



3D GIDA BASKISI: GÜNCEL DURUM VE GELECEK EĞİLİMLERİ

Kezban Candoğan*, Elvan Gökçen Bulut

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: 09.10.2020; Kabul / Accepted: 24.12.2020; Online baskı / Published online: 04.01.2020

Candoğan, K., Bulut, E.G. (2021). 3D gıda baskısı: güncel durum ve gelecek eğilimleri. *GIDA* (2021) 46(1) 152-167 doi: 10.15237/gida. GD20130.

Candoğan, K., Bulut, E.G. (2021). 3D food printing: an update and future trends. GIDA (2021) 46(1) 152-167 doi: 10.15237/gida. GD20130.

ÖZ

3D gıda baskısı, ilgi çekici ve özgün özelliklere sahip özel amaca yönelik gıda üretiminde şekil, boyut, doku ve lezzet açısından istenilen özellikleri sağlayabilen yeni gıda tasarımını mümkün kılan bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Gıda pazarında, farklı ihtiyaçlara hizmet eden, bir kısmı evlerde kullanıma uygun; bir kısmı ise endüstriyel üretimde yüksek verimlilik ve otomasyonu mümkün kılan gelişmiş, çok amaçlı 3D gıda yazıcıları bulunmaktadır. 3D gıda baskı teknolojisi, israfı ve işçilik maliyetlerini en aza indirerek enerji tasarrufu sağlar ve üretim hattına kolay entegre edilebilir özelliktedir. Yaşlılar, çocuklar ve sağlık sorunları nedeniyle diyetleri kısıtlanan bireyler bu teknolojiye yararlanan özel tüketici gruplarıdır. Günümüz tüketicilerinin ihtiyaçlarını karşılamada geleneksel üretim yaklaşımlarına kıyasla daha üstün kalitede ve düşük maliyetle ürünler sunduğu için 3D gıda baskısının gıda endüstrisinde umut vadeden bir geleceği olduğu bir gerçektir. Bu derlemede, 3D gıda baskısının prensipleri ve uygulamaları ile mevcut 3D gıda yazıcıları hakkında bilgilere yer verilmiştir. Bu teknolojinin olumlu ve olumsuz yanları tartışılmış, güncel araştırmalar ve olası uygulamalar hakkında bilgi verilmiş ayrıca, 3D gıda baskısı ile üretilen gıda ürünlerine yönelik tüketici tutumları özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3D gıda baskısı, 3D gıda yazıcıları, gıda tasarımı, kişiye özel gıda

3D FOOD PRINTING: AN UPDATE AND FUTURE TRENDS

ABSTRACT

3D Food Printing has emerged as viable tool to manufacture personalized food products in small or large quantities. This technology has interesting and unique features such as the formulation of food products with high repeatability in terms of desirable shape, size, texture and flavor. There are a number of 3D food printers that have been designed to fulfill a wide spectrum of needs within the food market. Some of these printers are very simple and could be even used in households where others are quite sophisticated, very versatile, fully automatized, and with variable throughput. 3D food printing minimizes waste and labor costs, facilitates energy savings and could be easily integrated in a production line. Elderly, children, people with restricted diets because of health issues are among the consumer groups that are particularly benefited by this technology. It is quite apparent that 3D food printing has a bright future within the food industry because it facilitates addressing the needs of today's consumers while offering products of superior quality and lower costs to those manufactured by more traditional approaches. This overview includes principles and applications of

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: candoğan@eng.ankara.edu.tr,

☎: (+90) 312 203 33 00

☎: (+90) 312 317 87 11

Kezban Candoğan; ORCID no: 0000-0002-6721-8835

Elvan Gökçen Bulut; ORCID no: 0000-0002-1468-0292

3D food printing and currently available 3D food printers. Pros and cons of this technology are discussed and an update on recent research and potential implementation are provided. Consumer attitudes towards food products manufactured by 3D food printing are also summarized.

Keywords: 3D food printing, 3D food printers, food design, customized food

GİRİŞ

Günümüzde bilim ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler, gıda sektörünü de etkilemiş ve sektörde hızla ortaya çıkan değişimler gerek üretici gerekse tüketici açısından farklı arayışların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bir yandan tüketicilerin yaşam kalitesini iyileştirme, her şeyin en güzelini tüketme arzusu ve konfor arayışı, diğer yandan, gıda üreticilerinin bu yönde ortaya çıkan farklı lezzette, albenili, kısa zamanda hazırlanan ve aynı zamanda sağlıklı gıdalara olan talebi karşılama yönündeki çabaları, gıda teknolojistlerini yeni ürün arayışlarına yöneltmiştir (Bakan vd., 2011; Sezer ve Taş, 2012; Bulut, 2019). Bu kapsamda, tüketicinin istek ve ihtiyaçları doğrultusunda, kişiye özel yeni gıda ürünleri üretimini amaç edinen “gıda tasarımı” olgusu son yıllarda yenilikçi teknolojilere olan gereksinimi artırmıştır. Küreselleşmeyle birlikte yaygınlaşan ve gündelik yaşamımızı önemli ölçüde değiştiren yenilikçi uygulamalar içerisinde önemli bir yer tutan dijital teknolojiler, diğer birçok sektörde olduğu gibi gıda sektöründe de uygulama alanı bulmuştur (Yang vd., 2015). Bu kapsamda ortaya çıkan, farklı amaçlar için gıda tasarımında kullanılabilen üç boyutlu (3D) gıda baskısı, yenilikçi ve karmaşık gıda ürünlerini çekici bir biçimde sunabilen geleceğin popüler teknolojilerinden biridir.

İlk kez 1984 yılında Charles Hull tarafından kullanılmış olan 3D baskı teknolojisi, “Nanotek Instruments” firması tarafından geliştirilen 3D gıda üretimi için bir prototipin patenti alınmasıyla 2001 yılında gıda sektöründe yerini almıştır (Hull, 1984; Whitaker, 2014; Sun vd., 2015a; Sun vd., 2015c). Daha sonra özellikle son beş yılda üzerinde yapılan araştırmaların hızla arttığı 3D gıda baskısı gelecek nesiller için bir “yazdır-ye” (print-and-eat) teknolojisi olarak kabul edilmektedir (Prakash vd., 2019).

Geleneksel üretim yöntemleri ile kıyaslandığında daha az atık oluşturması, hızlı prototip ürünler oluşturulabilmesi, zamandan ve üretim sırasında enerjiden tasarruf sağlaması, basit üretim

prosesine sahip olması gibi avantajlarından dolayı 3D gıda baskısı geleceğin iddialı teknolojilerinden biri olarak görülmektedir (Berman vd., 2012; Yang vd., 2015; Nachal vd., 2019). Son yıllarda tüm dünyada 3D gıda yazıcılarının kullanıldığı çeşitli baskı denemelerinin gerçekleştirildiği çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu çalışmada, 3D gıda baskısında kullanılan teknolojiler avantaj ve dezavantajlarıyla ele alınmış, 3D gıda yazıcılarının mevcut kullanımı ile gelecek eğilimleri ve yeni bir kavram olan 4D gıda baskı teknolojisi bu konudaki güncel literatür değerlendirilerek tartışılmıştır.

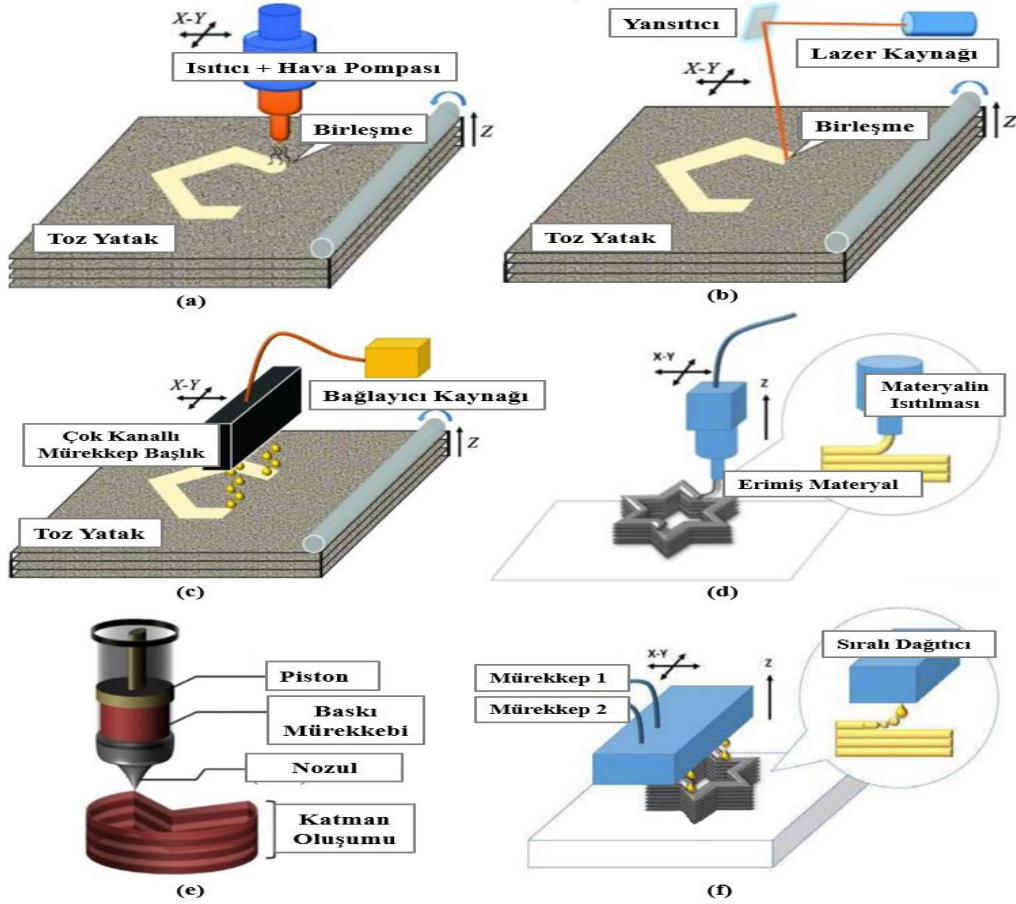
3D GIDA BASKISI VE 3D GIDA YAZICILARININ MEVCUT DURUMU

İstenen formda, lezzette, şekilde, boyutta ve kişiselleştirilebilen yeni ürünler tasarlamak için kullanılan 3D gıda baskısı, bilgisayar destekli yeni bir üretim yaklaşımıdır. Genel olarak modelleme, dilimleme ve yazdırma olmak üzere üç temel basamaktan oluşan 3D baskı işlemi gerçekleştirilirken ilk olarak bastırılmak istenen nesne bilgisayar destekli tasarım yazılımı (Solidworks, Tinkercad, Catia vb.) ile tasarlanmakta ve 3D modelleme STL (stereolitografi) formatına dönüştürülmektedir (Arlı ve Demirbaş, 2015; Ötleş, 2016). STL formatının 3D yazıcı tarafından anlaşılabilir hale getirilmesi için dilimleme işlemi gerekir. Dilimleme işlemi G-code denilen programlama dili vasıtası ile gerçekleştirilir. G-code, adım adım yazıcıdaki eksenlerin nasıl hareket etmesi gerektiğini belirleyen kodlardan oluşur. G-code işleminden sonra yazıcı alınan verilere göre her tabakayı üst üste inşa ederek ürünün baskısı yapılır (Feng vd., 2015; Pallottino vd., 2016).

3D baskı işlemi, bilgisayarda hazırlanmış dijital veriyi kullanarak yazıcı kartuşu içerisine yerleştirilen malzemenin katmanlı biriktirilmesi prensibine dayanır (Yang vd., 2015; Izdebska ve Zolek-Tryznowska, 2016). Bastırılacak gıdanın yapısına bağlı olarak 3D gıda yazıcılarının tasarlanmasında farklı baskı teknolojileri kullanılır

(Şekil 1). Bu farklı teknolojilerle çalışan gıda yazıcılarının besleme kaynağı türü, kullanılan teknikler, çalışma prensibi, bağlama mekanizması

ve bu tekniklerin bazı kullanım alanları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 3D gıda baskısında uygulanan teknolojiler (Sun vd., 2015c; Godoi vd., 2016) (a) Sıcak Hava Sinterleme (b) Selektif Lazer Sinterleme (c) Sıvı Bağlayıcı (d) Erime Ekstrüzyon (e) Yumuşak Materyal Ekstrüzyon (f) Mürekkep Püskürtme

3D gıda yazıcılarında kullanılan baskı teknolojisi, yazdırılabilecek gıda çeşitliliği, kullanım kolaylığı, düşük maliyet gibi faktörler yazıcının tercih edilebilirliğini etkiler. Selektif lazer sinterleme, bağlayıcı püskürtme, mürekkep püskürtme ve ekstrüzyon 3D gıda baskısında yaygın olarak kullanılan teknolojilerdir. Selektif lazer sinterleme (SLS) teknolojisinde, lazer kaynağı yardımıyla toz formundaki bir kartuş içeriğinin katmanlar halinde birikimi sağlanır ve 3D nesnelerin oluşumu gerçekleşir (Shellabear ve Nyrhila, 2004). İnsanların gıda güvenliği kaygıları, lazer ve elektron demetine olan olumsuz bakış açısı bu teknolojinin 3D yazıcı ile gıda üretimi konusunda

kullanımını sınırlandırmaktadır (Liu ve Zhang, 2019). Selektif lazer ve sıcak hava ile sinterleme işlemleri, üretim prosesi karmaşık olan gıdaları hızlı bir şekilde üretme avantajı sağlar. Bununla birlikte, bu teknolojiler sadece nispeten düşük erime noktasına sahip şeker ve yağ tabanlı malzemeler için uygundur. Makine yapısının yanı sıra imalat işlemlerinde de birçok değişken dahil olduğu için sistem karmaşıktır (Sun vd., 2015b). Bağlayıcı püskürtme teknolojisi, hızlı imalat ve düşük malzeme maliyeti gibi avantajlar sağlamakla birlikte, üretilen ürünün yüzeyinin pürüzlü olması ve yüksek makine maliyeti gibi dezavantajlara da sahiptir. Bu teknoloji ile albenili gıdalar

üretilebilmesine rağmen, elde edilen ürünler besin değeri düşük, şeker içeriği ise yüksek olduğu için diyabet, obezite ve kalp hastalığı ile ilişkilendirildiğinden sağlık için tehdit oluşturmaktadır, bu durum bağlayıcı püskürtme teknolojisinin pazar potansiyelini olumsuz yönde etkilemektedir (Sun vd., 2015b). Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi ile çalışan yazıcılar ise genellikle düşük viskoziteli materyalleri yazdırmak için kullanılır. Baskı hassasiyeti ve doğruluğu açısından, mürekkep ve alt tabaka yüzeyi arasındaki uyumluluk, baskı materyalinin reolojik özellikleri, sıcaklık ve baskı hızı başarılı bir baskı için önemli faktörlerdendir. Karmaşık gıdaların baskısında kullanılamaması bu teknolojinin en büyük dezavantajıdır (Liu vd., 2017). Ekstrüzyon temelli

baskı teknolojisi çikolata, jelatin, şeker gibi sıcaklık uygulandığında akışkan forma geçebilen gıdaların, püre, jel ve hamur halindeki materyallerin basımında kullanılabilir (Yang vd., 2015). Doğrudan yazdırılmayan gıdalara ksantan gam, jelatin, gam arabik, karragenan vb. hidrokolloidlerin ilavesi yapılarak ürün yapısı desteklenmekte ve şeklin deformasyonu önlenmektedir. Ayrıca, formülasyona enzim ilavesi yapılarak da yapının korunması sağlanabilir. Yang vd. (2015) hindi, kereviz ve deniztarığı bazlı üç ayrı formülasyona transglutaminaz enzimi ilave ederek 3D yazıcıda farklı şekillerde yazdırılan ürünlerde enzim ilavesinin pişirme sonrası yapının korunmasını sağladığını bildirmişlerdir.

Çizelge 1. 3D gıda baskısında kullanılan teknikler (Godoi vd., 2016; Holland vd., 2018; Liu vd., 2018; Wang vd., 2018; Liu vd., 2019b; Warner vd., 2019)

Besleme Kaynağı	Kullanılan Teknik	Prensip	Bağlama Mekanizması	Kullanım Alanı
Sıvı Faz	Yumuşak materyal ekstrüzyon	Ekstrüzyon ve biriktirme	Faz değişimi yok; materyalin reolojik özellikleriyle kontrol edilen katmanlar	Kek kreması, işlenmiş peynir, et püresi, hamur, tuz ilaveli balık surimi, soya yağı/peyniraltı suyu protein izolatu karışımı
	Erime ekstrüzyonu	Ekstrüzyon ve biriktirme	Soğutma ile katılma	Çikolata ve şekerlemeler
	Hidrojel ekstrüzyon	Ekstrüzyon ve biriktirme	İyonik veya enzimatik çapraz bağlanma	Ksantan gam, jelatin, κ -karragenan
	Mürekkep püskürtmeli	Damlacık bırakma	Faz değişimi yok; materyalin reolojik özellikleriyle kontrol edilen katmanlar	Reçel, çikolata, şekerleme, jöle, likit hamur, peynir, et macunu
Katı Faz (Toz)	Sıvı bağlayıcı	Damlacık bırakma ve toz bağlama	Toz ile bağlayıcı arasındaki adhesif kuvvetler ve kimyasal reaksiyonlar	Çikolata, selüloz/ksantan gam/glukomannan karışımı
	Selektif lazer sinterleme	Toz bağlama ve ısı kaynağı (lazer)	Sinterleme ve eritme	Şeker ve Nesquik
	Sıcak hava sinterleme ve eritme	Toz bağlama ve ısı kaynağı (sıcak hava)	Sinterleme ve eritme	Şeker
Hücre Kültürü	Biyo-yazdırma	Damlacık bırakma	Kendiliğinden yapılan katmanlar	Et

Gıda tasarımında 3D baskı tekniğinin kullanılmasına yönelik araştırmalar hızla devam ederken, amaca uygun teknolojinin kullanıldığı ticari 3D yazıcılar da pazarda yerini almaktadır. Günümüzde ticari olarak kullanılan farklı baskı teknolojileri ile çalışan 3D yazıcılara ait örnekler

Çizelge 2’ de verilmiştir. Güncel literatür verileri ve gıdalar için uygun 3D baskı teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda en yaygın kullanılan gıda baskı teknolojisinin ekstrüzyon temelli baskı teknolojisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Piyasadaki bazı 3D gıda yazıcılarının avantaj ve dezavantajları (Sun vd., 2015c; Sun vd., 2018; Tan vd., 2018; Desktop Machinery, 2020; FoodBot, 2020)

Gıda Yazıcı Markası	Avantaj	Dezavantaj
Choc Creator V2.0 Plus	Kablosuz ağa bağlanarak çalışabilme	Yalnızca çikolata baskısı
Food Jetting Printer	Yüksek baskı kalitesi, kompleks tasarım	Pahalı baskı platformu, yüksek enerji tüketimi
Foodini	Sıcaklık kontrolü	Baskı materyali değiştirirken zaman kaybı
Foodjet	Yüksek baskı kalitesi	Pahalı yazıcı başlığı ve baskı platformu, yavaş baskı
BeeHex	Kendini temizleyebilme özelliği	Temizleme sisteminin karmaşıklığı
Barilla Pasta	İngrediyenlerin kolay hazırlanabilirliği	Yalnızca makarna baskısı
Procusini 3.0 Dual	Kolay kartuş dolumu ve manyetik kartuş haznesi	Düşük üretim kapasitesi
Ultimaker 2+	Çift başlık kullanılabilirliği	Baskı materyal haznesi 3D yazıcı sisteminin dışında
F3D	Pişirme lambası	Baskı işlemi ile eş zamanlı pişirememe
Chefjet	Kompleks tasarım, renkli ürünler, kaliteli baskı oluşturulabilmesi	Yavaş baskı, pahalı baskı platformu
Fab@Home	Modüler	Açık kaynak kodlu olması; internet saldırılarına karşı korumasız
F5	Yüksek kartuş kapasitesi	Yalnızca bir malzeme baskısı
QiaoKe	Sürekli çalışabilme	Yalnızca çikolata baskısı
Discov3ry 2.0	Çift başlık kullanılabilirliği	Baskı materyal haznesi 3D yazıcı sisteminin dışında
WiiBoox Sweetin	Kullanım kolaylığı	Düşük üretim kapasitesi
Zmorph VX	Baskı hassasiyeti yüksek	Isıtma özelliği yok
FoodBot D2	Çift başlık kullanılabilirliği, cihaz hafızasında hazır tarifler bulunması	Diğer yazıcılara göre yüksek fiyat

Gıdaların 3D baskısında kullanılan hammaddeler farklı özellikte olabilir. Pasta sosu, peynir, çikolata, humus gibi hidrojel formunda olabilen bazı malzemeler 3D baskı işleminin ardından yapısını

ve şeklini kolaylıkla kararlı bir şekilde koruyabilir. Bu tür baskı materyallerine yazdırılabilir (doğal) gıda maddeleri adı verilir ve baskı işleminin ardından elde edilen ürünlerde herhangi bir ileri

işlemeye ihtiyaç duyulmaz. İnsanlar tarafından yaygın olarak tüketilen bazı gıdalar (etler, pirinç, meyve, sebze v.b.) ise yazdırılmaz (geleneksel) gıda maddeleri sınıflandırmasında yer almaktadır. Ön işlemler (meyvelerin/sebzelerin suyunu sıkma, pirinç haşlama veya öğütme, eti püre haline getirme vb.) uygulanarak ve formülasyon içerisine jelatin, κ -karragenan, nişasta gibi hidrokolloidlerin ilavesi yapılarak doğrudan yazdırılmayan bu gıdalara ekstrüzyon yeteneği kazandırılmaktadır (Southerland vd., 2011; Sun vd., 2015a; Bulut, 2019). Uygun gıda baskı materyallerinin seçimi ve formülasyonların hazırlanmasının ardından 3D baskı işlemi için hazırlanan gıda kartuşları yazıcıya yerleştirilmekte ve baskı işlemi başlanmaktadır.

Kartuş içerisinde yer alan gıdanın reolojik ve tekstürel özellikleri ile baskı işleminin ardından

gıdanın şeklinin bozulmadan kalmasının sağlanabilmesi yüksek kaliteli 3D baskı işleminin başarısı için önemli hususlardır. Ayrıca, yazdırılacak ürünün şeklinin tasarımı, yazıcı yollarının baskı malzemesi ile olan uyumu, ekstrüzyon kanalının genişliği, şeklin katman yüksekliği, yazıcı başlığının hareket hızı, nozul çapı, yazdırma yüksekliği gibi parametreler de 3D gıda baskı kalitesini etkileyen önemli faktörlerdendir (Dankar vd., 2018; Bulut, 2019). Tüm bu faktörlerin optimize edilmesi ve başarılı bir 3D yazdırılmış ürün elde edebilmek için, konu üzerinde çalışan araştırmacıların gıdaların, kullanılan ingrediyenlerin özellikleri ve bileşimleri ile 3D yazıcı yazılım ve donanım özellikleri hakkında bilgi sahibi olmaları büyük önem taşımaktadır. Şekil 2’de 3D gıda baskısında önem taşıyan bazı fizikokimyasal, reolojik ve yapısal parametreler verilmiştir.



Şekil 2. 3D gıda baskısında önemli bazı faktörler (Dankar vd., 2018; Vancouwenberghe vd., 2018; Huang vd., 2019; Liu vd., 2019a; ArtıBoyut, 2020)

3D GIDA YAZICILARININ POTANSİYEL KULLANIM ALANLARI

Geleneksel gıda üretim yöntemleri ile kıyaslandığında daha albenili ürünlerin, istenilen yapı ve şekil kazandırılarak elde edilebilmesi, 3D baskı teknolojisini heyecan verici bir alternatif haline getirmiştir. 3D gıda baskısı, son yıllarda gündeme gelen; yaşlılar, çocuklar, hamileler ve sporcular gibi özel tüketici gruplarının taleplerini karşılamada önem taşıyan bir uygulamadır (Godoi vd., 2016; Aday ve Aday, 2020). Bu teknoloji ile çocuklar meyve-sebze tüketimi için teşvik

edilmekte, yutma güçlüğü çeken bireyler için yumuşak tekstüre sahip ve kolay yutulabilir gıdalar üretilmekte, uygun tekstüre sahip yeni ürünler geliştirilmekte ve atık oluşumu azaltılabilmektedir (Yang vd., 2015; Kouzani vd., 2017).

Hobi, araştırma ve eğitim amaçlı kullanılabilen 3D gıda yazıcıları gelecekte restoranlar gibi toplu tüketim yerlerinde, butiklerde özel tasarım gıdaların (şekerleme/kek/çikolata vb.) oluşturulmasında ve endüstride üretim amacıyla da aktif olarak kullanılacaktır (Rubio ve Hurtado,

2019). Ayrıca, bu yazıcılar gıda üretiminde pilot testlerin yapılmasında kullanılarak gıda ve su israfının azaltılmasına, enerjiden ve zamandan tasarruf sağlanmasına, böylece sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayacaktır (Çelik, 2015; Yang vd., 2015). Yaşam döngü analizi ile makarna üretim ve dağıtım zincirinde 3D baskı teknolojisinin sürdürülebilirliği ve çevreye etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada (Lopez Galdeano, 2015), geleneksel üretim yöntemleri ile ekstrüzyon temelli 3D baskı teknolojisi karşılaştırılmıştır. Makarna yazdırmak için gerekli olan aparatların makarna endüstrisi ekipmanları ile uygunluğu, üretimde kalıp kullanılmaması ve daha az işlem gerektirmesi 3D baskı teknolojisinin sürdürülebilir olduğunu göstermiştir. Sadece Avrupa’da yılda yaklaşık 77 milyon ton gıda kaynaklı üretime ait ve evsel atık olduğu düşünülürse, 3D baskı teknolojisinin yaygınlaşmasıyla gıda israfının yıllık 19 milyon ton azaltılacağı, ayrıca, su ve enerji tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Hollanda’daki Upprinting Food firması bayat ekmek, zedelenmiş satılmayan meyve ve sebzeler, restoranlardaki artan gıdaları kullanarak 3D yazdırılmış atıştırılabilir ürünler üreterek yiyeceklerin israf edilmeden geri dönüştürülebileceğini göstermiştir (Boissonneault, 2019).

Meslekleri gereği belirli zamanlarda izole edilmiş bölgelerde çalışma yapmak zorunda olan jeoloji, çevre bilimi ve uzay bilimi ile ilgilenen uzmanlar 3D yazıcıları kullanarak kendi gıdalarını üretebilirler (Boissonneault, 2019). NASA, 2013 yılında 3D yazıcılar ile uzay istasyonlarında isteğe bağlı gıda üretimi için önemli bir proje bütçesi ayırmış (Teffansky vd., 2013), böyle bir proje ile uzayda gıda depolama sorununun çözülmesi, astronotların dengeli bir şekilde kalori alımının sağlanması, profesyonel bir personele ihtiyaç duymadan 3D yazıcılar ile çok çeşitli ve istenilen özellikte gıdaların üretiminin sağlanması amaçlanmıştır (Lin, 2015; NASA, 2015). Bu teknoloji ile uzayda nispeten daha basit bir pişirme ve gıdaların yazdırılarak taze bir şekilde tüketilmesi planlanmıştır (Lin, 2015).

Disfaji (yutma ve çiğneme güçlüğü); Alzheimer, Parkinson, beyin felci, Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS) gibi hastalıkların sonucu olarak ortaya

çıkan, bireylerin yaşam kalitesini etkileyen önemli bir sorundur (Ortega vd., 2017; Seo vd., 2019). Disfajiden muzdarip bireyler uygun kıvama sahip gıdalar tüketmelidirler. Aksi takdirde boğulma, nefes alamama, aspirasyon pnömonisi gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Kouzani vd., 2017). Ayrıca, özellikle yutma güçlüğü çeken yatan hastaların günlük diyetlerindeki protein ve kalori hedeflerine mümkün olan en kısa sürede ulaşılması gerekmektedir (Arsava vd., 2018). Et ve et ürünleri bu hastaların protein ihtiyacının karşılanması için en önemli kaynaklardır. Et doğası gereği sert bir yapıya sahip olmasına rağmen 3D baskısı için formülasyon bileşiminde yapısı modifiye edilebilmekte ve yutma güçlüğü çeken bireylerin tüketebileceği form sağlanabilmektedir (Dick vd., 2019). Günümüzde disfajiden muzdarip bireyler için piyasada kıvamı artırılmış içecekler, meyve ve sebze püreleri ile su katılarak yumuşatılmış gıdalar bulunmaktadır. Fakat, bu gıdaların görünüş, tekstür ve lezzet özellikleri bu bireylerde gıda tüketimi konusunda isteksizliğe neden olmaktadır. 3D baskı teknolojisi ile disfaji sorunu yaşayan kişiler için daha yumuşak tekstürlü, bireylerin ihtiyaç duyduğu besin içeriklerine sahip, görsel çekiciliği artırılmış, sürdürülebilir gıdalar hazırlanabilmektedir (Şekil 3). Böylece, bireylerin iştahsızlık sorunu azaltılıp, gıdaları zevkle tüketmeleri de sağlanacağından yaşam kalitesi artırılabilir (Kouzani vd., 2017). 3D yazıcılar bu amaçla yaşlı ve/veya özel tedavi gören hastaların bulunduğu bakım evlerinde rahatlıkla tercih edilebilecektir.

Çocuklar genellikle, meyve ve sebze yeme açısından çok istekli olmayıp, bu gıdaların şekil, tat, renk, koku ve tekstür özellikleri konusunda oldukça seçicidirler. Halbuki, meyve ve sebzeler vitamin, mineral, antioksidan, lif ve diğer gerekli besin öğelerini içerdikleri için çocukların gelişimi için oldukça değerli gıdalardır. 3D baskı teknolojisi, meyve ve sebzelere ek olarak, bu gıdalarda bulunmayan vücuda faydalı bileşenleri katmanlar arasına sıkıştırarak meyve ve sebze alımını sağlayacak albenili, yeni bir tekstüre sahip, eğlenceli ve/veya besleyici gıdalar üretebilen, çocuk dostu şekiller oluşturma yeteneğine sahip bir teknolojidir (Azam vd., 2018). Kelebek şeklindeki kurabiye üzerine yapılan süslemeler,

ekmek üzerine kuş şeklinde yapılmış çilek reçeli baskısı, kelebek şeklinde yazdırılmış buğday unu ve kültür mantarı içeren atıştırma kırıntıları, D vitamini ile zenginleştirilmiş ve çeşitli şekillerde yazdırılmış portakal suyu konsantresi gibi gıdalar bu teknoloji ile yazdırılabilmektedir (Azam vd., 2018; Sun vd., 2018; Zhao vd., 2018; Keerthana vd., 2020). Derossi vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, beyaz fasulye, kurutulmuş mantar, yağsız süt tozu, askorbik asit, limon suyu, muz ve

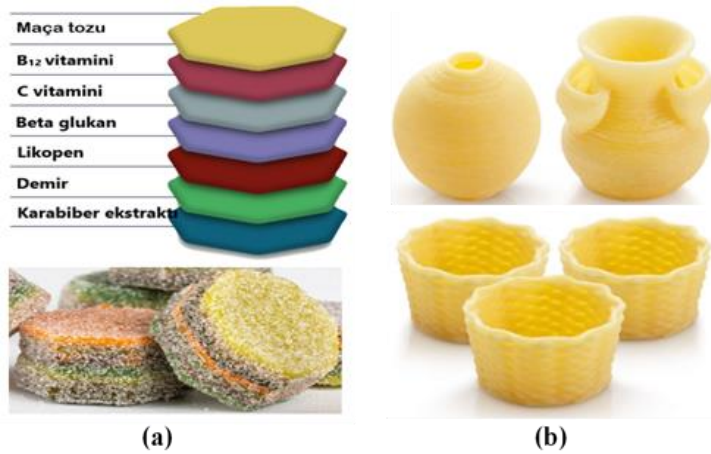
pektin solüsyonu kullanılarak hazırlanmış bir formülasyonun 3D baskısı gerçekleştirilerek çocuklar için demir, kalsiyum ve D vitamini yönünden zengin atıştırma kırıntıları oluşturulmuştur. Bu teknoloji, et tüketicilerine (özellikle yaşlılar ve çocuklara) yönelik geliştirilmiş dokusu ile içeriği ayarlanarak yüksek kaliteli, fonksiyonel et tabanlı ürünler elde etmede yeni ve heyecan verici bir alternatif sağlamaktadır (Bulut vd., 2019a; Bulut vd., 2019b).



Şekil 3. Tekstürü modifiye edilmiş balık eti, domuz eti, havuç püresi örnekleri (Kouzani vd., 2017; Noort vd., 2017; Dick vd., 2020)

Günümüzde vücut direncini artırmak, saç ve deri onarımına yardımcı olmak, bağışıklık sistemini güçlendirmek, zihin gelişimini desteklemek gibi fonksiyonel işlevlere sahip farklı gıda bileşenleri kullanılarak kişiye özel gıdalar ticari olarak da üretilmeye başlanmıştır. İngiltere’de bulunan Nourished firması tarafından kişinin ihtiyaçları doğrultusunda pek çok alternatif gıda içerisinden seçilen maça turpu (*Lepidium meyenii*) tozu, B₁₂ ve C vitaminleri, beta glukan, likopen, demir ve

karabiber ekstraktı gibi bileşenler ile üretilen 3D yazdırılmış fonksiyonel ürünler Şekil 4(a)’da gösterilmiştir (Nourished, 2019). Benzer şekilde alerjik bünyeye sahip olan kişilerin ihtiyacına uygun olarak özel gıdalar da üretilebilmektedir. Barilla’nın da desteğiyle BluRhapsody firması tarafından ticari olarak üretilen estetik şekilli makarnalar (Şekil 4 (b)) internet sitesi üzerinden satışa sunulmuştur (Wolf, 2019).



Şekil 4. (a) Özel ihtiyaçlar için hazırlanmış, 3D yazdırılmış fonksiyonel gıda örneği (Nourished, 2019), (b) BluRhapsody firması tarafından üretilen makarnalar (BluRhapsody, 2019)

3D yazıcılarla şeker, hamur, çikolata, peynir vb. çeşitli gıdalar ile hem lezzetli hem de görsel olarak çekici şekerlemeler veya yiyecek süslemeleri yazdırılabilmektedir. Bu sistemler kullanılarak birbirine geçen tatlılar, çeşitli şeker heykelleri ve

bütün haldeki düğün pastaları gibi karmaşık yapılar oluşturulabilmektedir (Liu vd., 2017). Şekil 5'te 3D yazıcıda yazdırılmış çikolata, reçel, portakal suyu konsantresi ve makarna örnekleri verilmiştir (Noort vd., 2017).



Şekil 5. 3D yazdırılmış albenili ürünler (Noort vd., 2017; Azam vd., 2018; Zhao vd., 2018)

GELECEKTE 3D GIDA YAZICILARI

Profesyonel 3D yazıcılar, yeni gıda malzemeleri, tasarım ve 3D baskı süreçleri arasındaki entegrasyonla birlikte, 3D gıda baskı çalışmalarına olan eğilimin önümüzdeki yıllarda artarak devam etmesi beklenmektedir. FAO'nun yayınladığı verilere göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9.1 milyara ulaşacağı öngörülmektedir (FAO, 2019). Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, su kıtlığı ve gıda israfı gibi konular gıda güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır, gelecekte dünya nüfusunun nasıl besleneceği ile ilgili kaygılar da gündemden güne artmaktadır. 3D gıda baskı teknolojisi bu riskleri ve kaygıları azaltmada önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir.

İmalat sanayiini inşa ederken fiziksel altyapı, makine ve teçhizat masrafları, personel ihtiyaçları vb. giderleri karşılamaya ihtiyaç vardır. Bu masraflar gelişmekte olan ülkelerde imalat yapmak için çoğu zaman bir engel teşkil etmektedir. 3D baskı, sürdürülebilir kalkınma için alternatif bir yol sunabilir ve gelişmekte olan ülkelerin önemli fiziksel altyapı yatırımlarına ihtiyaç duymadan endüstriyel rekabet güçlerini geliştirmelerine yardımcı olabilir. 3D baskı teknolojisi, zaman

içerisinde bireysel serbest çalışanlara ve küçük ölçekli üreticilere de iş fırsatları sunacaktır (Fuldaer, 2019).

Hücre kültürü teknolojisi 3D baskı teknolojisine entegre edilerek lezzeti ve tekstürü hayvan etine benzeyen et ve et ürünleri oluşturulabilmektedir. Bu sayede, 3D gıda baskı teknolojisinin hayvan refahı korunarak, su israfı ve çevreye karbon salınımı olmadan dünya gıda krizinin çözümüne yardımcı olacağı, böylece çevreye verilen zararın azaltılacağı tahmin edilmektedir (Atlantic Council, 2011). Fonksiyonel gıdalar kapsamında 3D baskı teknolojisi ile yağ, tuz ve şeker içeriği azaltılmış ürünler üretilerek bireylerin yaşam kalitesi iyileştirilebilir. Gıdaların kişiselleştirilmesinin yanı sıra, yazıcının ilgili ayarları yapılarak bireyler için oluşturulacak gıdalarda porsiyon kontrolünün de sağlanabileceği düşünülmektedir (Rubio ve Hurtado, 2019; Caulier vd., 2020).

Otomat makineleri şeklinde olabilen 3D gıda yazıcıları okullar, kütüphaneler, huzurevleri, hastaneler, tren istasyonları, alışveriş merkezleri vb. yerlerde taze hazırlanmış, kişiselleştirilmiş gıdaların oluşturulabilmesine olanak sağlayacaktır.

Yakın gelecekte 3D yazıcılara internet üzerinden bağlı herhangi bir cihaz kullanılarak doğrudan kullanıcı hesabından sipariş vermek de mümkün olacaktır (Rubio ve Hurtado, 2019).

3D gıda baskısı, teknolojinin sunduğu birçok avantaja rağmen hem teknolojik hem de sosyal açıdan zorluklarla karşı karşıyadır. Teknolojik açıdan değerlendirildiğinde, gıda endüstrisinin dikkatini çeken, hızla gelişen bu teknolojinin endüstriye entegre edilebilir şekilde ölçeklendirilmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca, 3D yazdırılan gıda formülasyonuna bağlı olarak, yazıcı besleme sistemlerinin ve baskı için sıcaklık sistemlerinin kontrollerinin yapılması, baskı platformunun ve yazıcı başlıklarının baskıya uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bunların yanı sıra, gıda baskısı gerçekleştirilirken mikrobiyel stabilitenin ve gıda güvenliğinin sağlanması da ele alınması gereken bir diğer konudur. Beslenme kalitesini, lezzetini ve güvenliğini iyileştirmek için gıdaların çoğunun baskı sonrası ayrı bir işlemden geçirilmesi gerekecektir. Sosyal açıdan bakıldığında ise tüm yeni teknolojilerde olduğu gibi, imalat işlerini azaltacak, bu dezavantaj özelliklerle, insan iş gücü maliyetinin düşük olduğu ülkelerin ekonomilerinde olumsuz bir etki yapacaktır (Akben, 2017). Sosyal açıdan bir diğer dezavantaj da tüketicilerin “3D baskı” terimine olan yaklaşımlarıdır. Lupton ve Turner (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, 3D yazdırılmış çeşitli gıdaların 30 panelist tarafından değerlendirilmesi istenmiş, tüketicilerin yazdırılan gıdalara karşı olan tutumları incelenmiştir. Bazı katılımcılar 3D yazdırılmış gıdaların bakteri yükünün çok yüksek olduğundan endişe duyarken, diğer bir grup katılımcı 3D gıda baskısında renkli mürekkepler, kimyasallar ve plastik gibi malzemelerin kullanıldığından endişe duyduklarını belirtmişlerdir. Manstan ve McSweeney (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 3D yazdırılmış kurabiye, pizza, köfte ve patates püresi ürünlerinin 329 tüketici tarafından kabul edilebilirliği test edilmiştir. İlk olarak tüketicilerin 3D gıda baskısı teknolojisi ve 3D yazdırılan ürünler karşısındaki tutumlarını belirlemek için anket yapılmış, bu ankettan elde edilen yanıtlara göre üç grup belirlenmiştir. Birinci grupta, 3D gıda baskısı hakkında daha fazla bilgi edinmek

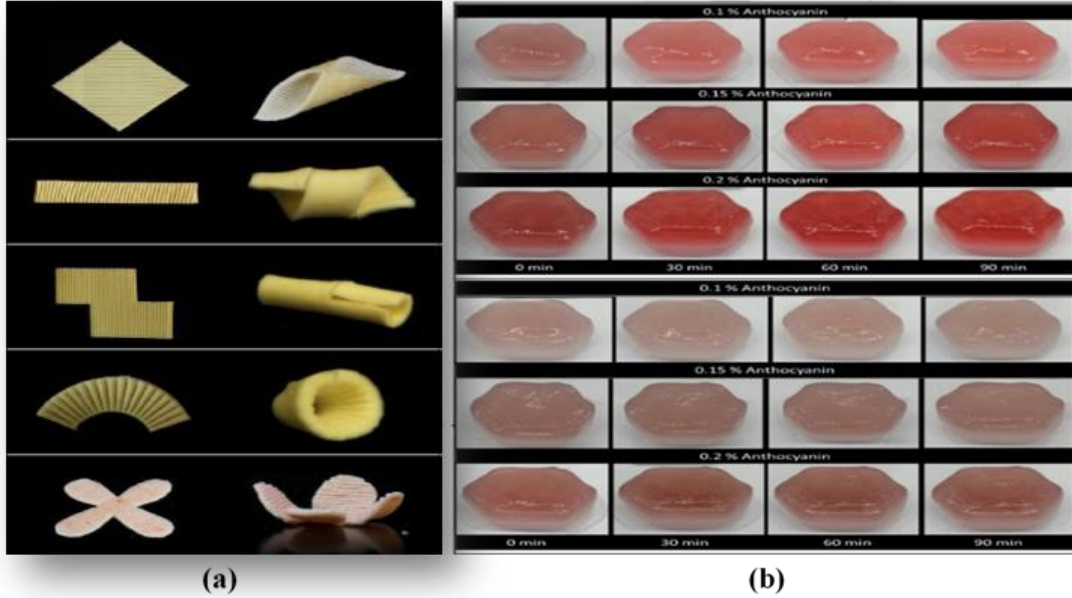
isteyen ve bu teknolojinin ürün maliyetini düşürebileceğine ve yararları arttırabileceğine inanan 140 katılımcı; ikinci grupta, 3D yazdırılmış gıdaları denemekten heyecan duymayan 98 katılımcı; üçüncü grupta ise, 3D yazdırılan ürünlerin kabul edilemez olduğuna ve bu gıdaların tüketmek için güvenilir olmadığına inanan 91 katılımcı yer almıştır. Mantihal vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tekstürü modifiye edilerek 3D yazdırılmış çikolatanın tercih durumu ve tüketici algısı üzerine iki test gerçekleştirilmiştir. İlk testte, otuz yarı eğitimli panelistten sırasıyla %25, %50 ve %100 dolgu yüzdesine sahip bal peteği desenli olarak 3D yazdırılmış üç adet çikolata örneğinde görünüş ve sertlik özelliklerine bağlı tercihlerini belirtmeleri; ikinci testte ise aynı panelistlere %100 dolgu yüzdesine sahip 3D yazdırılmış ürün ile ticari çikolata örneği arasındaki tercihlerini ifade etmeleri istenmiştir. Sertlik için genel tercihlerde önemli bir fark olmadığı; ancak panelistlerin, %100 dolguya kıyasla %25 ve %50 dolgu yüzdesine sahip örneklerin görünüşünü daha çok tercih ettikleri görülmüştür. Ayrıca, ticari ve %100 dolgu örnekleri arasında tercih açısından önemli bir fark belirlenmemiştir.

Son yıllarda oldukça yoğun bir şekilde araştırılan 3D baskı teknolojisinin her yeni teknolojiye olduğu gibi geliştirilmeye ihtiyacı vardır. 3D baskı teknolojisinin eksik yönlerini tamamlamak amacıyla geliştirilen 4D baskı, ilk kez 2013 yılında ortaya atılmış yeni bir teknolojidir (Miao vd., 2017). 4D baskı teknolojisi, 3D baskının devamı niteliğinde bir teknoloji olup 3D baskıya çok benzer bir teknoloji kullanılmaktadır. Ancak nem, pH, sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek yazdırılan materyallerin şekli, duyu özellikleri (renk, tat ve lezzet) ve işlevselliği istenildiği gibi değiştirilebilmektedir (Şekil 6). Bu değişim dördüncü boyut olarak nitelendirilmektedir (Javaid ve Haleem, 2019).

4D yazdırılan gıdaların özelliklerinin zaman içerisinde değişebilir olması özellikle iştahsız çocukların yemek deneyimlerini daha eğlenceli bir hale getirebilir. 4D kavramının temelleri giderek daha net hale geldikçe tıp, kimya, malzeme bilimi ve gıda gibi birçok alanda uygulaması artacaktır

(Truby ve Lewis, 2016; Miao vd., 2017). Kompozit malzemelerde 4D baskının kullanıldığı güncel çalışmalar bulunmaktadır (Hoa ve Cai, 2020; Oladapo vd., 2020; Shao vd., 2020). Bu

teknoloji mühendislerin, tasarımcıların hayal gücünü harekete geçirerek yeni ürünlerin geliştirilmesi ve yeni fikirlerin uygulanması için yardımcı olacaktır.



Şekil 6. 4D teknoloji kullanılarak oluşturulan örneklerde (a) sıcaklık etkisiyle şekilde, (b) süre ve antosiyanin konsantrasyonu etkisiyle renkte meydana gelen değişim (Ghazel vd., 2019; Tao vd., 2019)

SONUÇ

Yapılan araştırmalar doğrultusunda 3D gıda yazıcıları ile gerçekleştirilen çalışmaların hızla devam ettiği ve gelecekteki kullanım potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 3D gıda baskı teknolojisi, kişiye özel gıdaların üretimi, gıdaların raf ömrünü uzatma, yeni tekstür ve içeriğe sahip fonksiyonel ürünlerin üretimi gibi avantajlarından ötürü gıda teknolojisinde yeni ve ilgi çekici bir alternatif sağlamaktadır. Ham madde kayıplarının azaltılması ve atıkların fonksiyonel gıdaların üretimine dahil edilebilir olması, karbon ayak izini azaltması, prototip üretilirken kişi veya işletmelere zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması gibi avantajları sebebiyle gelecek yıllarda gıda endüstrisinin daha çok ilgisini çekeceği ön görülmektedir. En yeni teknolojilerle birlikte 3D gıda yazıcılarının gelişmesi, yazdırılabilir gıda formülasyonlarının iyileştirilmesi, 4D baskı teknolojisinin ilerlemesi ve yazdırılacak ürün tasarımlarının çeşitlendirilmesi ile 3D gıda yazıcılarının kullanımında bir artış gözleneceği

aşıkârdır. İnsanların yaşam kalitesini artırmak ve sürdürülebilir kalkınmayı hızlandırmak için toplumların teknolojiyi kullanarak iş birliği içinde olmasının sağlanması amacıyla ortaya çıkan Toplum 5.0 kavramı içerisinde 3D gıda yazıcılarının gelecekte daha çok yer alacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

KC ve EGB makaleyi birlikte planlamış, yazım, inceleme ve düzenleme aşamalarında katkıda bulunarak, son halini okumuş ve onaylamışlardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 218 O 017).

KAYNAKLAR

- Aday,S., Aday, M.S. (2020). 3 Boyutlu yazıcılann gıda endüstrisinde kullanımı. Türkiye 13. Gıda Kongresi, 21-23 Ekim 2020, Çanakkale, Türkiye, 444 s.
- Akben, İ. (2017). 3 Boyutlu yazıcılar ve tedarik zincirine etkileri. *JAVStudies*, 3(10): 20–35, doi: 10.23929/javs.170.
- Arlı, B., Demirbaş, Y.K. (2015). *Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı*. Abaküs Kitap Yayınevi, Fatih, İstanbul, 272 s. ISBN-13 :978-6059129022.
- Arsava, E.M., Aydoğdu, İ., Güngör, L., Togay Işııkay, C., Yaka, E. (2018). İnme hastalarında nütrisyonel yaklaşım ve tedavi, Türkiye için uzman görüşü. *Türk Nöroloji Dergisi*, 24: 226-242. doi: 10.4274/tnd.92603.
- ArtıBoyut (2020). 3D Yazıcı-Basım yapılırken dikkat edilmesi gerekenler. <https://www.artiboyut.com./index.php/tr/bilgi-bankasi/48-3d-%20yazici-basimyapilirken-dikkat-edilmesi-gerekenler> (Erişim Tarihi: 09 Eylül 2020).
- Atlantic Council (2011). Strategic foresight report-Could 3D printing change the World? Technologies, potential, and implications of additive manufacturing. Washington DC, the USA.
- Azam, R.S.M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-d enriched orange concentrate. *Food Biophys.*, 13(3): 250-262. doi: 10.1007/s11483-018-9531-x.
- Bakan, İ., Erşahan, B., Kefe, İ., Bayat, M. (2011). Kamu ve özel hastanelerde tedavi gören hastaların sağlıkta hizmet kalitesine ilişkin algılamaları. *KSÜ İİBF Dergisi*, 1(2): 1-16.
- Berman, B., Zarb, F.G., Hall, W. (2012). 3-D printing: the new industrial revolution. *Bus Horiz.*, 55(2): 155–162. doi: 10.1016/j.bushor.2011.11.003.
- BluRhapsody. (2019). Shop. <https://blurhapsody.com/shop-pasta-3d/> (Accessed: 28 October 2020).
- Boissonneault, T. (2019). Upprinting food transforms food waste into edible 3D printed snacks. <https://www.3dprintingmedia.network/upprinting-food-food-waste-edible-3d-printed-snacks/> (Accessed: 01 October 2020).
- Bulut, E.G. (2019). Üç Boyutlu (3D) Gıda Yazıcısı Kullanılarak Fonksiyonel Tavuk Eti Ürünü Üretimi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 94 s.
- Bulut, E.G., van Bommel, K., Candoğan, K. (2019a). 3B yazıcı kullanılarak fonksiyonel tavuk eti ürünü üretimi. 5. Uluslararası Beyaz Et Kongresi, 24-28 Nisan, Manavgat, Türkiye, 95-99 s.
- Bulut, E.G., van Bommel, K., Candoğan, K. (2019b). Development of a fuctional chicken meat-based snack by 3D food printing: effects of starch addition and cooking methods. XVIII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products and XXIV European Symposium on the Quality of Poultry Meat, 23-26 June, Book of Abstracts, Çeşme, Turkey, 153 p.
- Caulier, S., Doets, E., Noort, M. (2020). An exploratory consumer study of 3D printed food perception in a real-lifemilitary setting. *Food Qual Pref.*, 86: 104001. doi:10.1016/j.foodqual.2020.104001.
- Çelik, D. (2015). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Karabük, Türkiye, 220 s.
- Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E.L., Sepulcre, F., Pujola, M. (2018). 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends Food Sci Technol.*, 75: 231-242. doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.018.
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2017). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *J. Food Eng.*, 5(2): 65–75. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015.

- Desktop Machinery (2020). Wiiibox Sweetin. <https://www.desktopmachinery.com/product/wiiibox-sweetin/> (Accessed: 10 Eylül 2020).
- Dick, A., Bhandari, B., Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat Sci.*, 153: 35-44. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.03.005.
- Dick, A., Bhandari, B., Dong, X., Prakash, S. (2020). Feasibility study of hydrocolloid incorporated 3D printed pork as dysphagia food. *Food Hydrocoll.*, 107: 105940. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105940.
- FAO (2009). How to Feed the World in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf (Accessed: 17 Eylül 2020).
- Feng, P., Mneg, X., Chen, J.F., Ye, L. (2015). Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders. *Constr Build Mater.*, 93: 486-497. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.132.
- FoodBot (2020). Foodbot D2 multi ingredient dual head food 3D printer. <https://www.3dprintersonlinestore.com/foodbot-d2-food-3d-printer> (Accessed: 10 Eylül 2020).
- Fuldauer, E. 2019. 3D printing will boost sustainable development. <https://www.smartcitylab.com/blog/digital-transformation/3d-printing-will-boost-sustainable-development/> (Accessed: 11 Ekim 2020).
- Ghazel, A.F., Zhang, M., Liu, Z. (2019). Spontaneous color change of 3D printed healthy food product over time after printing as a novel application for 4D food printing. *Food Bioproc Tech.*, 12: 1627-1645. doi: 10.1007/s11947-019-02327-6.
- Godoi, F.C., Prakash, S., Bhandari, B.R. (2016). 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *J Food Eng.*, 179: 44–54. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025.
- Godoi, F.C., Bhandari, B.R., Prakash, S., Zhang, M. (2019). An introduction to the principles of 3D food printing. In: *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*, Godoi, F.C. (ed.), Bhandari, B.R. (ed.), Prakash, S. (ed.), Zhang, M. (ed.), Academic Press, London, the UK, pp. 1-18. ISBN: 012814565X, 9780128145654.
- Hoa, S.V., Cai, X. (2020). Twisted composite structures made by 4D printing method. *Compos Struct.*, 238: 111883. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.111883.
- Holland, S., Tuck, C., Foster, T. (2018). Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydr Polym.*, 200: 229-238. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.07.064.
- Huang, M., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Fabrication of gel-like emulsions with whey protein isolate using microfluidization: Rheological properties and 3D printing performance. *Food Bioproc Tech.*, 12: 1185-1196. doi: 10.1007/s11947-019-02344-5.
- Hull, CW.1984. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. Google Patents. US4575330A.
- Izdebska, J., Zolek-Tryznowska, Z. (2016). 3D food printing – facts and future. *Agro Food Industry Hi Tech.*, 27(2): 33-36.
- Javaid, M., A. Haleem. (2019). 4D printing applications in medical field: A brief review. *Clin Epidemiol Glob Health.*, 7(3): 317–321. doi: 10.1016/j.cegh.2018.09.007.
- Keerthana, K., Anukiruthika, T., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C. (2020). Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *J Food Eng.*, 287: 110116. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110116.
- Kouzani, A.Z., Adams, S.J., Whyte, D., Oliver, R., Hemsley, B., Palmer, S., Balandin, S. (2017). 3D Printing of food for people with swallowing difficulties. The International Conference on Design and Technology, 05–08 December, Geelong, Australia, 23–29 p.
- Lin, C. (2015). 3D food printing: A taste of the future. *J Food Sci Educ.*, 14(3): 86–87. doi: 10.1111/1541-4329.12061.
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in

- food sector. *Trends Food Sci Technol.*, 69(A): 83-94. doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.018.
- Liu Z, Bhandari B, Prakash S, Zhang M. (2018). Creation of internal structure of mashed potato construct by 3D printing and its textural properties. *Food Res Int.*, 111: 534-543. doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.075.
- Liu, Y., Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J.M., Liu, X., Zhou, P. (2019a). Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing. *LWT-Food Sci Technol.*, 102: 338-346. doi: 10.1016/j.lwt.2018.12.053.
- Liu, Y., Zhang, W., Wang, K., Bao, Y., Renstein, J.M., Zhou, P. (2019b). Fabrication of gel-like emulsions with whey protein isolate using microfluidization: Rheological properties and 3D printing performance. *Food Bioproc Tech.*, 12: 1967-1979. doi: 10.1007/s11947-019-02344-5.
- Lopez Galdeano, J.A. (2015). 3D Printing Food: The Sustainable Future. Master Thesis, Kaunas University, Kaunas, Lithuania, 104 p.
- Lupton, D., Turner, B. (2017). Both fascinating and disturbing: Consumer responses to 3D food printing and implications for food activism, In: *Digital Food Activism*, Schneider, T. (ed.), Eli, K.(ed.), Dolan, C.(ed.), Ulijaszek, S. (ed.), Taylor & Francis Group, Routledge, the UK, pp. 150-167. doi: 10.4324/9781315109930.
- Manstan, T., McSweeney, M.B. (2020). Consumers' attitudes towards and acceptance of 3D printed foods in comparison with conventional food products. *J. Food Sci Technol.*, 55: 323-331. doi: 10.1111/ijfs.14292.
- Mantihal, S., Prakash, S., Bhandari, B. (2019). Texture-modified 3D printed dark chocolate: Sensory evaluation and consumer perception study. *J. Texture Stud.*, 50: 386-399. doi: 10.1111/jtxs.12472.
- Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X., Zhu, W., Lee, S.J., Sarkar, K., Vozzi, G., Tabata, Y., Fisher, J., Zhang, L.G. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Mater Today*, 20(10): 577-591. doi: 10.1016/j.mattod.2017.06.005.
- Nachal, N., Moses, J. A., Karthik, P., Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D printing in food processing. *Food Eng Rev.*, 11: 123-141. doi: 10.1007/s12393-019-09199-8.
- NASA (2015). 3D food printer in space. <https://open.nasa.gov/innovation-space/3d-food-printer-in-space/> (Accessed: 30 Eylül 2020).
- Noort, M. W. J., van Bommel, K., Renzetti, S. (2017). 3D-printed cereal foods. *Cereal Foods World*, 62(6): 272-277. doi: 10.1094/CFW-62-6-0272.
- Nourished (2019). Nourished lab. <https://get-nourished.com/pages/lab> (Accessed: 13 Haziran 2020).
- Oladapo, B.I., Oshin, E.A., Olawumi, A.M. (2020). Nanostructural computation of 4D printing carboxymethylcellulose (CMC) composite. *Nano-Struct. Nano-Objects*, 21: 100423. doi: 10.1016/j.nanoso.2020.100423.
- Ortega, O., Martin, A., Clave, P. (2017). Diagnosis and management of oropharyngeal dysphagia among older persons, state of the art. *J Am Med Dir Assoc.*, 18(7): 576-582. doi: 10.1016/j.jamda.2017.02.015.
- Ötleş, S. (2016). Gıda sektöründe üç boyutlu yazıcıların kullanım olanakları. *Dünya Gıda*, 2016(11): 110-114.
- Pallottino, F., Hakola, L., Costa, C., Antonucci, F., Figorilli, S., Seisto, A., Menesatti, P. (2016). Printing on food or food printing: A review. *Food Bioproc Tech.*, 9(5): 725-733. doi: 10.1007/s11947-016-1692-3.
- Prakash, S., Bhandari, B.R., Godoi, F.C., Zhang, M. (2019). Future outlook of 3D food printing. In: *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*, Godoi, F.C. (ed.), Bhandari, B.R. (ed.), Prakash, S. (ed.), Zhang, M. (ed.), Academic Press, London, the UK, pp. 373-381. ISBN: 012814565X, 9780128145654.
- Rubio, E., Hurtado, S. (2019). 3D food printing technology at home, domestic application, In: *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*, Godoi, F.C. (ed.), Bhandari, B.R. (ed.), Prakash, S. (ed.), Zhang, M. (ed.), Academic Press, London,

- the UK, pp. 289-329. ISBN: 012814565X, 9780128145654.
- Seo, H.G., Yi, Y.G., Choi, YA, Leigh, J., Yi, Y., Kim, K., Bang, M.S. (2019). Oropharyngeal dysphagia in adults with dyskinetic cerebral palsy and cervical dystonia: A preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil.*, 100(3): 495-500. doi: 10.1016/j.apmr.2018.05.024.
- Sezer, D., Taş, T.K. (2012). Türkiye'de fonksiyonel gıdaların tüketim araştırmaları, ürün çeşitliliği ve yasal düzenlemeler. Türkiye 11. Gıda Kongresi, 18 Kasım 2012, Hatay, Türkiye, 41 s.
- Shao, LH., Zhao, B., Zhang, Q., Xing, Y., Zhang, K. (2020). 4D printing composite with electrically controlled local deformation. *Extreme Mech Lett.*, 39: 100793. doi: 10.1016/j.eml.2020.100793.
- Shellabear, M., Nyrhila, O. (2004). DMLS-Development history and state of the art. Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering (LANE), 21-24 September, Erlangen, Germany, 393-404 p.
- Southerland, D., Walters, P., Huson, D. (2011). Edible 3D printing. Proceeding of NIP & Digital Fabrication Conference (7th International), Society for Imaging Science and Technology, 2-6 October, Vol 2, Minneapolis, the USA, 819-822 p.
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S., Chiu, A. (2015a). A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manuf.*, 1: 308-319. doi: 10.1016/j.promfg.2015.09.057.
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S. (2015b). An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food Bioproc Tech.*, 8(8): 1605-1615. doi: 10.1007/s11947-015-1528-6.
- Sun, J., Peng, Z., Yan, L., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S. (2015c). 3D food printing-An innovative way of mass customization in food fabrication. *Int J. Bioprinting*, 1(1): 27-38. doi: 10.18063/IJB.2015.01.006.
- Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D., Lin, LY. (2018). Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. *J. Food Eng.*, 220: 1-11. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.028.
- Tan, C., Yan Toh, W., Wong, G., Li, L. (2018). Extrusion-based 3D food printing – Materials and machines, *Int J. Bioprinting*, 4(2): 143. doi: 10.18063/ijb.v4i2.143.
- Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, YC., Wang, G., Mondoa, C., Cui, J., Wang, W. (2019). Morphlour: Personalized flour-based morphing food induced by dehydration or hydration method. Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 20-23 October, Louisiana, the USA, 329-340 p.
- Terfansky, M., Thangavelu, M., Fritz, B., Khoshnevis, B. (2013). 3D printing of food for space missions. AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition, 10-12 September, San Diego, the USA. doi: 10.2514/6.20135346.
- Truby, R.L., Lewis, J.A. (2016). Printing soft matter in three dimensions. *Nature*, 540: 371-378. doi: 10.1038/nature21003.
- Vancauwenberghe, V., Delele, M.A., Vanbiervliet, J., Aregawi, W., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2018). Model-based design and validation of food texture of 3D printed pectin-based food simulants. *J. Food Eng.*, 231: 72-82. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.010.
- Wang, L., Zhang, M., Bhandari, Yang, C. (2018). Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. *J. Food Eng.*, 220: 101-108. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.029.
- Warner, E.L., Norton, L.T., Mills, T.B. (2019). Comparing the viscoelastic properties of gelatin and different concentrations of kappa-carrageenan mixtures for additive manufacturing applications. *J. Food Eng.*, 246: 58-66. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.033.
- Whitaker, M. (2014). The history of 3D printing in healthcare. *Ann R Coll Surg Engl.*, 96(7): 228-229. doi: 10.1308/147363514X13990346756481.
- Wolf, M. (2019). Barilla-backed BluRhapsody to launch 3D pasta printing E-commerce service in 2019. <https://thespoon.tech/barilla-backed-blurhapsody-to-launch-3d-pasta-printing-e->

commerce-service-in-2019/ (Accessed: 02 October 2020).

Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B. (2015). Recent development in 3D food printing. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 57(14): 3145–3153. doi: 10.1080/10408398.2015.1094732.

Zhao, H., Wang, J., Ren, X., Li, J., Yang, YL., Jin, X. (2018). Personalized food printing for portrait images. *Comput Graph.*, 70: 188-197. doi: 10.1016/j.cag.2017.07.012.