem geliştirilmiştir. Ticari adı FoodJet (2016) olarak bilinen bu sistemde, dozlama yapılacak miktar ve geometrik şekil dijital dosya formatında bilgisayara tanıtılmakta ve her seferinde hatasız ürün eldesi sağlanmaktadır. Örneğin; üretim hattındaki pizza hamurlarında şekil olarak bozuk olanlar mevcut ise, optik algılayıcılar sayesinde bozuk şekilli hamurlara dozlama yapılmamaktadır. Oldukça verimli olarak kabul edilebilecek bu sistemde, hareketli bantlarda pizza hamuru için 25m bant uzunluğu/dakika, çikolata süslemesi için 15m bant uzunluğu/dakika hızlarında dozlama yapılabilmektedir.

#### Et ve Deniz Ürünleri

Yazdırılmayan ancak modifiye edilebilen gıda ham maddesi olarak et üzerine iki farklı alanda çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan birincisi, püre haline getirilen etin, transglutaminaz enzimi ilavesi ile yazdırma sonrası yapılan pişirme işlemlerinde formunu koruyabilecek uygun matriks yapısına kavuşması; diğeri ise canlı hücre kültürleri ile biyo-yazdırılmış et eldesidir (Godoi ve ark., 2016). Marga ve ark., 2012 yılında yaptıkları çalışmada, Novogen MMX (Organovo, Amerika Birleşik Devletleri) model biyo-yazıcı kullanarak, canlı hücre kültürlerini agaroz desteğiyle bir araya getirmiştir (Tablo 1). Böylece yapay kas dokusu elde edilmiştir. Fakat biyo-yazıcı ile bu yapıyı oluşturma süresi bir hayli uzundur (Marga, 2012). Yazdırma sonrası yapılan pişirme işlemlerinde 3D yapının korunması için yapılan transglutaminaz ilaveli yöntemde ise, deniz tarağı ve hindi eti püre haline getirilerek kullanılmıştır. Bu çalışmada deniz tarağına yağda kızartma, hindi etine ise vakumda pişirme (sous-vide) uygulanmıştır. Transglutaminaz ilaveli pürelerin her ikisinde de pişirme işlemleri sonrasında, 3D yazıcıda verilmiş olan şeklin korunduğu gözlenmiştir (Lipton ve ark., 2010). Bu çalışmaların ışığında, gelecekte yapılacak çalışmalarla birlikte 3D yazıcıların et ürünlerinde alternatif bir üretim tekniği olacağı tahmin edilmektedir.

#### 3D Yazıcı Teknolojisinin Gıda Sektörüne Etkileri ve Gelecek Yaklaşımları

3D yazıcı teknolojisinin gıda sektörüne etkileri literatürde yer alan çalışmalarda 2 farklı yönden ele alınmıştır. Birincisi tüketici odaklı çalışmalar, diğeri ise teknoloji yönünden incelenen çalışmalardır. Lipton ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı çalışmada 3D gıda yazıcıları bireysel kullanım, butik üreticilerde, firmalarda, restoranlarda kullanım ve endüstriyel kullanım olarak 3 kategoride incelenmiştir. Önceki bölümlerde de bahsedilen *Fab@Home* (2007) yazıcıları bireysel kullanım için ideal bir tasarım olarak görülmekteydi. Daha sonraki yıllarda, bu yazıcıyı takip eden daha gelişmiş tasarımlarla birlikte, kullanıcının kolayca şeklini

ve reçetelerini kontrol edebileceği kurabiye hamurları, pasta süslemeleri, çeşitli soslar, kişiye özel tasarlanmış çikolataları minimum hata ile üretebilme imkânı sağlamıştır. Ayrıca kişilerin gıdaların reçetelerini kendi beslenme şekillerine göre değiştirebilmeleri imkânı da büyük bir avantaj olarak görülmektedir. Yakın gelecekte ise, şu anda en büyük engel olarak görülen üretim hızının artırılması ile hem butik üretimlerde hem de endüstriyel olarak 3D gıda yazıcıları tercih edilebilecektir (Lipton ve ark., 2015). Diğer çalışmada ise, 3D yazıcıların geliştirilmesiyle kişiye özel gıda tasarımı yapılabilmesi, besin öğeleri kompozisyonunun kişinin beslenme ihtiyacına göre ayarlanabilmesi, tedarik zincirlerinde verimliliğin artırılması, gıda işleme proseslerinin revize edilmesi ve proses dizaynlarının dijitalleştirilmesi üzerinde durulmuştur (Sun ve ark., 2015). Bu iki çalışmanın dışında yalnızca tedarik zincirindeki değişiklikleri inceleyen bir modelleme çalışmasında, çikolata üretiminde ve satışında verim alınabilmesi için nasıl bir sistem kurulması gerektiği tartışılmıştır. Yenilikçi bir anlayışla, çikolatanın yarı mamül olarak fabrikalarda temel ham maddelerinin belirli oranda karıştırılarak hazırlanması ve internet üzerinden alınan siparişlere göre bayiliklere iletilmesi tasarlanmıştır. Ardından bayiliklere ulaşan yarı mamüller, müşteri siparişine göre 3D yazıcılarda hazırlanarak son ürün eldesi sağlanacak ve dağıtımını gerçekleştirilecektir (Jia ve ark., 2016).

## Sonuç

Yapılan çalışmaların ışığında 3D gıda yazıcıların kullanımına ilişkin bir potansiyelin bulunduğu görülmektedir. Günümüzde, tüketicilerin butik üretime ve kişiye özgü gıda tasarımlarına gösterdiği talep azımsanmayacak boyutlara ulaşmıştır. Bu taleplerin endüstri tarafından karşılanması konusunda kesin ve hatasız üretim beklentisi, ham madde kayıplarının en aza indirgenmesi ve nitelikli personel gereksinimi gibi nedenler 3D gıda yazıcıları için gelecekte yapılacak çalışmaların ateşleyicileri olacaktır.

## Kaynaklar

- Barilla Makarna Yazıcısı. Erişim Adresi: <http://www.foodweb.it/2016/05/la-pasta-barilla-del-futuro-e-stampata-in-3d/> [Erişim:31/10/2016]
- Batchelder JS 2012. Additive Manufacturing System for Printing a Chocolate Confection Comprises at Least One Controller to Receive Instructions and to Relay Commands; Platen; Print Head; and Cartridge. STRATASYS INC (STRA- Non-standard)
- Ben-Yoseph E, Collins TM, Shastry AV, Suttle, JM, Walters M, Willcocks NA. 2009. US Patent 7,597,752.
- Burritobot. 2014. A 3-D printer that spits out burritos. Erişim Adresi: <https://www.pinterest.com/pin/115967759125319211> [Erişim: 14/09/2016]
- Choc Edge Introduces New Christmas 3D Printed Chocolate Design'. Erişim Adresi: <https://3dprintingindustry.com/news/choc-edge-christmas-37258/> [Erişim:31/10/2016]
- Crump SS. 1989. Apparatus and method for creating three-dimensional objects.

- Electrolux Design. Top 8 Electrolux Design Lab 09 finalists. Electrolux Design Lab. Electrolux. <http://www.electroluxdesignlab.com/2010/02/2009-finalists/> [Erişim:17/10/2016]
- FoodjetTM. Erişim Adresi: <http://www.foodjet.com>. [Erişim: 15/10/2016]
- Forgacs G, Marga F, Jakab KR. 2014. Engineered Comestible Meat. Google Patents.
- Fork DK, ve Hantschel T. 2010. US Patent 7,765,949.
- Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR. 2016. 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. Elsevier Ltd. Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025> [Erişim: 03/09/2016]
- Hao L, Mellor S, Seaman O, Henderson, J, Sewell N, Sloan, M. 2016. Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing, 2759(May). Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1080/17452751003753212> [Erişim: 31/08/2016]
- Hull CW. 1986. Apparatus for Production of Three-dimensional Objects by Stereolithography. Google Patents
- Inkables™. Erişim Adresi: <https://www.inkables.com> . [Erişim: 15/10/2016]
- Jia F, Wang X, Mustafee N, Hao L. 2016. Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. Technological Forecasting & Social Change, 102, 202–213. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.026> [Erişim:17/10/2016]
- Kading B, Straub J. 2015. Acta Astronautica Utilizing in-situ resources and 3D printing structures for a manned Mars mission. Acta Astronautica, 107, 317–326. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.11.036> [Erişim: 19/10/2016]
- Kaya G, Evlen H, Çetinkaya K. 2016. 3 Boyutlu Yiyecek Yazıcısı Tasarımı ve Prototipi. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu (International Symposium on 3D Printing Technologies) İstanbul, Türkiye.
- Khot RA, Pennings R, Mueller F. 2015a. EdiPulse: Turning physical activity into chocolates. Vol. 18, pp. 331–334. Association for Computing Machinery. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1145/2702613.2725436> [Erişim: 19/10/2016]
- Khot RA, Pennings R, Mueller FF. 2015b. EdiPulse: Supporting physical activity with chocolate printed messages. Vol. 18, pp. 1391–1396. Association for Computing Machinery. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1145/2702613.2732761> [Erişim: 19/10/2016]
- Khot R, Hjorth L, Mueller F. 2014. Understanding physical activity through 3D printed material artifacts. In Proc. CHI '14, ACM, 3835-3844.
- Kodama H. 1981. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. Rev. Sci. Instrum. 52, 1770.
- Lipton J, Arnold D, Nigl F, Lopez N, Cohen D, Norén N, Lipson H. 2010. Mutli-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference, SFF 2010, Austin, TX, United States.
- Lipton JI, Cutler M, Nigl F, Cohen, D, Lipson, H. 2015. Additive manufacturing for the food industry. Elsevier Ltd. Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.004> [Erişim: 31/08/2016]
- Lipton J, Lipson H. Adventures in Printing Food. Erişim Adresi: <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/adventures-in-printing-food> [Erişim:31/10/2016]

- Malone, E, Lipson H. 2007. Fab@Home: The Personal Desktop Fabricator Kit. *Rapid Prototyping Journal*, 13(4), 245–255.
- Marga FS. 2012. Engineered Comestible Meat. National Institute of Food and Agriculture.
- Marga F, Jakab K, Khatiwala C, Shepherd B, Dorfman S, Hubbard B, Colbert S, Gabor F. 2012. Toward engineering functional organ modules by additive manufacturing. *Biofabrication* 4 (2).
- Mironov V, Trusk T, Kasyanov V. 2009. Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication*, 1(2).
- National Aeronautics and Space Administration. 2013. 3D printing: Food in space. Erişim Adresi: [www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature\\_3d\\_food\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature_3d_food_prt.htm) [Erişim: 20/10/2016]
- Pallottino F, Hakola L, Costa C, Antonucci F, Figorilli S, Seisto A, Menesatti P. 2016. Printing on Food or Food Printing: a Review, pp. 1–9. Springer New York LLC. Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1007/s11947-016-1692-3> [Erişim: 31/08/2016]
- Periard D, Schaal N, Schaal M. 2007. Printing food, In: Proceedings of the 18th solid freeform fabrication symposium, 564–574, 2007, Austin TX, USA.
- Philips Design. 2010. New design probe explores the future of food. Erişim Adresi: <https://www.90yearsofdesign.philips.com/article/67> [Erişim:31/10/2016]
- Rosales CK, Klinkesorn U, Suwonsichon S. 2016. Effect of Crystal Promoters on Viscosity and Melting Characteristics of Compound Chocolate Effect of Crystal Promoters on Viscosity and Melting. *International Journal of Food Properties*, 0(0), 1–14. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1147458> [Erişim:20/10/2016]
- Sol IE-J, Van der Linden D, Van Bommel KJC. 2015. 3D Food Printing: the Barilla Collaboration.
- Southerland D, Walters P, Huson D. 2011. Edible 3D printing. In Proceeding of NIP & digital fabrication conference. Society for Imaging Science and Technology, 2,819–822
- Subaşı M, Özcan A, Aykut Ş. 2016. Yaş Pasta Süslemeleri İçin 3D Yazıcı Tasarımı Ve Prototipi. 3b Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu (International Symposium on 3d Printing Technologies). İstanbul, Türkiye.
- Sun J, Peng Z, Zhou W, Fuh JYH, Hong GS, Chiu A. 2015. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1, 308–319. Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1016/j.prmfg.2015.09.057> [Erişim: 30/08/2016]
- Sun J, Zhou W, Huang D, Fuh JYH, Hong GS. 2015. An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication, 8(8), 1605–1615. Erişim Adresi: <http://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6> [Erişim: 30/08/2016]
- Şakar-Deliormanlı A, Çelik E, Polat M. 2008. Rheological behavior of PMN gels for solid freeform fabrication. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 324(1), 159-166.
- Türker M, Godlinski D, Pohl H, Petzoldt F. 2005. Rapid Prototyping of Inconel Alloys by Direct Metal Laser Sintering and Three Dimensional Printing. *Proc. of the Euro PM*, 2-5.
- Van Bommel KJC. 2014. 3D Food Printing.
- Van der Linden D. 2015. 3D Food Printing Creating Shapes and Textures.
- Von Hasseln KW. Von Hasseln, E.M., Williams, D.X., Gale, R.R., 2014. Making an Edible Component, Comprises Depositing Successive Layers of Food Material According to Digital Data that Describes the Edible Component, and Applying Edible Binders to Regions of the Successive Layers of the Food Material. 3d Systems Inc (Thde-C)
- Walters P, Huson D, Southerland D. 2011. Edible 3D printing. Proceedings of 27th international conference on digital printing technologies. Minnesota, ABD, Ekim 2011.
- Zoran A, Coelho M. 2011. Cornucopia: the concept of digital gastronomy. *Leonardo*, 44(5), 425–431