



Processed Meat Production in 3 Dimensional (3D) Printing Technology

Celalettin Değerli^{1,2,a,*}

¹Pınar Meat Company, Research and Development Center, 35170, Kemalpaşa/İzmir, Turkey

²Food Engineering Department, Ege University, 35100 Bornova/İzmir, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 18/09/2019 Accepted : 03/03/2020</p> <p>Keywords: 3-dimensional printing Meat products Printability Sustainability Personalized nutrition</p>	<p>Both industrial and academic fields, 3-dimensional (3D) printing of food materials is one of the most interesting subjects. Taking attention with its errorless product handling, easy adaptation for personalized nutrition and sustainable properties, 3D printing of foods is also having a potential in the field of health and nutritious products. In this review, potential connection between meat products, personalized nutrition and 3D printing were mentioned briefly. After that, basic working principles of 3D printers and applicability for meat products were explained. Assessment of meat process waste, advantages and limitations, concept of printability and studies in this field were explained and discussed in details.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(5): 1018-1026, 2020

3 Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisinde Et Ürünleri Üretimi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 18/09/2019 Kabul : 03/03/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcı Et ürünleri Yazdırılabilirlik Sürdürülebilirlik Beslenme</p>	<p>3 boyutlu (3D) yazıcılar günümüzde akademik ve endüstriyel çevrelerce ilgi gören konuların başında gelmektedir. Hatasız ürün eldesi, kişiye özel beslenmeye hızlı uyum gösterebilmesi ve sürdürülebilir özellikleri nedeniyle dikkat çekici olan 3D yazıcılar, sağlıklı ve besleyici ürün potansiyeliyle de ilgi gören bir konu haline gelmiştir. Bu derlemede et ürünleri ve beslenme ilişkisi ile kişiye özel beslenmenin 3D yazıcılar ile oluşturulabilecek potansiyel bağlantısına kısaca değinilmiş; daha sonra 3D yazıcıların çalışma prensibi ve et ürünleri üretimine uygunluğu hakkında bilgi verilmiştir. Et proses atıklarının değerlendirilmesi, avantaj ve kısıtlar, yazdırılabilirlik kavramı ve bu alanda yapılan çalışmalara detaylıca değinilmiştir.</p>

^a celal.degerli@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-3667-028X>



Giriş

Dünyada küresel ölçekte sürekli artan nüfus (2050 yılı dünya nüfusunun 9 milyar olması beklenmektedir) ve buna bağlı olarak artan protein ihtiyacına göre yapılan tahminler endişe vericidir. Endüstriyel üretimin mevcut kapasitesiyle bu nüfusun protein ihtiyacını karşılayamayacağı öngörülmektedir. Alternatif protein kaynaklarının irdelenmesi ve mevcut protein kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir metotlarla işlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Godoi ve ark., 2016). Protein kaynakları ve beslenme konusunda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) günlük protein alım miktarı 0,66 g protein / kg vücut ağırlığı olarak belirlenmiştir. Bir başka deyişle 50 kg ağırlığında bir insanın günde ihtiyaç duyduğu kaliteli protein miktarı 33 g olarak hesaplanmaktadır (WHO/FAO/UNU Expert Consultation 2007). Topluma özgü beslenme alışkanlıkları ve sindirilirlik faktörleri hesaba katıldığında, aynı oranın Amerikan Gıda ve Tarım Bakanlığı'na göre günlük 0,83 g protein / kg vücut ağırlığı olarak önerildiği görülmektedir. Türkiye'de ise Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye'ye Özgü Beslenme Rehberi'ne göre toplam nüfusun %29,2'si günlük protein alım miktarının altında beslenirken; toplam protein alımının %58'i de bitkisel gıdalardan sağlanmaktadır. Ve bu oranın %40'ı lizin aminoasiti yönünden zayıf olan tahıl ürünlerinden gelmektedir. Zorunlu amino asit içeriği (protein kalitesi) yönünden zengin ve sindirilirliği yüksek olan hayvansal gıdalar toplumun genelinde az miktarda tüketilmekte ve/veya alternatif kaliteli protein kaynakları bilinmemekte veya ekonomik nedenlerden dolayı tercih edilememektedir. Sağlık Bakanlığı tarafından Türkiye İçin Yeterli Alım Miktarı günde 1,04 g protein / kg vücut ağırlığı olarak ifade edilmiştir (TÜBER, 2016).

Kırmızı et ve protein oranı ve kalitesi yüksek bir gıdadır. Fakat ortalama bir sığır karkasının yalnızca %7,2'si değerli et ve/veya et ürünlerine dönüşebilmektedir. Müşteri talepleri doğrultusunda yüzyıllar boyunca kalıplaşmış olan bonfile, antrikot, nuar gibi özel kesim parçalar çıkarıldığında, değerli etler dışında kalan karkas parçaları şarküteri ürünleri ve daha düşük kalitede yan ürünler üretimi ile atık değerlendirme amaçlarıyla kullanılmak üzere değerlendirilmektedir. Literatürdeki yeni araştırmalara göre, endüstriyel et parçalamaya uygulamalarından vazgeçilmesi pek mümkün görünmemesine rağmen, alternatif protein kaynakları ile geliştirilen ürünlerin ve birinci sınıf olmayan etlerden yapılan işlenmiş et ürünlerinin önemli rekabet öğelerine dönüşeceği öngörülmektedir. Kârlılığı ve rekabeti yükseltebilmek için endüstrinin et ve et ürünlerini yeniden şekillendirme veya katma değeri yüksek parça etler üretiminde yeni teknolojik uygulamalar yönünde bir arayışı mevcuttur (Dick ve ark., 2019a).

Hayvancılık endüstrisi son yıllarda çevre, insan sağlığı, hayvan refahı ve etik yönlerden detaylıca incelenmekte ve sorgulanmaktadır. Hayvansal gıdaların beslenme rehberlerinde çeşitlilikle ve uygun porsiyonlarda tüketilmesi önerilmektedir. Ancak her geçen yıl et ürünlerine olan talebin yükselişi ve üretimin artışı, bu ürünlerde koruyucu olarak nitrit ve nitrat tuzlarının kullanımı, tüketici tarafında porsiyon algısındaki yükseliş ile obezite, kalp-damar hastalıkları ve kolo-rektal kanser oranlarındaki artış, halk sağlığı yönünden bir kaygı yaratmaktadır. Kırmızı et tüketimi ve kanser üzerine tamamlanan 700'den fazla klinik beslenme çalışmasının sonuçlarının analiz edilmesinin

ardından, WHO tarafından kırmızı et ve et ürünlerinin fazla tüketiminin kanser riskini arttırdığı ve tüketiminin sınırlandırılması gerektiği (en fazla 500g pişmiş kırmızı et / hafta) yönünde bir rapor hazırlanmıştır. (WHO, 2016) Bu noktada yüksek protein kalitesine sahip et ve et ürünlerinin mevcut üretim sürecinin (ör: kalite ve gıda güvenliği amacıyla kullanılan katkı maddeleri, ısıl işlem parametreleri) incelenmesi, sürdürülebilir ve alternatif yöntemlerle yeni teknolojilerin geliştirilmesi veya mevcut yöntemlerin revize edilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Kişiyeye Özgü Beslenme

Kişiyeye özgü beslenme (personalized nutrition) yaklaşımı, bilinen günlük toplam kalori ve besin ögesine dayalı diyet modellerinin dışında; kişinin mesleğine, fiziksel aktivite düzeyine, fenotipine (ölçülebilir değerler; boy, kilo, yağ oranı, gıda intoleransları, toplam kolesterol düzeyi, kan demir düzeyi gibi) ve genotipine (genetik miras; kilo alma, gıda alerjisi, yüksek tansiyon ile ilişkili genler gibi) göre hazırlanan diyeti ifade etmektedir. Bu yaklaşım ile Avrupa çapında "Food4me" projesi gerçekleştirilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Buna göre diyetin fenotip ve genotip özellikleriyle birleştirilmesiyle kişiyeye özgü hazırlanarak uygulanmasının kronik rahatsızlıkların (obezite, tip-2 diyabet ve ateroskleroz gibi) azaltılmasında etkili olabileceği vurgulanmıştır (Michel ve Burbidge 2019). Bu bağlamda 3D yazıcı teknolojisi, ürün reçetesinin kolayca ve tekrar tekrar değiştirilebilmesi, çığneme kolaylığı sağlayacak şekilde düzenlenebilmesi, butik ölçekli kullanılabilmesi, porsiyon ayarlanmasının kolayca yapılabilmesi gibi yönleriyle kişiyeye özgü beslenme yaklaşımı için oldukça uygun görülmektedir (Portanguen ve ark., 2019). Öte yandan, günümüzde çocuklar tarafından yeterince tercih edilmeyen meyve ve sebze tüketimini daha cazip hale getirebilmenin alternatif bir yolu olarak da çeşitli formlarda atıştırılabilirlik tasarlanabilmesi için 3D yazıcılarda gıda üretimi oldukça yüksek potansiyele sahiptir (Jang ve ark., 2018; Severini, Azzollini, ve ark., 2018). Ayrıca, sözü geçen yaşlı ve çocuk tüketiciler dışında, sporcular, askerler, uzay görevlerinde çalışanlar, hamileler, alerjisi olanlar gibi tüketici gruplarına özel reçeteler tasarlanması için de 3D yazıcıların gelecekte tercih edileceği öngörülmektedir. Gıda zenginleştirmelerinde, duysal olarak pek kabul görmeyen ancak besleyici özellikleri bilinen (ör: böcek ve çekirge unları) alternatif hammaddeler kullanılarak yapılacak üretimler için de 3D yazıcıların uygun bir seçenek oluşturacağı tahmin edilmektedir (Lupton 2017).

3D Yazıcı Teknolojisi

3D yazıcı teknolojisi öncelikle malzeme mühendisliği alanında ortaya çıkmış bir teknoloji olmakla birlikte, günümüzde tekstil, gıda, sağlık, elektronik, otomotiv, moda gibi birçok alanda ürünler ortaya çıkartan ve sürekli büyüyerek, hem akademinin hem de endüstrinin ilgisini çeken bir teknoloji olarak görülmektedir. 2016 yılında tüm üretim kategorilerinde 3D yazıcılardan elde edilen toplam gelir 5 milyar dolar iken, bu gelirin 2020 yılında 21 milyar doları aşacağı tahmin edilmektedir (Attaran, 2017). Laboratuvar ve pilot ölçekli 3D yazıcıların, endüstriyel

ölçekteki uygulamalarına katmanlı imalat (additive manufacturing - AM) adı verilmektedir. İlk olarak seramik, metal ve bazı polimerler kullanılarak belirli geometrilere 3D üretim yapılmış ve 3D ürünler imalat sektöründe yer almaya başlamıştır (Hull, 1986). 3D yazıcıların çalışma prensibi inkjet kâğıt yazıcıları ile çok benzerdir, yalnızca 2 boyutta kâğıt üzerine ilgili koordinatlarda mürekkep dozlayarak yazı oluşturmak yerine, bir düzlem üzerine çeşitli materyalleri kullanarak üç boyutlu obje oluşturmaktadırlar. Bilgisayar destekli tasarım (computer aided design - CAD) programları kullanılarak yazılım dilinde hazırlanan tasarımlar gerçek 3D objeler olarak katmanlar halinde yazdırılmaktadır (Attaran, 2017). Bu teknolojinin gıdalarda uygulanabileceği fikri, akışkanlık özelliği gösterebilen yazdırılabilir karışımlar halinde araştırmacıların karşısına çıkmıştır. Daha sonra yazdırılabilir formdaki akışkanlığı göstermeyen gıda ham maddelerinin de bazı modifikasyonlarla yazdırılabilirliği üzerine ilk çalışmalar yapılmıştır (Sun ve ark., 2015; Godoi ve ark., 2016). Yalnızca 3D gıda yazıcılarının %38,5 büyüme tahmini ile küresel pazar değerinin 2023 yılında 520 milyon doları aşması beklenmektedir (Mordor Intelligence, 2019). Gıda alanındaki çalışmalarda, çikolata (Khot ve ark., 2015; Mantihal ve ark., 2019; Mantihal, ve ark., 2019), hamur (Liu ve ark., 2019), pizza sosu (Lipson ve Kurman, 2013), makarna (Sol ve ark., 2015), et ürünleri (Liu ve ark., 2018), sebze ve meyve püreleri (Sun ve ark., 2015; Liu ve ark., 2018; Severini ve ark., 2018) gibi 3D yazıcıların sahip olduğu potansiyel görülmekle beraber, endüstriyel üretime göre çok yavaş ürün elde edilmesi gibi bazı kısıtlara sahip olduğu tartışılmaktadır (Çizelge 1).

Bu derleme makalede 3D yazıcı teknolojisiyle gıda üretimi genel hatlarıyla anlatılmış ve 3D yazıcı ile et ürünleri üretimindeki güncel gelişmeler okuyucunun dikkatine sunulmuştur. Bu bağlamda et ürünleri ile yapılan ürün geliştirme çalışmaları incelenerek derlenmiştir. Yazdırılabilirlik kavramı ve buna etki eden faktörler anlatılmıştır ve son olarak 3D yazıcılar ile et üretiminin geleceği, avantajları ve eksik yönleri ile tartışılmıştır.

Çizelge 1. 3D yazıcıların avantajları ve kısıtları

Table 1. Advantages and constrains of 3D printing of foods

Avantaj	Kısıtlar
Kişiyeye özgü beslenme	Çok yavaş ürün eldesi
Hatasız ürün tasarımı	Kurulum ve bakım maliyetleri,
Azalan personel ihtiyacı	Yazdırılacak hammadde karışımının uygun akışkan yapıda kullanılma zorunluluğu
Yarı mamul veya mamul üretimi seçenekleri	Endüstriyel ölçekte çok az denemenin yapılmış olması
Sınırsız çeşitte ürün tasarımı imkânı	

3D Yazıcı Teknolojisi ve Gıda Üretiminde Kullanımı

3D yazıcı teknolojisi, temelde bilgisayar yazılımı yardımıyla oluşturulmuş kodlara göre 3 boyutlu hazırlanmış ürünün hammadde depolama üniteleri (kartuşlar), akışkan hattı ve püskürtücü uçlar yardımıyla uygun katmanlar

halinde ve uygun geometride yazdırılabilmesi için yapılan çalışmaların tümünü ifade etmektedir. 2011 yılında Avrupa Birliği Bilim ve Teknoloji İşbirliği (European Cooperation in Science and Technology - COST) tarafından “Yazdırılabilir Hammadde ve Paketleme Teknolojilerinde Yeni Yaklaşımlar, Çıktı ve Dijitalin Kombinasyonu - FP1104” isimli proje çağrısı, bu konuda disiplinler arası yaklaşımlar yaratılması için önemli bir basamak olarak kabul edilmektedir. 2012-2016 yılları arasında çalışılmış olan bu projenin sonuç raporuna göre; 31 ülkeden 110 bilim insanı çalışmış ve 10 adet çok disiplinli makale yayınlanmıştır. Aynı zamanda Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ve Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi’nin (NASA) uzun süreli uzay seyahatlerinde kullanılabilecek gıdalarla ilgili projelerden biri “Derin Uzay Görevlerinde 3D Gıda Yazıcılarının Gıda Üretiminde Kullanılabilirliği”. Bu projenin amacı, yiyecek hazırlığını güvenli, hatasız ve çeşitli bir şekilde tamamlayabilecek ürün fikirleri ve tasarımlar sağlayabilmek şeklinde ifade edilmektedir (Pallottino ve ark., 2016). Bu çalışmaların içinden ortak bir fikir olarak doğan BeeHex (Ohio, ABD) markası kişiyeye özgü beslenme, pizza ve pastacılık / fırıncılık dekorasyonu alanında patentlere (Contractor ve Feltner, 2019; Contractor ve ark., 2019) sahip 3D yazıcı çözümleri sunan bir marka olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda kartuşların ve yazdırma uçlarının tasarımı, kartuş-yazdırma ucu bağlantısı boyunca ham maddenin iletildiği hattın tasarımının ve işlem parametrelerinin (yazdırma süresi, püskürtücü uç sıcaklığı, - varsa- ekstrüzyon sıcaklığı ve ortam sıcaklığı başta olmak üzere) önemi oldukça büyüktür. Günümüzde çeşitli gıda yazıcıları tasarlanmaktadır. Bunlardan başlıcaları seçici lazer sinterleme (SLS), katmanlı yığın modelleme (FDM), bağlayıcı yazdırma (BJ), inkjet yazdırma ve biyoyazdırma (Değerli ve El 2017). Tüm çeşitlerde yazdırılacak olan ürün, CAD yazılımlarının arayüzünde kartezyen koordinat sistemi (-x,-y,-z) üzerinde 3 boyutlu olarak tasarlanmaktadır. Ardından yazılımın arayüzünden alınan bilgiler, binomiyal kodlara dönüştürülmekte ve çok katmanlı üretim verisi (.STL) formatında kaydedilmektedir. Bu veriler yazıcının platformunu ve püskürtücü ucunu uygun şekilde hareket ettirerek yazdırma işlemini başlatmakta; her katman için bu döngü tekrar etmektedir. SLS sisteminde tek bir noktadan çıkan lazer ışınları toz formdaki hammaddeyi ısıtarak, uygun geometride şekil almasını sağlamaktadır. Isınan her katmanın üzerine püskürtücü uçtan hammadde toz olarak tekrar yerleştirilmekte ve tekrar lazer ışını devreye girmektedir. Ürünün oluşacağı yüzey 3 boyutta hareket kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır ve oluşturulan her katmanın ardından -z ekseninde hareket ederek ürünün lazer kaynağına olan mesafesi eşit tutulmaktadır (Godoi ve ark., 2016). BJ sisteminde SLS sisteminin prensibinden farklı olarak lazer kaynağı kullanılmamakta; bunun yerine uçlardan belirlenmiş sıcaklıklarda sıvı püskürtülerek ilgili koordinatlarda hazır olarak bekleyen toz hammadde şekil almaktadır. Bu katmanın tamamlanmasının ardından başka bir mekanizma tarafından ikinci katmanın tozu artık katı hale gelmiş olan birinci katmanın üzerine yerleştirilmektedir ve katmanlar oluşturuldukça platform aşağı doğru ilerlemektedir. Bu yazıcılar kullanılarak çeşitli geometrilere şekerlemeler ve şeker hamurları denemeleri gerçekleştirilmiştir (Sun, Zhou, ve ark., 2015). Inkjet yazdırma sisteminde belge yazıcılarındaki sistem

kullanılmaktadır. Yazdırılacak materyal (pizza sosu, domates sosu, çikolata sosu gibi ürünler) istenen geometrik şekillere göre küçük damlacıklar halinde sürekli veya kesikli olarak dozlanmaktadır. Hareketli üretim bantlarına entegre edilebilen bu sistem sayesinde hatasız kurabiye süslemesi veya pizza hamuru soslanması yapılabilmektedir (Değerli ve El, 2017). FDM sistemi 3D yazıcıların arasında en çok ar-ge çalışması yapılan çeşit olarak göze çarpmaktadır. Et ürünlerinde yapılan çalışmalarda da FDM yazıcılar ekstrüzyonlu başlıklar kullanılarak tercih edilmiştir (Voon ve ark., 2019). Bu sistemlerde 3 boyutta hareket edebilen platform ile tekli veya çoklu püskürtücü uçlar bulunmaktadır. Bu uçlarda tercihe göre ekstrüzyon ünitesi bulunmaktadır. İlgili reolojik özelliklere göre hazırlanan, akışkan yapıda ve kıvamlı haldeki hammadde karışımı, kartuşlarda depolanır ve arzu edilen geometrik şekle göre ekstrüder uçlardan dozlanarak katmanlar oluşturulmaktadır. Püskürtülen karışımın katılaşması için geçen sürenin ardından, ikinci katmanın dozlanması başlamaktadır (Kading ve Straub, 2015; Godoi ve ark., 2016).

Herhangi bir gıdayı 3D yazıcı ile üretebilmenin ilk koşulu, gıdanın kartuşta depolanabilecek, fiziksel formunu bozmadan (ör: emülsiyon kırılması) ve tıkanmalara neden olmadan akışkan hattı boyunca ilerleyebilecek ve en sonunda püskürtücü uçtan (ekstrüzyon destekli veya ekstrüzyonsuz olarak) yazdırma platformunun üzerine aktarılabilir halde olmasıdır. Bu koşulların tümüne yazdırılabilirlik (İng: printability) adı verilmiştir (Godoi ve ark., 2016). Bir gıdanın yazdırılabilirliği ham maddenin reolojik özellikleri ve yazdırma ortamının çevresel koşullarından etkilenmektedir. 2015 yılında yapılan bir çalışmada gıda hammaddeleri yazdırılabilirliklerine göre 3 gruba ayrılmıştır. Bunlar doğal olarak yazdırılabilir hammaddeler (çikolata, pizza hamuru, soslar, vegemite ve marmite, bazı peynirler), doğal olarak yazdırılmayan hammaddeler (et, balık, deniz ürünleri, meyve ve sebzeler) ve alternatif hammaddeler (böcek, alg, bakteri, mantar ve diğerleri) olarak ayrılmaktadır (Sun, Peng, ve ark., 2015). Bu yıl yayınlanan bir başka derlemede ise gıdalar doğal olarak yazdırılabilenler (süt ürünleri, şekerlemeler, hidrojel özellik gösterenler) ve modifikasyonla yazdırılabilenler (bitkiler ve etler) olarak ikiye ayrılmıştır (Voon ve ark., 2019). 2018 yılında yayınlanan bir çalışmada ise her hammaddenin çeşitli modifikasyonlarla (jelleştiriciler, emülsifiye ediciler ve enzim uygulamaları gibi) yazdırılabilir olduğu vurgulanmıştır (Feng ve ark., 2018).

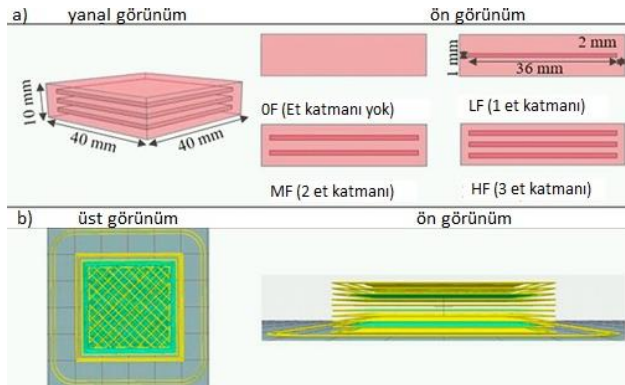
3D Yazıcı Teknolojisiyle Et Ürünlerinde Yapılan Çalışmalar

Et ürünlerinde 3D yazıcılar ile yapılan çalışmalar gıdalar ile yapılan tüm 3D çalışmalara oranla oldukça az olmakla birlikte, son yıllarda bir artış göze çarpmaktadır. Bu çalışmalar daha önce yalnızca ürün tasarımı ve reçete geliştirme üzerine iken, artık 3D yazıcılarla üretilen ürünlerin yazdırma sonrası işlem (post-proses: yarı mamul ürünlerin mamule dönüşmeden önce geçirdiği ve son şeklini aldığı işlemler) parametreleri de incelenmektedir (Voon ve ark., 2019). Bu çalışmalardan birinde Dick ve arkadaşları (2019b), 3D yazdırılmış etlerin post-proses uygunluğunu incelemişlerdir. Katmanlı yığın modelleme (FDM) ile 3D yazıcı kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, iki başlık kullanarak hazırladıkları domuz yağı

ve dana eti karışımlarını şekilde (Şekil 1 ve Şekil 2) görüldüğü gibi aralıklarla yazdırarak dikdörtgenler prizması şeklinde (40×40×10mm) pişmeye hazır et blokları hazırlamışlardır. Deneme desenlerini yağ katmanları (0-3 katmanlı) ve ürün boşluk yoğunluğu (boşluksuz, %25 ve %50 boşluklu) olarak belirledikleri çalışmada, yazdırılmış etler 75°C ve 30 dakika boyunca sous-vide tekniği ile pişirilmiştir. Pişme kaybı, büzülme, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, yapışkanlık, sertlik ve çiğnenebilirlik parametreleri incelenmiştir. Yağ oranı arttıkça sözü edilen parametrelerden pişme kaybı, büzülme ve yapışkanlık parametrelerinde artış olurken, yağ tutma kapasitesi, nem tutma kapasitesi, sertlik ve çiğnenebilirlik parametrelerinde düşüş kaydedilmiştir. (P<0,05) Boşluk yoğunluğu azaldıkça nem tutma kapasitesinin, sertliğin ve çiğnenebilirliğin arttığı; büzülme ve yapışkanlığın belirgin olarak azaldığı kaydedilmiştir (P<0,05) (Dick ve ark., 2019b). Bir başka çalışmada, püre haline getirilmiş et ve et ürünlerinin transglutaminaz enzimi kullanılarak FDM yöntemi ile yazdırıldığı denemelerde olumlu sonuçlar alınmış, kereviz, deniz tarağı ve hindi eti, 3D yazıcı kullanılarak yarı mamul jel formunda, pişirmek veya kızartılmak üzere farklı geometrilerde hazırlanmıştır (Şekil 3) (Lipton ve ark., 2010). Ayrıca "3D Food Printing Conference Asia-Pasific" konferansında ikinci sınıf etlerden elde edilmiş yazdırılabilir emülsifiye kırmızı et kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Helozonik şekillerde üretilen 3D et ürünleri *byFlow 3D printer* (Hollanda) ile yazdırılmıştır ve ürün şekilleri kızartma sonrası korunmuştur (Meat and Livestock Australia, 2017). Diğer bir çalışmada vidalı-bantlı ekstrüder 3D yazıcı kullanılarak balık surimi jeli üretimi gerçekleştirilmiştir. Akışkan hattındaki jeli ilave edilen NaCl çözeltisinin farklı konsantrasyonlarının ürünün yazdırılabilirliğine ve reolojisine (su tutma kapasitesi, jel dayanımı, su içeriğinin jel içindeki dağılımı, mikro ölçekli yapıları) etkisi incelenmiştir. 3D yazıcıda %1,5 NaCl ilavesinin yazdırılabilirliğe optimum etki ettiği kaydedilmiştir (Liu ve ark., 2018). Çiğneme problemi yaşayan yaşlılar ve sarkopeni hastaları için ton balığı ezmesi ve su karıştırılarak ekstrüzyon başlıklı 3D yazıcıda 20°C'de yazdırılmıştır (Abbas ve ark., 2017) (Şekil 4). 2018 yılında yapılan bir başka çalışmada, peristaltik iletim pompası içeren ekstrüder uçlu 3D yazıcı geliştirilmiş ve hammadde olarak lifli et ve jelatin karışımı kullanılmıştır (Liu ve ark., 2018). Alternatif protein kaynaklarından olan ve son 5 yılda araştırmacılar arasında popülerleşen başka bir ürün olan böcekler, kurtlar ve çekirgeler gerek doğal formlarında pişirilerek çerez olarak, gerekse işlenip un haline getirildikten sonra çeşitli gıdaları besin öğeleri yönünden zenginleştirmek amacıyla (kurabiyeler, ekmekler ve bazı firincılık ürünleri, hamburger köftesi gibi) kullanılmaktadır. Oldukça kaliteli bir protein kaynağı olan böceklerde kuru temelde protein oranının %52-75 arasında değiştiği bilinmektedir (Vendin ve ark., 2019). Hali hazırda dünyada yaklaşık 2,5 milyar kişinin geleneksel diyetinde yer alan böceklerin 3D yazıcı teknolojisi ile gıda üretiminde kullanılabilir kaliteli bir hammadde olabileceği yönünde tahminler yapılmaktadır. Ayrıca böcek unlarında doymamış yağ asitleri de yüksek oranda bulunmaktadır (Melgar-lalanne ve ark., 2019). Böcek unları ile yapılan bir çalışmada uygun kıvamda eritme peynir ve böcek unu karıştırılarak, besin öğelerince

zengin ve yazdırılabilir kıvamda bir hammadde elde edilmiştir (Southerland ve ark., 2011). Yapılan başka bir çalışmada un haline getirilen sarı kurtlar (*tenebrio molitor*) un haline getirildikten sonra kütlece %20 oranında katılarak su ve un karışımı içinde pişirilmiştir. Son üründe %40 protein oranına ulaşılmıştır. Sindirilirlikle düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS) da %50 artış göstererek protein kalitesi yükseltilmiş bir ürün elde edilmiştir (Severini ve ark., 2018). Yakın gelecekte böcek unlarının alternatif bir protein kaynağı olarak geleneksel üretimde olduğu gibi 3D yazıcılarda da hammadde zenginleştirilmesi amacıyla kullanılması beklenmektedir.

Biyoyazdırma henüz geliştirilme aşamasında yeni bir yöntem olmakla birlikte, hayvan kesimini azaltabilecek potansiyeli nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemde inkjet yazdırma ucundan çıkan hücreler agaroz platformun içine yatırılmakta ve inkübasyona bırakılmaktadır. Hücrelerin füzyonunun ardından agaroz platform kaldırılır ve elde edilen doku biyoreaktöre alınarak kas lifleri oluşturması sağlanır. Bu alanda geliştirilmesi gereken konular öncelikle maliyet ve duyu özellikler olarak görülmektedir (Sher ve Tuto, 2015). 2012 yılında yapılan bir çalışmada, yapay kas dokusu Novogen MMX (Organovo, Amerika Birleşik Devletleri) model yazıcı kullanılarak canlı hücre kültürlerinin agaroz desteği içine yerleştirilmesiyle elde edilmiştir (Forgacs ve ark., 2012).



Şekil 1. Dick ve arkadaşlarının (2019b) çalışmalarında uyguladıkları katmanlı tasarımın genel görünümü
Figure 1. Multi-layered design which used by Dick et al, 2019b



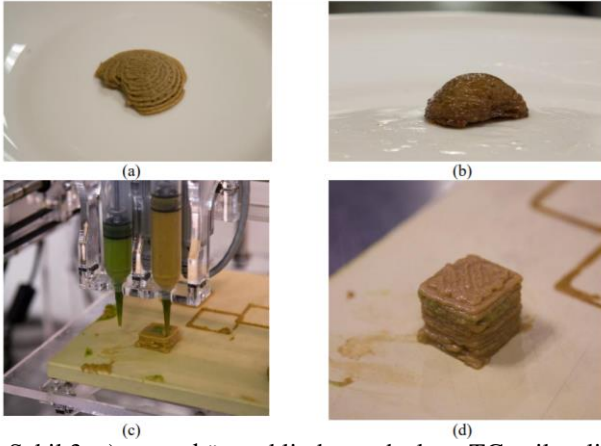
Şekil 2. Dick ve arkadaşlarının çalışmalarında uyguladıkları tasarımın genel yapısı (Dick ve ark., 2019b)
Figure 2. General view of multi-layered product (Dick et al, 2019b)

Et ürünleri için yazdırılabilirlik parametreleri

3D yazıcılarda arzu edilen geometride ürün elde edesi için ekstrüzyon ile çalışılması, Newtonian tipte olmayan akışkan özelliklerini beraberinde getirmektedir. Ürünün yazdırılabilirliğini bu akışkan davranışı belirlemektedir. Kartuşa aktarılabilen ve akışkan hat boyunca birikim yapmadan ilerleyerek püskürtücü uca sahip ekstrüderden

çıkabilecek her ürün yazdırılabilir özellikte olarak kabul edilmektedir (Dick ve ark., 2019a). 3D yazıcılarda et ürünü yazdırılabilirliğine etki eden parametreler genel olarak püskürtücü hızı, püskürtücünün yüksekliği (veya platformun yüksekliği), püskürtücü çapı, ekstrüzyon hızı ve doluluk oranı olarak sayılabilir (Hao ve ark., 2010). Bu faktörlerin direkt olarak yazdırılan ürünün geometrisine etkisi bulunmaktadır. Örneğin püskürtücü çapının 2 mm'den büyük olması halinde yazdırılan ürünün büyük, kalın ve kaba olduğu kaydedilmiştir. 2 mm'den küçük olması halinde ise çok ince şekilde püskürtülen ham maddenin emülsiyon yapısı bozulmadan ve tıkanma yaratmadan yazdırılabilmesi güçleşmektedir. Ayıca püskürtücü çapının püskürtücü yüksekliğine eşit olmasının optimum bir değer olduğu savunulmaktadır. Bunun nedeni, püskürtücü yüksekliğinin püskürtücü çapından küçük olması halinde, ürünün yazdırılmakta olan ham maddenin ideal geometrisinden saparak saçıldığı görülmüştür. Tam tersi durumda, yani püskürtücü yüksekliğinin püskürtücü çapından büyük olması halinde ise, katmanlar halinde oluşacak ürün akışkanının bir önceki yazdırılmış katmana ulaşmasının gecikmesi nedeniyle istenen şekil elde edilememektedir (Kim ve ark., 2017). Püskürtücü uç ve ekstrüzyon hızının ayarlanamaması da, ham maddenin sürüklenmesi, eksik veya fazla katman yaratılması gibi istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Ürünün doluluk oranı (veya boşluk oranı), porozite, nemlilik ve yağ salma gibi post-proses değişimlerde direkt etki edebilmektedir. Örneğin yazdırılan ürünlerdeki porozite artışı, pişirme sırasında ısı transferinin daha yetersiz gerçekleşmesine neden olmaktadır. Öte yandan, yazdırılacak et ürününün esnekliği ve viskozitesi, yazdırıldıktan sonraki geometrisine etki edebilmektedir. Püskürtme hızı optimumdan daha hızlı veya yavaş olduğunda, daha ince katmanlar veya daha kalın katmanlar oluşacağı için yazdırılan ürün geometrisinin doğruluğuna etki etmektedir. Unutulmaması gereken bir diğer husus ise sözü geçen parametreler seçilirken ekonomi yönünden verimliliklerdir. 3D yazıcılar bilindiği gibi çok uzun süre çalışarak enerji tüketmekte ve sınırlı miktarda ürün oluşturmaktadır. Bu durumda ürün tasarımında harcanan hammadde miktarı ve boşluk miktarı da göz önünde bulundurulmalıdır (Dick ve ark., 2019a).

Ürün reçetesinin yazdırılabilir özellikte ürün eldesine göre geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için yapı geliştiriciler ve bazı çözümler tercih edilmekte, doğal olarak yazdırılabilir özellikte olmayan hammaddeler kategorisinde olan etin Newtonian olmayan bir püre formunda yazdırılabilir olması sağlanmaktadır. Bu bağlamda örnek olarak tavuk, domuz ve balık ezemelerine jelatin ilavesi (C. Liu ve ark., 2018) ile deniz tarağı ve hindi pürelerine transglutaminaz ilave edilmesi (Lipton ve ark., 2010) verilebilir. Lifli (Fibröz) özelliğe sahip olduğu için etin kıyılması ve bu işlem sayesinde miyofibriller proteinlerin açığa çıkarak emülsiyon yapısına katkı yapması tercih edilmektedir. Kesim sonrası yan ürünler içeren bir et karışımında bağ doku ve et olmayan dokuların karışım içindeki miktarları ve partikül büyüklükleri, ürünün yazdırılabilirliği açısından oldukça önemlidir. En temel yaklaşım ile karışımdaki öğelerin partikül büyüklüğü, püskürtücü ucunun çapından küçük olmalıdır (Dick ve ark., 2019a).



Şekil 3. a) yarım küre şeklinde yazdırılmış TGaz ilaveli hindi eti, b) Yazdırılan ürünün sous-vide pişirme sonrası görünümü, c) kereviz jeli (yeşil renkte görülen) ile doldurulmuş hindi eti küpü (d) tasarımı. (Lipton ve ark., 2010)

Figure 3. a) Turkey with TGase was printed into hemisphere. b) general view after sous-vide cooking c) Celery fluid gel (green tube) was printed into Turkey cube (d). (Lipton et al., 2010)



Şekil 4. Çiğneme sorunları yaşayan tüketiciler için hazırlanmış ton balığı(beyaz)-pancar(kırmızı)-balkabağı(sarı) jellerinden oluşan tasarım (a) ve kullanılan 3D yazıcı (b) (Abbas ve ark., 2017)

Figure 4. 3D design (a) made with tuna (white), beetroot (red), pumpkin (yellow) jellies for consumers with swallowing difficulties and 3D printer used (b) (Abbas et al., 2017)

Yazdırılabilir Et Ürünlerinde Bağlayıcı Maddeler

Soğuk Bağlayıcı Maddeler

3D yazıcılarda üretilecek et ürünlerinin hacim ve viskozite kazanması için bazı bağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Bunlar soğuk ve sıcak bağlayıcı sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Transglutaminaz enzim sistemleri, kalsiyum / aljinat sistemi ve plazma protein sistemi (fibrinojen / trombin, FT) soğuk bağlayıcı sistemlere örnek verilebilir. Transglutaminaz (TGaz) enzimi, ette bulunan glutamin ve lizin aminoasitleri arasında bulunan kovalent çapraz bağları parçalayarak etin fiziksel ve kimyasal yapısını modifiye etmektedir. Bu modifikasyon sonucu ürünün viskozitesi, termal kapasite, esneklik ve su tutma kapasitesi değişim göstermektedir. Endüstride mikroorganizma kaynaklı olarak tercih edilen TGaz, 0-60°C sıcaklık ve 4,5-8 pH aralığında aktivite göstermektedir. Optimum aktivite koşulları 40°C ve 5,5 pH'dır. İzoelektrik noktası pH 8,9'dur (Kieliszek ve Misiewicz 2014; Santhi ve ark., 2017). Yapılan çalışmalarda TGaz ilavesinin ekstrüzyondan hemen önce yapılmaması halinde, ortalama 20 dakika içinde et püresinin ekstrüzyondan ve katmanlaşmadan önce

dozlama hattı içinde fizikokimyasal değişimlere yol açabileceği görülmüştür. Bu nedenle et püresine TGaz ilavesinin ekstrüzyondan hemen önce yapılması tercih edilmektedir. Ayrıca su tutma kapasitesini arttırmak için bazı tuzların ve fosfat bileşiklerin eklenmesi de önerilmektedir (Boles, 2011). Çizelge 3'te bağlayıcı maddeler, katıldıkları oranlara, sıcak / soğuk özelliklerine ve çalışıldıkları ürünlere göre listelenmiştir. İkinci bir soğuk bağlayıcı sistem örneği olarak kalsiyum/aljinat sistemi sodyum aljinat, bir kalsiyum kaynağı ve bir asitlendiriciden oluşmaktadır. Bu sistem et püresine ilave edildiğinde, kalsiyum kaynağının ortamdaki çözünürlüğüne bağlı olarak 2-48 saat aralığında 0-5°C sıcaklıkta geri dönüşümsüz olarak jelleşmektedir. Üçüncü bir sistem olarak söz edilen plazma protein sisteminde (FT; 10:1 veya 20:1) fibrinojen, trombin enzimi tarafından parçalanarak fibrine dönüşür. Bu mekanizma genel olarak kanın pıhtılaşma mekanizmasıdır (Boles, 2011). FT sisteminde et parçasının boyutlarına göre %5-10 konsantrasyonda ilave edildikten sonra 5 saat içinde maksimum jel kalınlığına ulaşılmaktadır. Bu süre et emülsiyonunun yapısında bulunan diğer bileşenlere göre farklılık göstermektedir. Örneğin domuz etinde %10-20 FT ilavesi yapılmış ve 12 saat sonra yapıda sertlik artışı ölçülmüştür (6°C ve %0,25-0,5 NaCl ilavesi) (Ávila ve ark., 2014). Bunların dışında, soğukta kıvam alabilen ksantan gam, guar gam gibi hidrokolloid yapıdaki bazı polisakaritler viskozite ve ekstrüzyon geliştirici olarak davranabilmektedir. Burada sözü edilen hidrokolloidlerin ısıl işleme dayanımının çalışılması, yarı mamul olarak yazdırılan ürünlerin pişme sırasında nasıl davranacağı hususunda bilgi sahibi olunması yönünden büyük önem taşımaktadır.

Sıcak Bağlayıcı Maddeler

Reform (Restructured) et ürünleri, genellikle parçalanmış et parçalarına tuz ilavesi ile et parçalarında bulunan miyofibriller proteinlerin ayrılması ve ısıl işlem ile jelleştirilerek istenen şeklin verildiği et ürünleridir. Bununla beraber, ısıl jelleşmeye etki edebilecek diğer teknolojiler de denenmektedir. Bunlara sıcakta kıvam alabilen hidrokolloidler ve kan proteinleri örnek verilebilir. Süt, yumurta, soya proteini gibi bazı hidrokolloid kaynakları çalışılmış olmasına rağmen, bu bileşenlerin alerjenitesi göz önünde bulundurularak dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Kan plazma proteinleri (KPP) et ürünlerinde bağlayıcı ajan olarak kullanılmaktadır. Kompozisyonundaki albumin (%60' a kadar), globulin (%40) ve fibrinojen (%3) sayesinde su tutma kapasitesine sahiptir (Parés ve ark., 2011). KPP çözünürlüğü et ürünlerinin pH aralığında (5,5-6) oldukça yüksektir. Et ürünlerinde %0,5-2 konsantrasyonda KPP'nin, 64-72°C sıcaklıklarda ısıya dayanıklı jel oluşturduğu kaydedilmiştir (Feiner 2006). Jelin 95°C sıcaklıkta daha da sertleştiği gözlenmiş olsa da endüstriyel et ürünleri üretiminde ürünün merkez sıcaklığı 75°C'nin üzerine çıkarılmamaktadır. Bu da, diğer bağlayıcılar gibi 3D yazıcılarda kullanılabilir, yazdırılmış ürünün şeklinin korunacağı ve daha da önemlisi sonraki ısıl işlem sırasında geri dönüşümsüz jel halinde bozulmadan kalabileceği bir alternatif olarak görülmektedir. KPP dışında karragenan (kappa ve iota formlarında) ve tuzlarının düşük yağlı et ürünlerinde bağlayıcı ajan olarak

kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Paglarini ve ark., 2018; Trius ve ark., 1996). 3D yazıcılarda yazdırılabilirliği arttıracak şekilde püre hazırlama aşamasında soğuk ve/veya sıcak bağlayıcı maddelerin, yazdırma sonrasında ise mümkünse sıcak bağlayıcı maddelerin ilave edilmesi

önerilmektedir. Dahası, yazdırılacak üründe arzu edilen viskozite ve elastisite değerlerine göre hedef hidrolokolloid ve/veya enzim sistemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Çizelge 2. Et ürünleri ile yapılan 3D yazıcı çalışmaları

Table 2. 3D printing studies with meat products

YPS	Ham madde	Son ürün	Sonuç	R
FDM / 2	Dana eti ve domuz böbrek yağı	Dikdörtgenler prizması şeklinde (40×40×10mm) pişirmeye hazır et blokları. Örneklerin pişme sonrasındaki doluluk oranı ve yağ katmanları sayısı karşılaştırılmıştır.	Boşluklu yapı azaldıkça nem tutma kapasitesinin, sertliğin ve çignenebilirlik gibi kalite parametrelerinde artış; yağ katmanları arttıkça pişme kaybı, büzülme ve yapışkanlık parametrelerinde artış.	1
FDM / 1	Hindi eti, deniztarafı eti, kereviz	Kübik ve piramit şekillerde pişirmeye hazır et ürünleri.	Duyusal olarak başarılı sonuçlar	2
FDM / 1	Çekirge ve hamamböceği unu	Alternatif unlarla zenginleştirilmiş kurabiyeler	Duyusal olarak başarılı sonuçlar	3
FDM / 1	Eritme peynir ve böcek unu	Uygun kıvamda karıştırılmış eritme peyniri ve böcek unu ile dikdörtgenler prizması şeklinde pişirmeye hazır jeller	Pişirme sonrası fiziksel formun korunması ve duyuşal olarak başarılı sonuçlar	4
FDM / 1	İkinci sınıf etler	Helezonik şekillerde pişirmeye hazır yazdırılmış et ürünleri	Kızartma işlemi sonrası ürün formunun korunması ve duyuşal olarak başarı sağlanması	5
FDM / 1	Lifli et parçaları	Örnekler jelatin ve su ile karıştırılarak yazdırılabilir püre formu elde edilmiştir.	Pişme sonrası istenen geometri korunmuştur.	6
Vidalı bantlı ekstrüder 3D yazıcı (FDM - inkjet)	Surimi	Pişirmeye hazır balık surimi jeli	Pişme sonrası istenen geometri korunmuştur.	7
FDM / 1 (ekstrüzyon başlıklı)	Ton balığı	Çiğneme zorluğu çeken tüketicilere uygun ton balığı karışımı	Yazdırma 20°C'de gerçekleştirildiği için gıda güvenliği yönünden şüpheli ürün.	8

YPS: Yazıcı tipi ve püskürtücü sayısı; R: Referans; 1: Dick ve ark. (2019b); 2: Lipton ve ark. (2010); 3: Severini ve ark. (2018); 4: Walters ve ark. (2011); 5: Meat and Livestock Australia (2017); 6: Liu ve ark. (2018); 7: Wang ve ark. (2018); 8: Abbas ve ark. (2017)

Çizelge 3. 3D gıda yazıcısı çalışmalarında kullanılan bağlayıcı maddelerin özellikleri ve bu maddelerin kullanıldığı ürün geliştirme çalışmaları

Table 3. Properties of binding materials in the 3D printing studies with references

Soğuk / Sıcak çalışma yeteneği	Su tutma / hacim artırma ajanı	Çalışıldığı ürün	Ürüne Katıldığı Oran	R
Soğuk	TGaz	Reform et ürünü (biftek)	%2 (5U / g protein)	1
	Sodyum kazeinat	Reform et ürünü (Tibet sığırı)	%0,85 (%0.31 TGaz ve %34 karagenan ile birlikte)	2
	Aljinat	Reform et ürünü (balık, Merluccius capensis)	0,5 – 5 g / kg	3
	Jelatin	Sosis	%2 (Emülsiyon yağında)	4
	Soya proteini	Mantar bazlı sosis analogu	%0,1 – 0,3	5
Sıcak	Fibrinojen / Trombin (FT)	Domuz eti	%10-20 (Emülsiyon yağında)	6
	KPP	Et ürünleri	%0.5 - %2	7
	Kappa karagenan	Et ürünleri (domuz ve dana karışımı)	%-1	8
	Iota karagenan	Et ürünleri	_*	9

R: Referans; 1: Baugreet ve ark. (2018); 2: Zhang ve ark. (2019); 3: Border ve Moreno (2008); 4: Pintado ve ark. (2015); 5: Arora ve ark. (2016); 6: Ávila ve ark. (2014); 7: Feiner (2006); 8: Paglarini ve ark. (2018); 9: Trius ve ark. (1996); TGaz : Transglutaminaz enzimi, KPP: kan plazma proteinleri, *Derleme çalışma.

Sonuç

Yakın gelecekte güvenli, hatasız, sürdürülebilir ve verimli; aynı zamanda katma değeri olan ve besleyici gıda üretimi için 3D yazıcıların tercih edilebileceği yapılan araştırmaların doğrultusunda açıkça görülmektedir. Bunun yanı sıra, kişiye özgü beslenme konseptine uygun olacak şekilde reçete düzenlenmesi ve taze üretim yapılabilirliği; dijitalleşme potansiyeline sahip olmasıyla beraber hem ev tipi hem de endüstriyel uygulamalarının yaratabileceği kolaylıklar görülmektedir. Et ürünleri üretiminde ise mevcut çalışmaların sayıca az olmasına karşın; karkas verimliliğinin artışı, hayvan yetiştiriciliğine olan talebin azalmasıyla karbon emisyonunun azalmasına katkısı, duyuusal yönden lezzetli olduğu kadar çekici şekillerde üretim imkânı ve besin öğeleri kompozisyonun tüketici gruplarına göre ayarlanabilmesi nitelikleriyle yüksek potansiyele sahip bir araştırma alanıdır. Ayrıca, et ürünlerinde gıda güvenliği esaslarının sağlanabilmesi, üretim hızının çok yavaş olması ve endüstriyel boyutta prototip maliyetinin dahi çok yüksek olması gibi dezavantajları da olan bu alanın, yakın gelecekte yapılacak inovatif çalışmalarla gelişmesi beklenmektedir. Bu noktada ise üniversite-sanayi işbirlikleri ve artık azımsanmayacak boyutta etkiye sahip olan yüksek nitelikli fikirlere sahip girişimcilerin yatırımcılar tarafından desteklenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Mordor Intelligence Reports (2019). 3D Printing Market - Growth, Trends, And Forecast (2019 - 2024), <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-printing-market> (Erişim Tarihi: 15.09.2019)
- Abbas Z, Daniel J, Kouzani AZ, Adams S, Whyte DJ, Oliver R, Hemsley B, Palmer S, Balandin S. 2017. 3D Printing of Food for People with Swallowing Difficulties. : 23–29.
- Attaran M. 2017. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Bus Horiz* [Internet]. 60: 677–688. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- Ávila MDR De, Hoz L, Ordóñez JA, Cambero MI. 2014. Dry-cured ham restructured with fibrin. *Food Chem*. 159: 519–528.
- Baugreet S, Kerry JP, Brodtkorb A, Gomez C, Auty M, Allen P, Hamill RM. 2018. Optimisation of plant protein and transglutaminase content in novel beef restructured steaks for older adults by central composite design. *Meat Sci* [Internet]. 142:65–77. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.024>
- Boles JA. 2011. Use of cold-set binders in meat systems. In *Processed Meats* (pp. 270-298). Woodhead Publishing.
- Border AJ, Moreno HM. 2008. Influence of alginate and microbial transglutaminase as binding ingredients on restructured fish muscle processed at low temperature. 1536: 1529–1536.
- Chattong U, Apichartsrangkoon A, Chaikham P, Supavitpatana T, Bell AE. 2015. Viscoelastic properties and physicochemical characteristics of pressurized ostrich-meat emulsions containing gum additives. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 32: 64–69. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.07.001>
- Contractor A, Feltner B. 2019. U.S. Patent Application No. 16/247-363.
- Contractor A, Kanuga C, Feltner B. 2019. U.S. Patent Application No. 10/178,868.
- Değerli C, El SN. 2017. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ile Gıda Üretimine Genel Bakış. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknol Derg*. 5: 593–599.
- Dick A, Bhandari B, Prakash S. 2019a. 3D printing of meat. *Meat Sci* [Internet]. 153: 35–44. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
- Dick A, Bhandari B, Prakash S. 2019b. Post-processing feasibility of composite-layer 3D printed beef. *Meat Sci* [Internet]. 153: 9–18. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.024>
- Feiner G. 2006. *Meat products handbook: Practical science and technology*. Elsevier
- Feng C, Zhang M, Bhandari B. 2018. Materials Properties of Printable Edible Inks and Printing Parameters Optimization during 3D Printing: a review *Materials Properties of Printable Edible Inks and Printing Parameters Optimization*. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 0: 1–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481823>
- Forgacs G, Marga F, Jakab K, Khaliwala C, Shepherd B, Dorfman S, Hubbard B, Colbert S, Forgacs G. 2012. Toward engineering functional organ modules by additive manufacturing.
- Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR. 2016. 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. 179: 44–54.
- Hao L, Mellor S, Seaman O, Henderson J, Sewell N, Sloan M. 2010. Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping* 5 (2): 57–64.
- Hull CW. 2016. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. 1986. Google Patents.
- Jang J, Park JY, Gao G, Cho D. 2018. Biomaterials-based 3D cell printing for next-generation therapeutics and diagnostics. *Biomaterials* [Internet]. 156:88–106. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2017.11.030>
- Kading B, Straub J. 2015. Acta Astronautica Utilizing in-situ resources and 3D printing structures for a manned Mars mission. *Acta Astronaut* [Internet]. 107: 317–326. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.11.036>
- Khot RA, Pennings R, Mueller F. 2015. EdiPulse: Turning physical activity into chocolates. In: Vol. 18. [place unknown]: Association for Computing Machinery; p. 331–334.
- Kieliszek M, Misiewicz A. 2014. Microbial transglutaminase and its application in the food industry, A review.: 241–250.
- Kim HW, Bae H, Jin H. 2017. Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydrocolloids as reference material. *J Food Eng* [Internet]. 215:23–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.017>
- Lipson H, Kurman M. 2013. *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.
- Lipton J, Arnold D, Nigl F, Lopez N, Cohen DL, Norén N, Lipson H. 2010. Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. In *Solid Freeform Fabrication Symposium* (pp. 809-815).
- Liu C, Ho C, Wang J. 2018. The development of 3D food printer for printing fibrous meat materials The development of 3D food printer for printing fibrous meat materials. In: *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* [Internet]. [place unknown]. Available from: 10.1088/1757-899X/284/1/012019
- Liu Y, Saeed A, Lan W, Qin W, Laing X. 2019. Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 54:9–18. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.008>
- Liu Z, Zhang M, Bhandari B, Yang C. 2018. Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *J Food Eng* [Internet]. 220:76–82. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017>
- Lupton D. 2017. Download to delicious : Promissory themes and sociotechnical imaginaries in coverage of 3D printed food in online news sources. *Futures* [Internet]. 93:44–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2017.08.001>

- Mantihal S, Prakash S, Bhandari B. 2019. Textural modification of 3D printed dark chocolate by varying internal in fill structure. 121: 648–657.
- Mantihal S, Prakash S, Godoi FC, Bhandari B. 2019. Effect of additives on thermal, rheological and tribological properties of 3D printed dark chocolate. *Food Res Int* [Internet]. 119:161–169. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.056>
- Meat and Livestock Australia. 2019. 3D printing technology for value-added red meat' 2017. <https://www.mla.com.au/news-and-events/industry-news/3d-printing-technology-for-value-added-red-meat/> Erişim: 15.09.2019
- Melgar-lalanne G, Hernandez- Alvarez A-J, Salinas-Castro A. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies [Internet]. 00. Available from: 10.1111/1541-4337.12463
- Michel M, Burbidge A. 2019. Nutrition in the digital age - How digital tools can help to solve the personalized nutrition conundrum. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 90:194–200. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.018>
- Paglarini CD, Souza C De, Figueiredo G De, Andre V, Vidal S, Martini S, Bruno M, Forte S. 2018. Functional emulsion gels with potential application in meat products. *J Food Eng*. 222: 29–37.
- Pallottino F, Hakola L, Costa C, Antonucci F, Figorilli S, Seisto A, Menesatti P. 2016. Printing on Food or Food Printing: a Review.:1–9.
- Parés D, Saguier E, Carretero C. 2011. Blood by-products as ingredients in processed meat. In *Processed meats* (pp. 218–242). Woodhead Publishing.
- Pintado T, Herrero AM, Triki M, Carmona P. Effects of emulsion gels containing bioactive compounds on sensorial, technological, and structural properties of frankfurters.
- Portanguen S, Tournayre P, Sicard J, Astruc T, Mirade P. 2019. Trends in Food Science & Technology Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 86: 188–198. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.023>
- Santhi D, Kalaikannan A, Malairaj P, Prabhu SA. 2017. Application of microbial transglutaminase in meat foods: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 57: 2071–2076. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2014.945990>
- Severini C, Azzollini D, Albenzio M, Derossi A. 2018. On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Res Int* [Internet]. 106: 666–676. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
- Severini C, Derossi A, Ricci I, Caporizzi R, Fiore A. 2018. Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. *J Food Eng* [Internet]. 220: 89–100. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.025>
- Sher D, Tuto X. 2015. Review of 3D Food Printing. *Temes de disseny*. 31.
- Southerland D, Walters P, Huson D. 2011. Edible 3D printing. In *NIP & Digital Fabrication Conference* (Vol. 2011, No. 2, pp. 819–822). Society for Imaging Science and Technology.
- Sun J, Peng Z, Zhou W, Fuh JYH, Hong GS, Chiu A. 2015. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manuf* [Internet]. 1: 308–319. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>
- Sol IEJ, Van der Linden D, Van Bommel KJC. 2015. 3D Food Printing: The Barilla Collaboration. Feb-2015.
- Sun J, Zhou W, Huang D, Fuh JYH, Hong GS. 2015. An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. 8:1605–1615.
- TÜBER. 2016. Türkiye'ye Özgü Beslenme Rehberi [Internet]. [place unknown]: Sağlık Bakanlığı. Available from: http://beslenme.gov.tr/content/files/arastirmalar/tbsa/1_haziran_t_ber_rehber_y_ksek_kalite.pdf
- Vendin K, Birch H, Olsson V. 2019. Insects as food - a review of sustainability, nutrition and consumer attitudes. In: 11th Int Conference Culin Arts Sci. [place unknown]; p. 145–152.
- Voon SL, An J, Wong G, Zhang Y, Chua CK. 2019. 3D food printing: a categorized review of inks and their development. 2759.
- WHO/FAO/UNU Expert Consultation. 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. *World Health Organ Tech Rep Ser*.:1–265.
- WHO. 2016. Q&A on the carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat. <https://www.who.int/features/qa/cancer-red-meat/en/> (Erişim Tarihi: 15.09.2019)
- Zhang Q, Ma G, Chen H, Han L, Ma J, Zhang W. 2019. Optimization of binding process for premade yak steaks using transglutaminase, sodium caseinate, and carrageenan.:1–11.