

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜÇ BOYUTLU (3B) GIDA YAZICISI KULLANILARAK FONKSİYONEL
TAVUK ETİ ÜRÜNÜ ÜRETİMİ**

Elvan Gökçen BULUT

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2019**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ BOYUTLU (3B) GIDA YAZICISI KULLANILARAK FONKSİYONEL TAVUK ETİ ÜRÜNÜ ÜRETİMİ

Elvan Gökçen BULUT

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN

Çalışmada 3 boyutlu (3B) gıda yazıcısı kullanılarak fonksiyonel tavuk eti ürünü üretilmiştir. Formülasyona üç farklı konsantrasyonda (%0, %1, %2) jelatin ilavesiyle üretilen ürünlerde Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiş, 3B baskı için ideal jelatin konsantrasyonu %1.79 olarak saptanmıştır. Optimizasyonu takiben %1.79 jelatin içeren ve jelatin içermeyen (kontrol) ürünler, 3B baskı işlemiyle üretilmiştir. Hazırlanan örneklerde pişirme öncesinde ve sonrasında % nem, protein, yağ ve kül içerikleri (kuru maddede % olarak), pH değeri, CIE* açıklık-koyuluk (L*), kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) değerleri; pişmemiş ürünlerde dinamik reolojik özellikler (G':depolama modülü, G'':kayıp modülü) belirlenmiş; pişmiş ürünlerde duyu analizi gerçekleştirilmiştir.

Pişirme işlemi pH değeri, yağ içeriği ve nem içeriğinde azalmaya; protein içeriğinde artışa neden olmuştur ($p < 0.05$). Kül içeriğinde pişirmeye bağlı olarak değişim gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Kontrol ve %1.79 jelatin içeren örnekler pişirmeden sonra sırasıyla %28.97 ve %30.94 nem, %45.91 ve %45.61 yağ, %19.41 ve %26.05 protein, %3.64 ve %3.62 kül içeriğine sahip olmuş, pH değerleri 5.74 ve 5.86 olarak saptanmıştır. Jelatin ilavesi nem, kül, yağ içerikleri ve L* değerinde önemli bir değişime yol açmamıştır ($p > 0.05$). Pişirmeden sonra a* değerinde düşüş, b* değerinde artış saptanmıştır ($p < 0.05$). Reolojik testte, %1.79 jelatin içeren grubun, kontrol grubuna göre daha yüksek G' ve G'' değerlerine sahip olduğu ($p < 0.05$), yani jelatinin yapıyı iyileştirdiği, dolayısıyla 3B baskı işlemi için daha uygun olduğu gözlenmiştir. Duyusal analizde, değerlendirilen tüm özellikler için 3B yazdırılan jelatin içeren ürün, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında daha yüksek puanlar almıştır ($p < 0.05$). Çalışmadan elde edilen bulgular fonksiyonel tavuk eti ürünü üretiminde %1.79 jelatin kullanımının 3B yazdırılabilirlik ve son ürün özellikleri açısından tavsiye edilebilir nitelikte olduğunu göstermektedir.

Aralık 2019, 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu (3B) gıda yazıcısı, Tavuk eti, Katmanlı üretim, Fonksiyonel gıda

ABSTRACT

Master Thesis

PRODUCTION OF FUNCTIONAL CHICKEN MEAT PRODUCT WITH THREE DIMENSIONAL (3D) FOOD PRINTER

Elvan Gökçen BULUT

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN

In this study, a functional chicken meat product was produced by using a 3D food printer. The products produced by adding three different concentrations of gelatin (0%, 1%, 2%) to the formulation were optimized by the Response Surface Method and the ideal gelatin concentration for 3D printing was 1.79%. After optimization, products containing 1.79% gelatin and non-gelatin (control) were produced by 3D printing. In the prepared samples, moisture content (%), protein, fat and ash contents (% in dry matter), pH value, instrumental color [Minolta CIE* lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) values] before and after baking, and dynamic rheological properties (G' :storage modulus, G'' :loss modulus) of unbaked products were determined. Sensory analysis was also performed in baked products.

The baking process reduced the pH value, fat content and moisture content; increased protein content ($p < 0.05$). There was no change in ash content due to cooking ($p > 0.05$). Control and 1.79% gelatin had 28.97% and 30.94% moisture, 45.91% and 45.61% fat, 19.41% and 26.05% protein, 3.64% and 3.62% ash content and pH values were 5.74 and 5.86, respectively. The addition of gelatin did not cause a significant change in moisture, fat and ash contents, and L^* value ($p > 0.05$), however, decreased a^* value and increased b^* value after baking ($p < 0.05$). In the rheological analysis, the use of 1.79% gelatin resulted in significantly higher G' and G'' values ($p < 0.05$), thus, enhanced the structure indicating that this group was suitable for 3D printing process. In the sensory analysis, 3D printed 1.79% gelatin containing group received higher scores for all the properties evaluated compared to the control ($p < 0.05$). Based on the findings of the study, the use of 1.79% gelatin for production of 3D printed functional chicken meat product is recommended in terms of printability and final product properties.

December 2019, 81 pages

Key Words: Three dimensional (3D) food printer, Chicken meat, Additive manufacturing, Functional food

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında sahip olduğu bilgisini, tecrübesini esirgemeyen ve hoşgörüsü ile bana sadece tezimde değil her konuda yol gösteren çok değerli danışmanım Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN'a (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü) öncelikli olarak teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamda ilgi ve yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Kamuran AYHAN'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü), Prof. Dr. Berrin ÖZKAYA'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü), Doç. Dr. Özge ŞAKIYAN DEMİRKOL'a (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü), Doç. Dr. Mecit Halil ÖZTOP'a (Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü), Dr. Öğretim Üyesi Eda DEMİROK SONCU'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü), Araş. Gör. İrem SAKA'ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma konum hakkında bilgi ve deneyim kazanmam açısından son derece faydalı olan, Erasmus Öğrenim Hareketliliği kapsamında destek aldığım Ankara Üniversitesi Erasmus Koordinatörlüğü'ne; 218O017 nolu proje kapsamında burs aldığım Araştırma Destek Programları Başkanlığı (ARDEB)'e ve tez konum dolayısı ile bana burs imkanı sağlayan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB)'e teşekkürlerimi sunarım.

İkili anlaşma çerçevesinde beni kabul ederek 3B yazıcılar hakkında bilgi ve tecrübe edinmem fırsat tanıyan, Hollanda TNO Araştırma Enstitüsü'ndeki değerli danışmanım Dr. Kjeld van Bommel'e, Mathijs de Schipper ve Edwin Stam başta olmak üzere tüm Additive Manufacturing Departmanı çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Değerli laboratuvar arkadaşlarım Tuğba Gözde GÜN, Büşra CANBAZ, Betül GÖKSÜN, Sümeyye TEMİZGÜL ve Ali Mekarim ÖZGÜR'e yardımları için çok teşekkür ederim. Benden manevi desteğini esirgemeyen kıymetli dostlarım Müge YILMAZ ve Özge KESKİNEL'e sonsuz teşekkürler.

Hayatım boyunca yanımda olup benden desteğini ve sevgisini esirgemeyen sevgili annem Güler BULUT'a, babam Mehmet BULUT'a ve kardeşim Göksun BULUT'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 218O017 nolu proje ile desteklenmiştir.

Elvan Gökçen BULUT
Ankara, Aralık 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Fonksiyonel Gıda.....	7
2.2 Fonksiyonel Gıdaların Oluşturulmasında Kullanılabilir Yeni Bir Teknoloji “3 Boyutlu Baskı”	9
2.2.1 3B yazıcıların tarihsel gelişimi ve kullanım alanları.....	9
2.2.2 3B yazıcılar ve 3B baskı işlemi.....	10
2.2.3 3B gıda baskısında kullanılan bazı teknolojiler	12
2.2.3.1 Selektif sinterleme teknolojileri	13
2.2.3.2 Bağlayıcı püskürtme (toz ile yapıştırma) teknolojisi	14
2.2.3.3 Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi	15
2.2.3.4 Ergiterek yığma ile modelleme teknolojisi.....	16
2.2.4 Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan hammaddeler	20
2.2.4.1 Yazdırılamaz (geleneksel) gıda maddeleri	22
2.2.4.2 Yazdırılabilir (doğal) gıda maddeleri.....	22
2.2.5 Karbonhidrat, protein ve yağların 3B yazıcı ile yazdırılması.....	23
2.2.5.1 Karbonhidratların 3B yazıcı ile yazdırılması	23
2.2.5.2 Proteinlerin 3B yazıcı ile yazdırılması.....	24
2.2.5.3 Yağların 3B yazıcı ile yazdırılması	25
2.2.6 3B yazıcı kullanımının olumlu ve olumsuz yanları	26
2.2.7 3B gıda yazıcıları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1 Materyal	34

3.2 Yöntem	34
3.2.1 Ürün formülasyonu hazırlama	34
3.2.2 Kullanılan 3B gıda yazıcısı	35
3.2.2.1 3B yazıcı kısımları	36
3.2.3 Yanıt Yüzey Yöntemi ile jelatin miktarı optimizasyonu	37
3.2.4 3B yazdırılan ürünlerin pişirilmesi	41
3.2.5 Analiz yöntemleri	42
3.2.5.1 Nem içeriği	42
3.2.5.2 Yağ içeriği	42
3.2.5.3 Protein içeriği	42
3.2.5.4 Kül içeriği	43
3.2.5.5 pH değeri	43
3.2.5.6 Enstrümental renk değerleri	43
3.2.5.7 Dinamik reolojik özellikler	43
3.2.5.8 Duyusal analiz	44
3.2.5.9 İstatistiksel analiz	44
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
4.1 Jelatin İçeriği Optimizasyonu	45
4.2 Dinamik Reolojik Özellikler	49
4.3 Nem İçeriği	53
4.4 Kül İçeriği	55
4.5 Yağ İçeriği	56
4.6 Protein İçeriği	58
4.7 pH Değeri	60
4.8 Enstrümental Renk Değerleri	62
4.9 Duyusal Analiz	65
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	72
EK 1	81
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER DİZİNİ

L*	Açıklık-Koyuluk
a*	Kırmızılık
b*	Sarılık
Hz	Hertz
ω -3	Omega 3 yağ asidi
stl.	Stereolitografi
T _g	Camsı geçiş sıcaklığı
pI	İzoelektrik nokta
NaCl	Sodyum klorür
G'	Depolama modülü
G''	Kayıp modülü
pH	Hidrojenin gücü

Kısaltmalar

RSM	Yanıt yüzey yöntemi
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
3B	3 Boyutlu
MUFA	Tekli doymamış yağ asidi
PUFA	Çoklu doymamış yağ asidi
LDL	Düşük yoğunluklu lipoprotein
EPA	Eikosapentaenoik asit
DHA	Dokosaheksaenoik asit
SFF	Katı serbest formu imalat
FDM	Ergiterek biriktirme (yığma) modellemesi
HME	Erime ile ekstrüzyon
CAE	Klorojenik asit eşdeğeri
GA	Gam arabik
GG	Guar gam
KG	Kappa karragenan
XG	Ksantan gam
HEPA	Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı
kob	Koloni oluşturan birim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Genel 3B nesne oluşturulma süreci (Anonymous 2011)	11
Şekil 2.2 3B yazdırılacak gıdaların tüketimden önceki hazırlanma aşamaları (Sun vd. 2015a)	12
Şekil 2.3 Sinterleme teknolojileri (Anonim 2016).....	13
Şekil 2.4 Bağlayıcı püskürtme teknolojisi (Anonim 2016).....	14
Şekil 2.5 Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojileri (Anonim 2016)	16
Şekil 2.6 Gıda yazdırılması sırasında gerçekleşen ekstrüzyon işlemi örneği (Godoi vd. 2016)	17
Şekil 2.7 Günümüzde kullanılan 3B yazıcılara örnekler	18
Şekil 2.8 Farklı 3B baskı teknolojisi ile yazdırılmış bazı gıda örnekleri	20
Şekil 2.9 3B yazıcı kullanımının geleneksel ürün üretimine göre bazı potansiyel avantajları (Anonymous 2011)	28
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan 3B yazıcısı ve kısımları.....	36
Şekil 3.2 Optimizasyon işlemi için ölçülen 3B şekil parametreleri	37
Şekil 3.3 Optimizasyon çalışması için yazdırılan örnekler	40
Şekil 4.1 3B yazıcıyla yazdırılmış %1.79 jelatin içeren pişmiş fonksiyonel ürünlerin karşından görünüşü	48
Şekil 4.2 3B yazıcıyla yazdırılmış farklı şekillerdeki fonksiyonel tavuk eti ürünleri.....	49
Şekil 4.3 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının G' ve G" değerleri	50
Şekil 4.4 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının açılmal frekans değerine karşı viskozite değişimi.....	51
Şekil 4.5 Kontrol grubu ve jelatin içeren gruplar için ortalama kayıp tanjantı değerleri	52
Şekil 4.6 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün nem içeriği üzerine etkisi (%)	54
Şekil 4.7 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün kül içeriği üzerine etkisi (%)	55
Şekil 4.8 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği üzerine etkisi (%).....	57

Şekil 4.9 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriği üzerine etkisi (%).....	59
Şekil 4.10 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün pH değeri üzerine etkisi.....	61
Şekil 4.11 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün L*, a*, b* değerleri üzerine etkisi	63
Şekil 4.12 3B yazıcı ile yazdırılan ürünlerin duyuşal değerdendirmesi	66
Şekil 5.1 Ekstrüzyon miktarının (1) olması gerekenden daha az, (2) olması gerekenden daha fazla olması durumunda meydana gelen baskının yandan görünüşü.....	70
Şekil 5.2 (1) Olması beklenen 3B baskı şekli, (2) Yetersiz ekstrüzyon sonucu yapıdaki boşluk görüntüsü, (3) Oluşan kusurlu şekil	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Fonksiyonel gıdaların oluşturulma şekilleri ve örnekler (Sevilmiş 2013).....	7
Çizelge 2.2 Dünyada ticari olarak kullanılan bazı ekstrüzyon temelli gıda yazıcıları ve özellikleri (Sun vd. 2018)	19
Çizelge 2.3 3B gıda basımında kullanılan baskı teknikleri (Godoi vd. 2016)	21
Çizelge 3.1 Optimizasyon çalışmasında kullanılan formülasyon içeriği	35
Çizelge 3.2 Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri	38
Çizelge 3.3 Deney tasarımı	39
Çizelge 4.1 YU için elde edilen deney sonuçları	45
Çizelge 4.2 DU için elde edilen deney sonuçları	46
Çizelge 4.3 h için elde edilen deney sonuçları	47
Çizelge 4.4 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının ortalama tanδ değerleri	51
Çizelge 4.5 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün nem içeriği üzerine etkisi (%).....	53
Çizelge 4.6 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün kül içeriği üzerine etkisi (%*)	55
Çizelge 4.7 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği üzerine etkisi (%*).....	57
Çizelge 4.8 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriği üzerine etkisi (%*)	59
Çizelge 4.9 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün pH değeri üzerine etkisi	61
Çizelge 4.10 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün L*, a*, b* değerleri üzerine etkisi	62
Çizelge 4.11 3B yazıcı ile üretilen fonksiyonel tavuk eti ürününe ilişkin duyu analizi sonuçları	65

1. GİRİŞ

Ülkemizde yem ve enerji maliyetlerinin artması, personel giderlerinin yükselmesi, belli dönemlerde iklim şartlarında yaşanan olumsuzluklar, hayvan niteliği ile ilgili yaşanan sıkıntılar, markalaşma maliyetlerinin yüksek olması gibi sebeplerden dolayı kırmızı et ve et ürünleri üretim maliyeti yüksektir. Bunun bir sonucu olarak da kişi başı kırmızı et tüketimi giderek azalmaktadır (Anonim 2018). Kırmızı et tüketiminin azalması ile birlikte ortaya çıkan protein açığının dengelenmesinde beyaz et sınıfında yer alan kanatlı etleri önemli bir rol oynamaktadır.

Kanatlı etleri vitamin (özellikle B grubu), mineral (özellikle demir), elzem aminoasit ve yağ asidi içerikleri bakımından tüm yaş grubu bireyler için önemli besin kaynağı olarak kabul edilmektedir (Patsias vd. 2008, Guerrero-Lagerrata ve Hui 2010). Aynı zamanda, kanatlı etlerinin içermiş olduğu hayvansal proteinin vücut tarafından sindirilebilirliğinin yüksek olması, kırmızı ete kıyasla daha ekonomik olması, daha düşük oranda kolesterol ve doymuş yağ içermesi sebebiyle popülerliği gün geçtikçe artmaktadır (Anonim 2015). Endüstriyel üretime uygun olması ve hayvansal protein temininde önemli bir rol oynaması tavuk etine olan rağbeti arttırmaktadır (Anonim 2001). Tavuğun büyüme süresinin yaklaşık 45 gün olması, birim alanda çok sayıda tavuk üretilebilmesi, yemin ete dönüşme oranının yüksek olması ve iş gücünün tarım sektörüne göre daha az olması da beyaz et sektörünü önemli bir konuma getirmektedir (Anonim 2015). USDA' nın 2019 yılı verilerine göre Türkiye tavuk eti üretiminde dünyada 8. sırada, dünya tavuk ihracatında ise 4. sırada yer almaktadır (Anonymous 2019). Bu veriler Türkiye için kanatlı eti sektörünün önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Üretilen kanatlı etlerinin bir kısmı taze olarak satışa sunulurken bir kısmı da taze saklama koşullarının zorluğu nedeniyle daha uzun raf ömrüne sahip ürün temini için ileri işlenmiş ürün olarak tüketiciye arz edilmektedir. Kanatlı eti bazlı işlenmiş ürünlerin beğenilen duyu özelliklere sahip olmaları ve tüketim için kısa sürede hazırlanabilmeleri sebebiyle tüketiciler tarafından kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Guerrero-Lagerrata ve Hui 2010).

Günümüzde obezite, sindirim sistemi, kanser, kalp ve damar hastalıklarına maruz kalan birey sayısının artışıyla birlikte beslenme alışkanlıklarının kontrol altına alınması gerekliliği, sağlıklı ve dengeli beslenmenin daha fazla önemsenmesine yol açmıştır (Burdurlu ve Karadeniz 2003, Demierezen ve Coşansu 2005, Bozoğlu ve Öztürk 2016). Buna paralel olarak, tüketiciler sağlık ve beslenme konularında daha çok bilinçlenerek tüketim alışkanlıklarını değiştirme eğilimi göstermektedirler. Tüketicilerin artan fonksiyonel gıda talebinin karşılanması amacıyla çeşitli gıda alanlarında olduğu gibi et endüstrisi de geleneksel et ürünlerine alternatif, sağlıklı, besleyici yönü yüksek ve lezzetli ürünler üretme konusunda çağa ayak uydurmaktadır. Bu bağlamda üretilen yağ ve tuz oranı azaltılmış, diyet lifi ve fonksiyonel doğal katkı maddeleri ilave edilmiş, bileşimi zenginleştirilmiş ürünler tüketicilerin ilgisini çekmektedir (Jiménez-Colmenero vd. 2001, Ruusunen ve Puolanne 2005, Dülger ve Şahan 2011, Verma ve Banerjee 2012, Kılınççıken 2017).

Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin hızla ilerlemesi diğer sektörlerde olduğu gibi gıda sektöründe de değişimleri hızlandırmıştır. Değişikliklerin bu kadar hızlı olduğu bir dönemde, firmaların varlıklarını sürdürmeleri ve pazardaki yerlerini muhafaza etmeleri için yeni teknolojileri yakından takip etmeleri gerekmektedir. Bu yeniliklere ayak uydurmanın yanı sıra rekabet ortamı içerisinde bulunan işletmelerin pazara uygun ürünleri araştırmak, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına göre mal üretmek gibi zorunlulukları da vardır (Öztürk ve Onurlubaş 2018).

Tüketicinin istek ve ihtiyaçlarına yönelik gıda üretimi için son zamanlarda “gıda tasarımı” kavramı kullanılmaktadır. Gıda tasarımı; yaşlılar, hamileler, çocuklar, sporcular gibi özel tüketici gruplarının taleplerini karşılamada önem taşıyan bir uygulamadır. Özel amaca yönelik gıda tasarımlarında üretimde kullanılacak katkı maddeleri ve ingrediyenlerin işlenmesinde karşılaşılan sorunlar, kimyasal ve yapısal özelliklere uygun kullanım ve uzun raf ömrü sağlama amaçlarına yönelik yeni teknolojilere olan gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Katmanlı üretim bu teknolojiler içinde son yıllarda en popüler olanlardan biridir. Katmanlı üretim, üretilmek istenen bir materyalin yapısını oluşturan malzemelerin katmanlı birikim yöntemiyle bir araya getirilerek ürün üretimi prensibine dayanan, aynı zamanda üç boyutlu (3B) baskı olarak ifade edilen bir tekniktir

(Godoi vd 2016). Bu teknoloji ile gıdaya isteğe göre uyarlanmış şekil, yeni tekstür ve yeni lezzetler kazandırılmakta, aynı zamanda özel ihtiyaçları karşılayan (vitamin, mineral içeriği vb. ayarlanmış), daha yumuşak formda kişiye özgü gıdalar da üretilebilmektedir. Üretilen bu ürünler, aynı zamanda sürdürülebilir kaliteye sahip, albenili ve çevre dostu ürünlerdir (Yang vd. 2015).

İncelenen literatür çalışmaları doğrultusunda 3B yazıcılar ile gıda yazdırmanın geleneksel üretim yöntemlerine alternatif ve yenilikçi bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir. Yeni bir konu olması sebebiyle literatürde 3B yazdırılan fonksiyonel et tabanlı ürün ve yazdırılan ürünün kalite özelliklerinin incelenmesi ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, 3B gıda yazıcısı kullanarak istenilen şekil ve formda, albenili fonksiyonel tavuk eti ürünü üretmektir. Çalışmanın bir diğer amacı ise 3B yazıcı parametreleri ve ürün yapısını iyileştirmek için kullanılan jelatin ilavesinin optimize edilmesi, daha sonra jelatinin ve pişirme işleminin ürünün fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerine etkilerini belirlemektir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

İnsanların içinde var olan daha iyiye, kaliteliye ve güzele ulaşma arzusu insanlık tarihi kadar eskidir (Bakan vd. 2011). İnsanlar yaşam kalitesini iyileştirme, az zamanda çok iş yapma ve her şeyin en güzelini tüketme arzusuna sahiptirler (Taş 2012). Bu arzu ve konfor arayışı hayatın her alanında olduğu gibi gıda alanında da kendini göstermekte; yeni lezzetler keşfetme, farklı tekstüre sahip albenili ve aynı zamanda sağlıklı ürünler tüketme, yemek hazırlama süresini azaltma gibi istekleri doğrultusunda yeni ürün arayışları giderek artmaktadır.

Günümüzde kişiye özgü, yeni oluşturulan ürünler için gıda tasarımı konsepti kullanılmaktadır (Godoi vd. 2016). Hastalar, yaşlılar, çiğneme ve yutma zorluğu yaşayan kişiler, çocuklar ve sporcular gibi özel tüketici gruplarının ihtiyaçlarını karşılamaya yardımcı yeni bir olgu olan gıda tasarımı (food design); kimyasal ve yapısal özellikleri iyileştirebilen, raf ömrünü artırıcı özelliklere sahip katkı maddelerinin, aromaların ve vitaminlerin işlenmesinde kullanılabilecek yeni teknolojilere olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu yeni teknolojiler içinde son yıllarda giderek yaygınlaşan ilaveli (katmanlı) üretim (3B baskı), ürünü oluşturmak için malzemelerin katmanlar halinde birikmesi prensibiyle çalışan bir tekniktir (Godoi vd. 2016). Gıdaya isteğe göre uyarlanmış şekil, yeni bir tekstür ve yeni aromalar kazandırılabilen 3B baskı işlemi 3 boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilmektedir (Yang vd. 2015).

Özellikle 1900'li yılların son çeyreğinde geliştirilen, görünüm olarak çekici, ancak besleyici değeri düşük olan gıdaların sebep olduğu obezite gibi yanlış beslenme problemleri ve kalp damar rahatsızlıkları 2000'li yıllarda tüketicilerin satın alma tercihlerinin değiştirmesine sebep olmuştur. Ayrıca, hastalık tedavi maliyetlerinin artması, refah seviyesinin artışı ile birlikte toplumdaki ortalama yaşam ömrünün ve yaşlı birey sayısının artması, yoğun tempoda insanların daha dinç olma isteği, kısacası insanların daha kaliteli bir yaşam beklentisi dolayısıyla tüketilen gıdalardan sağlanan fayda beklentisi artmıştır. Tüketiciler sağlıklı ve fonksiyonel ürünleri daha çok tercih etmeye başlamışlardır (Sevilmiş 2013).

Ülkedeki eğitim seviyesinin yükselmesiyle birlikte insanların bilinçlenmesi ve gelir düzeylerinin de artışı sonucu sağlıklı gıdaya olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu talebi karşılamada en etkili oluşumlardan biri “fonksiyonel gıda” kavramıdır (Sevilmiş 2013). Fonksiyonel gıdalar beslenme alışkanlıklarında değişikliğe yol açmış, gıdaların fonksiyonelleştirilmesi için modifiye edilmesi ise ürün çeşitliliğinin artmasına sebep olmuştur. Ürün çeşit sayısındaki artış pek çok gıda ürününde olduğu gibi beyaz et ürünlerinde de meydana gelmiştir (Taş 2012).

Beyaz et grubunda yer alan tavuk eti ve ürünleri; her yaş grubundan tüketici tarafından lezzeti beğenilen, düşük maliyetli, hazırlaması kolay ve besin içeriği zengin hayvansal protein kaynağıdır (Patsias vd. 2008, Guerrero-Lagerrata ve Hui 2010). USDA’nın 2018 yılı verilerine göre dünya tavuk eti üretimi 95.5 milyon ton/yıl’dır. Bu üretimin büyük çoğunluğunu Amerika Birleşik Devletleri (%20.27), Brezilya (%13.98), Avrupa Birliği ülkeleri (% 12.77) ve Çin (%12.25) oluşturmaktadır.

Türkiye ise 2018 yılında 2.23 milyon ton/yıl tavuk eti üretimi ile dünyada tavuk eti üretiminde 8. sırada yer almaktadır (Anonymous 2019). Türkiye’de tavuk eti üretiminin yılda 2.23 milyonu bulduğu bir dönemde kanatlı etini taze bir şekilde muhafaza etmenin zorluğu kanatlı etlerinin bir kısmının işlenmiş ürüne dönüştürülerek saklanması zorunlu hale getirmiştir. İşlenmiş tavuk eti ürünlerine olan talep, ürün çeşitliliğini de arttırmıştır (Guerrero-Lagerrata ve Hui 2010). Ayrıca, Türkiye gibi sonradan modernleşen ve batılı yaşantıya sahip ülkelerde tüketicilerin eski alışkanlıklarını bırakıp yeni alternatifler deneme eğilimleri göze çarpmaktadır (Yavuz 2013). Bu yüzden, gelişmekte olan ülkelerde yeni alternatif ürün talebini karşılamak üzere ürün yelpazesini geliştirme çalışmaları son yıllarda artış göstermektedir.

Hayvansal kaynaklı bir gıda olan tavuk eti; demir, çinko, magnezyum, fosfor gibi mineraller ile B₂, B₆, B₁₂ vitaminlerini içerisinde barındırmaktadır (Yücecan 2008). Tavuk eti ayrıca kalsiyum, selenyum, potasyum, B₁ ve C vitamini, tekli doymamış (MUFA), çoklu doymamış (PUFA) yağ asitleri gibi bileşenleri de (Foley vd. 1992, Moreiras vd. 2005) içermesi sebebiyle fonksiyonel ürün geliştirmede, formülasyon içerisinde önemli bir bileşen olduğu düşünülmektedir. Tavuk etinin içermiş olduğu

miyofibriller proteinler yüksek fonksiyonel özellik göstermesi sebebiyle emülsiyonun yağ ve su bağlama kapasitesi, ürünün kararlılığı, viskozitesi vb. karakteristik özelliklerin iyileştirilmeye yardımcı olmaktadır. Tavuk eti yüksek pH değerine sahip olduğu için emülsifikasyon özelliği oldukça iyidir. Bu sebeple et emülsiyonları hazırlanırken tavuk eti kullanımı ya da bu etlerin paçal yapımında kullanımı protein kalitesi yüksek ve ekonomik bir ürün elde etmek açısından değerlidir (Akcan ve Serdaroğlu 2011).

Tavuk eti ürünlerinin geliştirilmesi ve fonksiyonel hale getirilmesi aşamasında ürünün tüketici tarafından kabul edilirliliği açısından duyuşal kalite özellikleri büyük önem taşır. Tavuk eti ürünlerinin genel olarak duyuşal değerdendirmesinde tüketici için önemli olan görünüş, renk, aroma, lezzet, koku ve ayrıca tekstür, gevreklik gibi ürün özellikleri dikkate alınmaktadır (de Carvalho vd. 2018). Bu parametreler sadece ürünün fiziksel özellikleri ile bağlantılı olmayıp, aynı zamanda kimyasal bileşimi ile de ilgilidir ve tüketici beğenisini doğrudan etkilemektedir (Patsias vd. 2008, Guerrero-Lagerrata ve Hui 2010).

Fonksiyonel ürün geliştirilirken formülasyon geliştirilmesinin yanında yeni teknolojilerin kullanılması çağa ayak uydurma açısından önem arz etmektedir. Günümüzde 3B gıda baskı tekniğı gıda teknolojisi alanında güncel konulardan biri haline gelmiştir. Gıdaya isteğe göre uyarlanmış şekil, yeni tekstür ve yeni lezzetler kazandırabilen 3B yazıcılar ile sürdürülebilir kaliteye sahip, albenili, çevre dostu, enerji tasarrufu sağlayan, düşük maliyetli gıda üretilebildiğı gibi özel ihtiyaçları karşılayan, daha yumuşak formda gıdalar da üretilebilmektedir (Yang vd. 2015).

Son yıllarda, et teknolojisinde de 3B yazıcılarla çalışmalar gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Tavuk, hindi, sığır ve domuz eti içeren ürünler üretilerek bu gıdaların besleyici değeri, lezzeti ve kalitesi arttırılabilmektedir. Bu teknoloji, et tüketicilerine (özellikle yaşlılar ve çocuklara) yönelik geliştirilmiş dokusu ile içeriğı ayarlanarak yüksek kaliteli, fonksiyonel et tabanlı ürünler elde etmede yeni ve heyecan verici bir alternatif sağlamaktadır. 3B gıda baskı teknolojisi ile hem estetik hem de fonksiyonel özellikte gıda tasarımının aynı anda yapılabilmesi büyük bir avantajdır (Godoi vd. 2016).

2.1 Fonksiyonel Gıda

Geleneksel olarak gıda, bireylere metabolizmaları (beslenme fonksiyonu) için ihtiyaç duydukları besinleri sağlama ve lezzetleri ile bireysel refaha katkıda bulunma (duyusal fonksiyon) rolünü üstlenir. Son yıllarda, belirli bir fizyolojik işlevi yerine getirmede yeni ve potansiyel bir gıda rolü ortaya çıkmıştır. “Fonksiyonel gıda” olarak adlandırılan bu rolü yerine getiren ürünler normal diyetin bir parçası olarak tüketilirken, geleneksel beslenme etkilerinin ötesine geçerek sağlık üzerine de olumlu etki sağlamaktadırlar (Anonim 2008).

Fonksiyonel gıdaların oluşturulma şekilleri ve oluşturulan örnek gıdalar Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu çizelgede verilen fonksiyonel gıda oluşturma yöntemleri ayrıca farklı kombinasyonlar şeklinde de kullanılabilmektedir (Sevilmiş 2013).

Çizelge 2.1 Fonksiyonel gıdaların oluşturulma şekilleri ve örnekler (Sevilmiş 2013)

Fonksiyonellik Özelliği	Örnek Gıdalar
Kendiliğinden fonksiyonel madde içerme	Likopence zengin domates, beta-karoten içeren havuç
Fonksiyonel madde ilave etme	İyot ilaveli tuz, omega-3 yağ asitli yumurta, kalsiyum ilaveli portakal suyu
Zararlı bileşiği çıkartma	Sodyumu azaltılmış tuz
Gıda içerisindeki bazı bileşikler değişikliğe uğratma	Yoğurt- protein-biyoaktif peptid
Biyo-yararlılığı arttırma	İşlenmiş domates ürünlerinde likopen

Tüketicilerin sağlıklı bir yaşam tarzı talebini karşılamada fonksiyonel gıda ürünleri önemli bir role sahiptir. Bu ürünler yalnızca açlığı gidermek ve insanlara gerekli besinleri sağlamak için değil; aynı zamanda beslenmeyle ilgili hastalıkları önlemek, tüketicilerin fiziksel ve zihinsel refahını arttırmak için de geliştirilmektedir (Menrad 2003).

Doymuş yağların diyet içerisinde olumsuz bir rolü olduğu 1950’lerde ortaya çıkmıştır (Hu ve Willett 2002). Daha yakın zamanlarda diyet lifi (Erkkila ve Lichtenstein 2006) ve bitki steroller (Katan vd. 2003) gibi toplumların sağlıklı yaşamasına ve yaşam süresinin uzamasına katkıda bulunan fonksiyonel gıdaların diyet içerisindeki olumlu yönlerine değinilmeye başlanmıştır. Fonksiyonel özellik gösteren; düşük kalorili, gluten içermeyen, diyet lifi içeriği artırılmış, bağışıklık güçlendirici, yaşlanma geciktirici, fiziksel ve zihinsel performansı artırıcı vb. gıdalar günümüzde market raflarında yerini almıştır (Sevilmiş 2013).

Diyet lifi, fonksiyonel ve teknolojik özelliği dolayısıyla ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri sebebiyle son yıllarda sıklıkla gıda formülasyonlarına ilave edilmektedir. Diyet lif bileşenleri ince bağırsakta sindirilmeyip (Thebaudin vd. 1997, Vasanthan vd. 2002) kalın bağırsakta fermente olan (Guillon ve Champ 2000); başlıca tahıl, meyve ve sebzelerde bulunan düşük enerji değerine sahip ürünlerin ana bileşeni olarak kullanılmaktadır (Dülger ve Şahan 2011).

Bitki steroller fonksiyonel gıda pazarındaki önemli bir başka gıda bileşenidir. Plat ve Mensink (2005) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, bitki sterollerinin kandaki kolesterol seviyesini etkili bir şekilde düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Bitki steroller süt, yoğurt ve ekmek gibi gıdalarda kullanılabilmektedir (Büyüktuncer vd. 2013). The National Cholesterol Education’da (2002) yapılan bir açıklamaya göre düşük yoğunluklu lipoprotein değerini (LDL kolesterol) düşürdüğü ve yaşam kalitesini iyileştirdiği için günlük 2 gram bitkisel sterol tüketimi tavsiye edilmektedir (Anonim 2002).

Omega 3 (ω -3) yağ asitleri, potansiyel kalp-dostu olması nedeniyle ticari olarak da önem kazanmıştır (Breslow 2006). Gıda sektöründe kullanılan EPA ve DHA gibi ω -3 yağ asitleri balık ve balık karaciğerinden elde edilmekte ve gıdalara ilave edilmektedir. Ancak, bu yağ asitleri oksidasyona karşı oldukça hassas olduğu için gıdada ransit tat oluşumuna sebep olabilmekte, bu da ω -3 yağ asitlerinin gıdalarda kullanımında sorun teşkil etmektedir (Gill ve Valivety 1997, Richardson vd. 2000, Kolanowski ve Laufenberg 2006). Mikroenkapsülasyon gibi yeni teknolojiler kullanılarak ω -3 yağ

asitleri gıda endüstrisinde fonksiyonel gıda olarak kullanılabilmektedir (Whelan ve Rust 2006).

Bir başka fonksiyonel bileşik olan mikrobiyel gıda katkısı, probiyotiklerdir (Kim vd. 2006). Probiyotik kültürlerin gelişiminin ve/veya canlılığının desteklenmesinde süt ürünleri (peynir, yoğurt vb.) destekleyici bir rol oynamaktadır (Gürsoy ve Kınık 2006). Probiyotikler sindirim sisteminin dengesini düzenler ve mikrobiyel enfeksiyonlara karşı sindirim sisteminin korunmasına yardımcı olur (Kim vd. 2006).

Omega 3 yağ asitlerinin formülasyonlara ilave edilmesinde karşılaşılan sorunlara benzer şekilde probiyotiklerin gıdalara dahil edilmesinde de bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Gıda formülasyonlarına probiyotikler ilave edilirken; ne tür probiyotik kullanılması gerektiğine, yararlı etki göstermesi için ürüne ilave edilmesi gereken miktara ve ürüne ilave edilen probiyotiğin ürünün duyuşal özelliklerini değiştirip değiştirmeyeceğine dair kaygılar mevcuttur (Champagne vd. 2005). Bu kaygıları ortadan kaldırmaya yardımcı yeni teknolojik uygulamalara ihtiyaç vardır.

2.2 Fonksiyonel Gıdaların Oluşturulmasında Kullanılabilir Yeni Bir Teknoloji “3 Boyutlu Baskı”

3B baskı teknolojisi, üretilmek istenen bir materyalin yapısını oluşturan malzemelerin katmanlı birikim yöntemiyle bir araya getirilerek ürün üretimi prensibine dayanan, aynı zamanda “katmanlı üretim teknolojisi”, “katı serbest formlu imalat (SFF)” olarak da adlandırılan bir tekniktir. Başlangıçta metal, seramik ve polimer gibi malzemelerden karmaşık parçaların hızlı bir şekilde 3B nesneler üretmek amacıyla yönelik kullanılan 3B baskı tekniği, geleceğin teknolojisi olarak görölmektedir (Kodama 1981, Hull 1984). Bir nesnenin 3B yazıcılarla üretimi, imgelenen bir parçanın bilgisayar ortamında modellenerek, kısa bir süre içinde elle tutulabilir somut bir nesneye dönüştürölmesi esasına dayanmaktadır (Godoi vd. 2016, Kaya 2017).

2.2.1 3B yazıcıların tarihsel gelişimi ve kullanım alanları

3B yazıcı, bilgisayarda hazırlanmış dijital veriyi kullanarak katmanlı biriktirme yöntemiyle 3B nesne üretmeye yarayan makinelere verilen genel isimdir (Yang vd. 2015, Izdebska vd. 2016). İlk 3B yazıcı Chuck Hull tarafından stereolitografi (stl.) teknolojisi kullanılarak 1984 yılında üretilmiştir (Whitaker 2014). 3B yazıcıların üretilmesindeki amaç endüstride kullanılan seramik, metal ve polimer gibi malzemelerle üretilen karmaşık yapıdaki parçaların imalatını tek seferde ve kolay bir şekilde üretmektir (Godoi vd. 2016). Eklemeli (ilaveli) üretim olarak da bilinen bu teknoloji ilk olarak savunma sanayisinde kullanılmış olmakla birlikte, son on yıldır mühendislik ve uzay çalışmaları, otomotiv, sağlık, sanat (heykel vb.), eğitim gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Yang vd. 2015, Derossi vd. 2017).

3B yazıcılar; yüksek hassasiyete sahip, tekrarlanabilir, kolay kullanılabilir, hızlı ve düşük maliyetli üretim gerçekleştirilebilmeleri sebebiyle elektronik, otomotiv, havacılık ve uzay sanayisi gibi sektörlerde yedek parça üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gebhardt ve Fateri 2013, Pallottino vd. 2016, Akben 2017). 3B baskı teknolojisinin günümüzde sağlık alanında kullanımı da hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. 3B yazıcılar kaybedilen uzuvların (el, kulak, bacak, çene, diş, kemik vb.) yerine protez yapımında kullanılmaktadır (Akben 2017). Canlı hücreler kullanılarak biyo-yazıcılar ile fonksiyonel insan dokuları da üretilmektedir (Gebhardt ve Fateri 2013, Whitaker 2014). Ayrıca 3B baskı teknolojisi oyuncak, mobilya ve bisiklet ekipmanı üretimi, moda uygun kıyafet tasarımı gibi kullanımlara sahip olmasının yanı sıra gıda teknolojisinde de kullanılmaktadır (Akben 2017).

2.2.2 3B yazıcılar ve 3B baskı işlemi

3B baskı işlemi genel olarak modelleme, dilimleme ve yazdırma olmak üzere üç temel basamakta gerçekleşir. 3B baskı işlemi gerçekleştirilirken ilk olarak bastırılmak istenen nesne bilgisayar destekli tasarım yazılımı (Solidworks, Tinkercad, Autodesk Fusion 360, Sketch Up vb.) ile tasarlanır ve 3B modelleme stereolitografi (stl.) formatına dönüştürülür (Arlı ve Demirbaş 2015, Ötleş 2016). Bu noktada, “stl.” formatındaki tasarımın 3B yazıcı tarafından anlaşılabilir hale getirilmesi için katmanlara dönüştürülmesi işlemi (dilimleme) gerekmektedir. Bu işlem G-code denilen programlama dili vasıtası ile

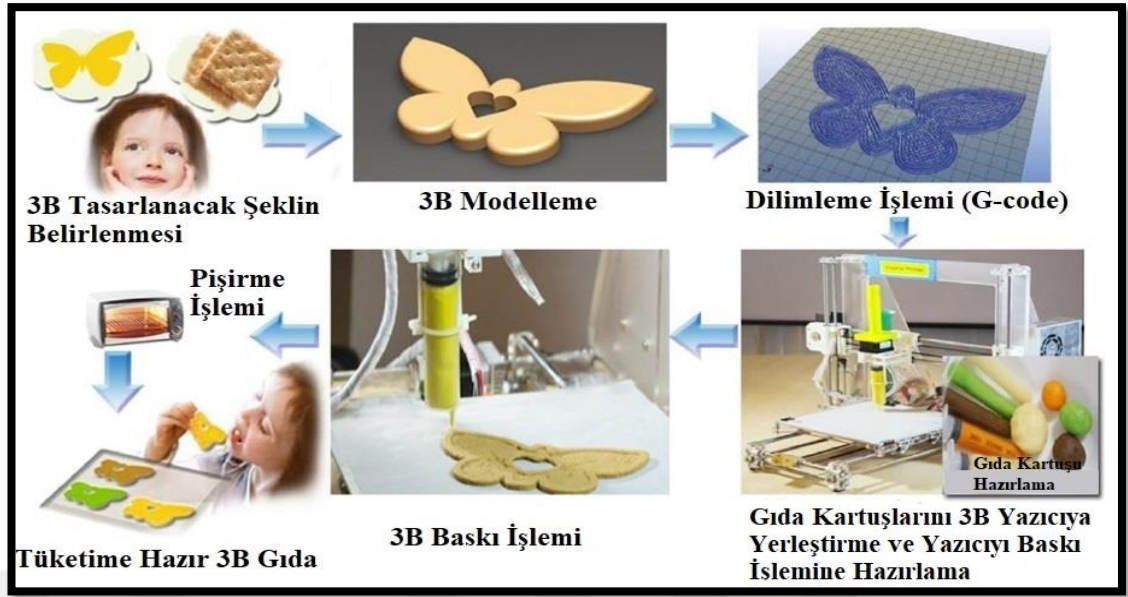
gerçekleşir. G-code, adım adım yazıcıdaki eksenlerin nasıl hareket etmesi gerektiğini belirleyen kodlardan oluşur. G-code işleminden sonra yazıcı alınan verilere göre her tabakayı üst üste inşa ederek 3B baskıyı gerçekleştirir (Feng vd. 2015, Pallottino vd. 2016). Şekil 2.1’de 3B nesnelerin tasarım aşamasından başlayıp nesne oluşumuna kadar geçirmiş olduğu süreç gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Genel 3B nesne oluşturma süreci (Anonymous 2011)

3B yazıcı ile üretilen katmanların tamamen katılaşması gerekmez. Çünkü bu katmanlar şekil değişikliği veya önemli deformasyonlar olmadan sonraki tabakaların ağırlığını ve kendi ağırlığını karşılayacak yeterli sağlamlığa ve mukavemete sahiptir (Sun vd. 2015a). 3B gıdaların detaylı olarak tüketime hazır hale getirilme aşamaları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

3B yazıcıdan baskı alırken modelin kalınlığı, katman kalınlığı, ekstrüzyon başlığı ile yazdırma platformu arasındaki mesafe (kafa mesafesi), yazdırılan yüzeyin sıcaklığı, yazıcının yazılımı, eğer dolgu yapılıyor ise dolgu miktarı ve dolgu deseni gibi unsurlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Anonim 2019).



Şekil 2.2 3B yazdırılacak gıdaların tüketimden önceki hazırlanma aşamaları (Sun vd. 2015a)

2.2.3 3B gıda baskısında kullanılan bazı teknolojiler

Günümüzde 3B yazıcılarda çeşitli baskı teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojiler üretilen ürünün yapısı ve üretim prensibi esas alınarak geliştirilmektedir. 3B yazıcılarda kullanılacak malzemeler sıvı ve katı formda ya da hücre kültürü şeklinde olabilmektedir (Godoi vd. 2016).

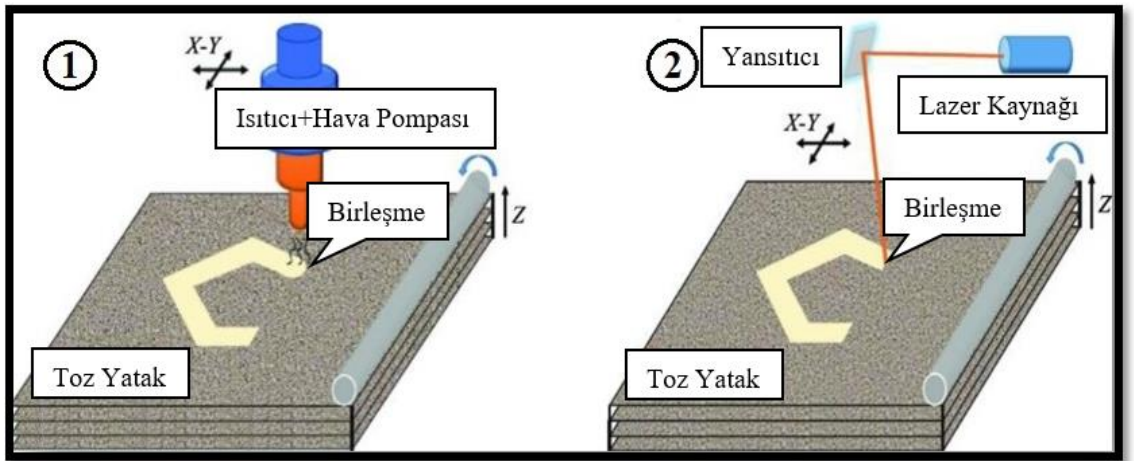
Son zamanlarda gıda tasarımı için yaygın olarak kullanılan 3B gıda yazıcıları selektif sinterleme teknolojileri (sıcak hava ve lazer kullanımı), bağlayıcı püskürtme (toz ile yapışma) teknolojisi, mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi ve eriterek yığma ile modelleme teknolojisi (ekstrüzyon temelli) ile çalışmaktadır. Bu çalışmanın da konusu olan 3B et tabanlı ürünlerin baskısı için ekstrüzyon temelli 3B baskı teknolojisi kullanılmıştır. Bu teknoloji aynı zamanda hücre kültürü baskısı için de kullanılabilmektedir (Godoi vd. 2016).

2.2.3.1 Selektif sinterleme teknolojileri

Sinterleme; parçacıkları bağlamak, yoğunlaştırmak, kısacası atomik hareketi indüklemek için kullanılan bir ısıtma döngüsünü ifade etmektedir (German 2016). Bu ısıtma işlemi parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlamaktadır. Nanometreden mikrometreye kadar küçük boyutlu partiküllerde sinterleme işlemi için harici bir basınca gerek duyulmayıp sadece sıcaklık uygulanması yeterlidir (Lu 2012).

Selektif lazer sinterleme teknolojisinde, lazer kaynağı yardımıyla toz formundaki bir materyalin katman katman birikimi sağlanır ve bu katmanlar katı forma dönüşerek 3B nesnelerin oluşumu gerçekleşir (Shellabear ve Nyrhila 2004). İnsanların gıda güvenliği kaygıları, lazer ve elektron demetine olan bakış açısı bu teknolojinin 3B yazıcı ile gıda üretimi konusunda kullanımını sınırlamıştır (Liu ve Zhang 2019).

Sıcak hava ile sinterleme işleminde ise selektif lazer sinterleme işleminde olduğu gibi bir lazer kaynağı kullanımı yerine sıcak hava bir hava pompası vasıtası ile baskı (toz) yatağına gönderilmektedir. Selektif sinteleme teknolojilerinde Şekil 2.3' te gösterildiği gibi sinterleme kaynağı olarak lazer veya sıcak hava kullanılmaktadır (Sun vd. 2015b).



Şekil 2.3 Sinterleme teknolojileri (Anonim 2016)

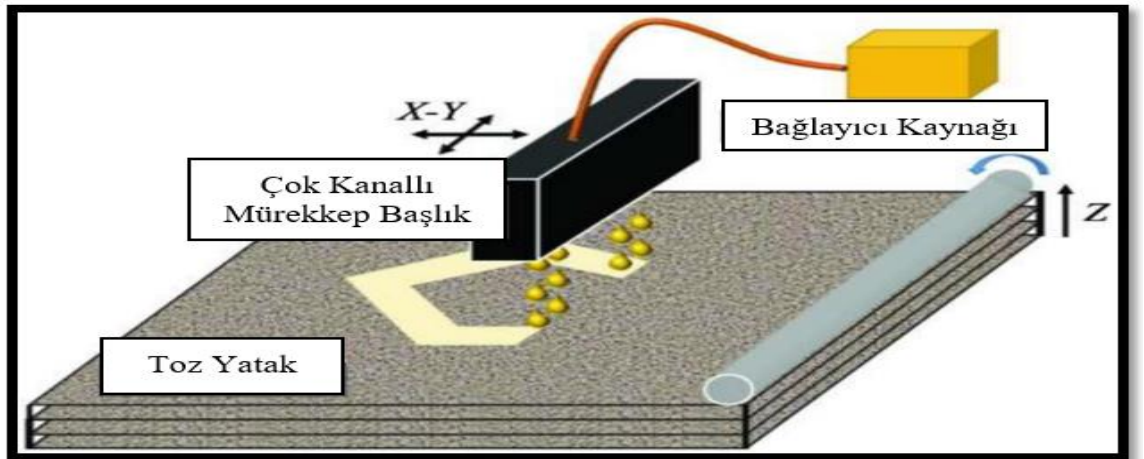
(1) Isıtıcı hava kaynaklı, (2) lazer kaynaklı

The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) (Hollanda) tarafından geliştirilen lazer sinterleme teknolojisi ile çalışan bir yazıcı ile şeker ve NesQuik tozu kullanılarak 3B şekiller oluşturulmuştur (Anonim 2016).

CandyFab (2007), sinterleme işlemi için düşük sıcaklıkta bir hava akımı uygulamıştır (Anonim 2007). Toz yatağı, termal bozulmayı en aza indirmek ve bir önceki tabakayı füzyonu kolaylaştırmak için malzemenin erime noktasının altında kalacak şekilde ısıtılmaktadır. Selektif lazer ve sıcak hava ile sinterleme işlemleri, karmaşık gıda maddelerini hızlı bir şekilde oluşturma avantajı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojiler sadece nispeten düşük erime noktasına sahip şeker ve yağ tabanlı malzemeler için uygundur. Ancak makine yapısının yanı sıra imalat işlemlerinde de birçok değişken dahil olduğu için sistem karmaşıktır (Sun 2015b).

2.2.3.2 Bağlayıcı püskürtme (toz ile yapıştırma) teknolojisi

Bağlayıcı püskürtme teknolojisinde (Şekil 2.4), her bir toz tabakası baskı platformu boyunca eşit bir şekilde dağıtılır ve iki ardışık toz tabakasını bağlamak için sıvı bağlayıcı spreyler kullanılmaktadır (Sachs vd. 1992).



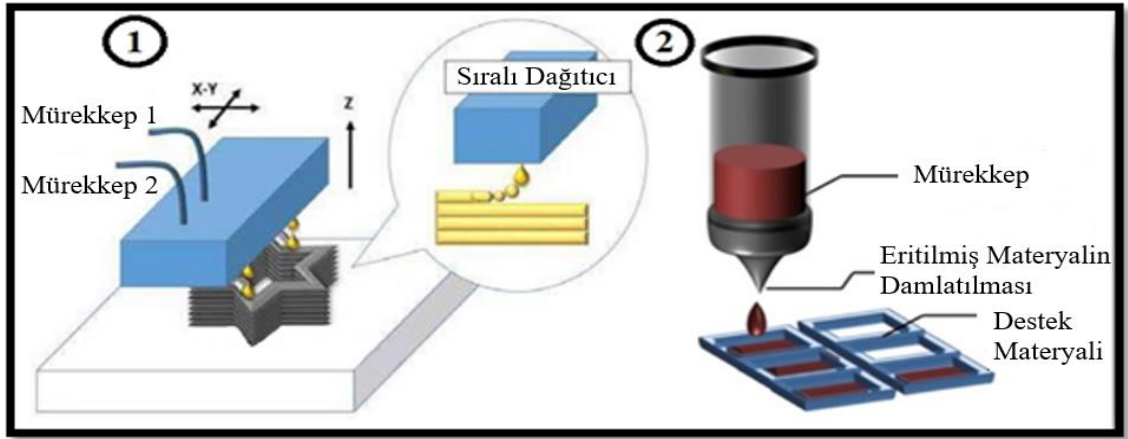
Şekil 2.4 Bağlayıcı püskürtme teknolojisi (Anonim 2016)

Üretimden önce, toz malzemeyi stabilize etmek ve bağlayıcı dağıtımının neden olduğu problemleri en aza indirmek için bir su tabakası püskürtülmektedir. Bir 3B gıda baskı projesinde, Southerland vd. (2011) pudra şekeri ve nişasta karışımlarını kullanarak özgün şekil ve içeriklere sahip (kişiselleştirilmiş) ürünler elde etmişlerdir.

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. Ayrıca besin değeri düşük, şeker içeriği yüksek albenili gıdalar tip 2 diyabet, obezite ve kalp hastalığı ile ilişkilendirilebildiği için bu teknolojinin pazar potansiyelini sınırlandırmaktadır (Sun vd. 2015b).

2.2.3.3 Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi

Mürekkep (baskı materyali) püskürtmeli baskı işlemi; kurabiye, kek ve pizza gibi gıda yüzeylerinde yüzey dolgusu veya dekorasyonu için belirli bölgelere damlacıklar şeklinde materyalin akışı ile sağlanmaktadır (Kruth vd. 2007). Sürekli püskürtme ile yazdırma ve isteğe bağlı baskı materyalini bırakma şeklinde iki tür mürekkep püskürtmeli baskı yöntemi vardır. Bu iki yöntem Şekil 2.5’ te gösterilmiştir. Genellikle, isteğe bağlı baskı materyalini bırakarak çalışan sistemlerin baskı hızı, sürekli püskürtme jet sistemlerinden daha yavaştır, ancak üretilen görüntülerin çözünürlüğü ve hassasiyeti daha yüksektir. Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi ile çalışan yazıcılarda genellikle düşük viskoziteli malzemeler kullanılmaktadır. Bu nedenle, genellikle iki boyutlu görüntüleri basmak için kullanılır. Baskı hassasiyeti ve doğruluğu açısından, mürekkep ve alt tabaka yüzeyi arasındaki uyumluluk, mürekkebin viskozitesi ve reolojik özellikleri, sıcaklık ve baskı hızı başarılı bir baskı için önemlidir. Bu teknoloji karmaşık gıda baskı işlemlerinde kullanılmamaktadır (Liu ve Zhang 2019).



Şekil 2.5 Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojileri (Anonim 2016)

(1) sürekli püskürtme ile yazdırma (2) isteğe bağlı bir zamanda baskı materyalini bırakarak yazdırma

De Grood Innovations firması (Hollanda) tarafından geliştirilen “FoodJet” isimli 3B yazıcı; bisküvilerin, keklerin ve pizza tabanlarının üzerini süslemede kullanılmıştır (Anonim 2012).

2.2.3.4 Ergiterek yığma ile modelleme teknolojisi

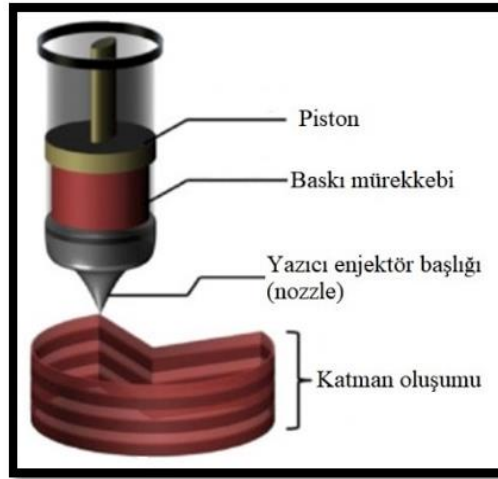
Gıdalar için en yaygın kullanılan katmanlı üretim teknolojisi ergiterek yığma ile modelleme teknolojisidir (Godoi vd. 2016). Ergiterek biriktirme (yığma) modellemesi (FDM) olarak da adlandırılan ekstraksiyona dayalı 3B baskı işlemi ilk olarak plastik malzemelerin baskısında kullanılmıştır (Ahn vd. 2002). 3B gıda baskı işlemi sırasında, eritilmiş malzeme veya hamur benzeri ürün sürekli olarak hareketli bir yazıcı enjektör başlığından (nozül) çıkar ve baskı tablası üzerinde katman katman biriktirilmeye başlanır.

Ekstrüzyon temelli baskı teknolojisi meyve sebze püreleri, yumuşak peynir, et püresi (puree meat) gibi gıdaların baskısında kullanılabilmektedir. Bu gıdaların baskı işlemi gerçekleştirilirken yapının çok yumuşak olması durumunda ihtiyaç duyulduğu takdirde her bir katmana baskı aşamasından sonra soğutma işlemi uygulanarak yapının sağlamlaşmasına katkı sağlanabilmektedir (Lipton vd. 2010, Yang vd. 2015). Bu teknoloji ile ayrıca çikolata gibi gıdalar da yazdırılabilmektedir. Katı formdaki çikolata parçaları şırınga içerisine doldurularak şırınganın ısıtılması ile erime ekstrüzyon işlemi (HME-hot melting extrusion) gerçekleştirilebilir ve yine aynı şekilde soğutma işlemi

uygulanabilmektedir (Hao vd. 2010, Mantihal vd. 2017).

FDM teknolojisi gıdaların baskı işleminin ekstrüzyon temelli olduğu bir sistemdir. Gıda baskı işlemi için formüle edilmiş materyalleri içeren yenilebilir mürekkep hazırlanır ve bir şırınga (kartuş) içerisine yerleştirilir. Yüklenen bu mürekkep 3B yazıcıdaki hidrolik piston tarafından üretilen kuvvetle veya basınçlı hava ile nozulun dışına itilmektedir. Yazıcıda hidrolik piston kullanımı yüksek viskoziteki gıdaların yazdırılmasına olanak sağlarken, düşük viskoziteli gıdaların yazdırılmasında basınçlı hava ile çalışan 3B yazıcılar tercih edilebilmektedir (Liu ve Zhang 2019).

Ekstrüzyon temelli bu teknolojide, baskı işleminin gerçekleşeceği yüzey (baskı tablası) yazdırılacak malzemeye göre ısıtmasız veya ısıtmalı olabilmektedir. Böylelikle yazdırma esnasında veya yazdırma işlemi sonrasında bulunduğu yerde (in situ) pişirme işlemi de gerçekleştirilebilmektedir (Kaya 2017, Diañez vd. 2019). 3B nesnelerin bastırılması sırasında gerçekleşen ekstrüzyon işlemi Şekil 2.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Gıda yazdırılması sırasında gerçekleşen ekstrüzyon işlemi örneği (Godoi vd. 2016)

FDM teknolojisi çikolata, jelatin, şeker gibi sıcaklık uygulandığında akışkan forma geçebilen gıdaların basımında kullanılabilmektedir (Yang vd. 2015). Püreler, jeller ve hamurlar yapılarını desteklemek için herhangi bir yapısal ajana ihtiyaç duymadan doğrudan yazdırılabilmektedir. Doğrudan yazdırılamayan gıdalarda yapıyı desteklemek,

şekil stabilitesini sağlamak için gerektiğinde hidrokolloid madde (ksantan gam, jelatin, gam arabik, karragenan vb.) ilavesi yapılmaktadır. Ayrıca gıdalara enzim ilavesi yapılarak da yapının korunması sağlanabilmektedir. Yang vd. (2015); hindi, kereviz ve deniztarağı içeren formülasyon içerisine transglutaminaz enzimi ilavesinin gıdanın pişirme sonrası yapısını korumasını desteklediğini bildirmişlerdir.

Günümüzde 3B gıda baskısı üzerine olan literatür çalışmalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Literatürdeki bu artışın yanında gıda firmalarının da 3B yazıcı sistemlerini kullanma konusunda oldukça istekli oldukları görülmektedir. Çizelge 2.2’de dünyada ticari olarak kullanılan ekstrüzyon temelli çalışan 3B gıda yazıcıları ve bazı özellikleri gösterilmektedir (Sun vd. 2018).

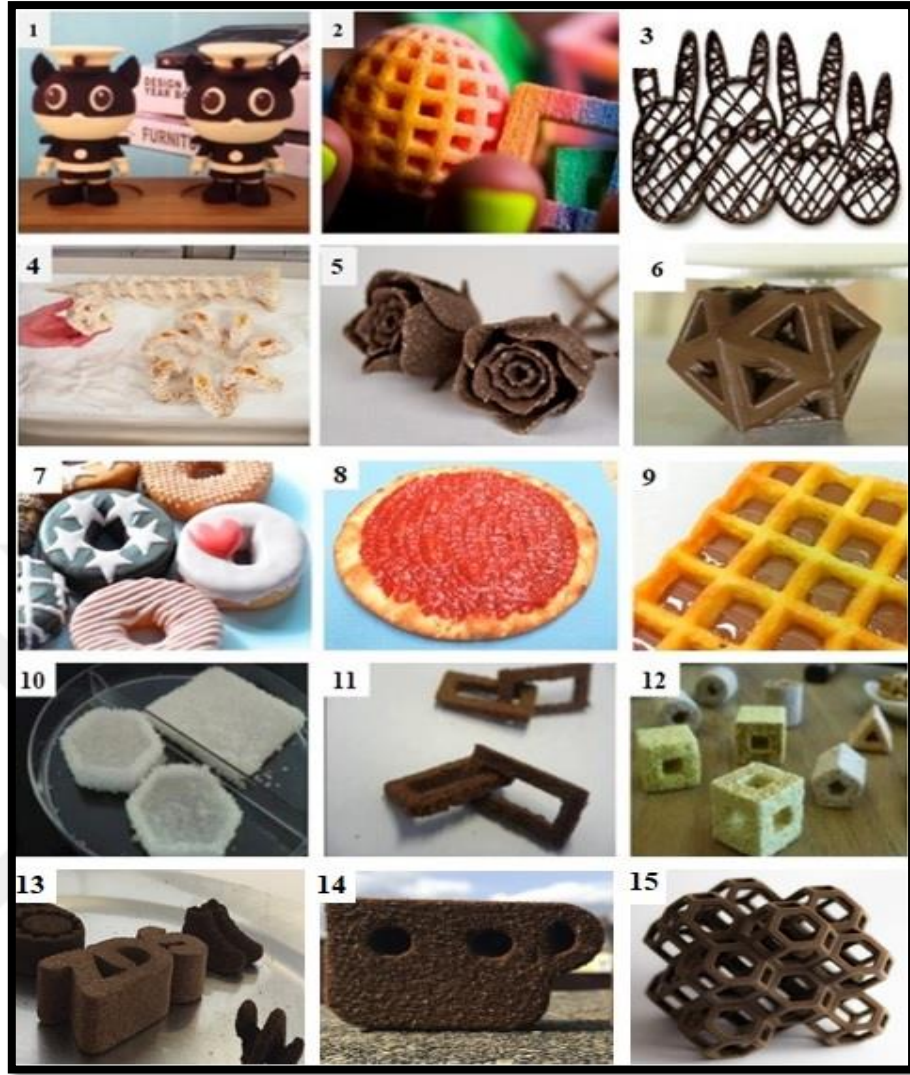
Günümüzde kullanılan farklı teknolojilerle çalışan 3B yazıcılara (Şekil 2.7) ve baskı işlemi gerçekleştirilmiş gıdalara (Şekil 2.8) bazı örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Günümüzde kullanılan 3B yazıcılara örnekler

Çizelge 2.2 Dünyada ticari olarak kullanılan bazı ekstrüzyon temelli gıda yazıcıları ve özellikleri (Sun vd. 2018)

Firma	Adı	Baskı Teknolojisi	Baskı Materyali	Ekstrüzyon Mekanizması	Yazdırılan Ürün	Baskı Sonrası İşlem
Choc Edge	Choc Creator	Sıcak eriyik ekstrüzyon	Erimiş çikolata	Pistonlu	Özelleştirilmiş çikolatalı objeler	Soğutma
Natural Machines	Foodini	Oda sıcaklığında ekstrüzyon	Yarı katı materyal (hamur vb.)	Basınçlı hava mekanizması	Özelleştirilmiş pizza ve kurabiyeler	Fırın ile pişirme
BeeHex	BeeHex Robot pizza printer	Oda sıcaklığında ekstrüzyon	Hamur, salça ve yumuşak peynir	Basınçlı hava mekanizması	Özelleştirilmiş pizza	Fırın ile pişirme
Barilla	3D pasta printer	Oda sıcaklığında ekstrüzyon	Makarna hamuru	Basınçlı hava mekanizması	Makarna	Haşlama



Şekil 2.8 Farklı 3B baskı teknolojisi ile yazdırılmış bazı gıda örnekleri

- 2,4,10,11,12: Selektif sinterleme teknolojisi - 1,3,5,6: Ergiterek yığma ile modelleme teknolojisi
- 7,8,9: Mürekkep püskürtmeli baskı teknolojisi - 13,14,15: Bağlayıcı püskürtme teknolojisi

2.2.4 Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan hammaddeler

3B yazıcılarda kullanılan baskı hammaddeleri yazıcıyı besleme kaynağına göre sıvı, toz ve hücre kültürü şeklinde sınıflandırılabilir. Godoi vd. (2016) tarafından yapılmış bir çalışmada kullanılan yazıcının; besleme kaynak türü, kullandığı teknikler, çalışma prensibi, bağlama mekanizması ve bu tekniklerin bazı kullanım alanları Çizelge 2.3’ te verilmiştir.

Çizelge 2.3 3B gıda basımında kullanılan baskı teknikleri (Godoi vd. 2016)

Besleme Kaynağı	Kullanılan Teknik	Prensip	Bağlama Mekanizması	Kullanım Alanı
Sıvı Faz	Yumuşak Materyal Ekstrüzyonu	Ekstrüzyon ve Biriktirme	Faz değişimi olmamaktadır. Materyalin reolojik özellikleriyle kontrol edilen katmanlar oluşmaktadır.	Donmuş, işlenmiş peynir, et püresi, hamur
	Erime Ekstrüzyonu	Ekstrüzyon ve Biriktirme	Soğutma ile katılaşma meydana gelir.	Çikolata ve şekerlemeler
	Hidrojel Formu Ekstrüzyon	Ekstrüzyon ve Biriktirme	İyonik veya enzimatik çapraz bağlamalar ile gerçekleşir.	Ksantan gum ve jelatin
	Mürekkep Püskürtmeli	İsteğe bağlı olarak damlatma	Faz değişimi olmamaktadır. Materyalin reolojik özellikleriyle kontrol edilen katmanlar oluşmaktadır.	Reçel, çikolata, şekerleme, jöle, sıvı hamur, peynir, et macunu
Katı Faz (Toz)	Sıvı Bağlayıcı	Bağlayıcıyı isteğe bağlı olarak damlatma ve toz bağlaması	Yapışma kuvvetiyle veya toz ile bağlayıcı arasındaki kimyasal reaksiyonlarla sağlanır.	Çikolata
	Selektif Lazer Sinterleme	Isı kaynağı (lazer) ve toz bağlaması	Şeker ve yağ sinterleme, eritme yöntemiyle çalışır.	Şeker ve Nesquik
	Sıcak Hava Sinterleme ve Eritme	Isı kaynağı (sıcak hava) ve toz bağlaması	Sinterleme ve eritme yöntemiyle çalışır.	Şeker
Hücre Kültürü	Biyo-yazdırma	İsteğe bağlı olarak damlatma	Hücrelerin üst üste birikmesiyle katmanlar oluşmaktadır.	Et

Bunun dışında 3B nesne yazdırılmasında kullanılan hammaddeler yazdırılmaz (geleneksel) gıda maddeleri ve yazdırılabilir gıda maddeleri olmak üzere ikincil bir sınıflandırma yapılabilmektedir (Wegrzyn vd. 2012, Sun vd. 2015a).

2.2.4.1 Yazdırılamaz (geleneksel) gıda maddeleri

İnsanlar tarafından yaygın bir şekilde tüketilen et, sebze-meyveler ve pirinç gibi gıdalar doğası gereği doğrudan yazdırılamazlar. Bu gibi ürünlere hidrokolloid malzemeler ilave edilerek daha kompleks geometriye sahip, yeni ürünler elde edilebilmesinin yanı sıra ekstrüzyon yeteneği de kazandırılmaktadır (Sun vd. 2015a).

Geleneksel olarak üretilen gıdaların büyük bir kısmı 3B baskı işlemi sonrasında kızartma, buharda veya fırında pişirme vb. işlemlere ihtiyaç duymaktadır. Fakat bu işlemler ısının gıda tarafından eşit bir şekilde penetre edilememesine, dolayısı ile gıdanın homojen olmayan bir tekstüre sahip olmasına sebep olmaktadır (Sun vd. 2015a).

2.2.4.2 Yazdırılabilir (doğal) gıda maddeleri

Ürünlerin tat, besin değeri ve dokusunun tamamen kontrol edilebilmesi amacıyla 3B yazıcılarda yazdırılabilir gıda maddeleri kullanılmaktadır. Bu maddelerin bazılarının şekli yazdırma işleminden sonra kararlı kalabilmektedir. Daha fazla ileri işlemeye ihtiyaç yoktur. Sağlık ve uzay araştırmaları için bu tür yazdırılabilir gıda maddelerinden faydalanılmaktadır. Yağ, un ve yumurta karışımı içeren hamurlara ve protein içeriği yükseltilmiş et karışımlarına yazdırma işleminden sonra pişirme işlemi uygulanabilmektedir (Sun vd. 2015a). Pişirme işlemi sırasındaki şekil kayıplarını azaltmak için çeşitli araştırmalar devam etmektedir. Cornell Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada kesilmiş L şeklinde ve uzay mekiği şeklinde yazdırılmış deniztarağı örnekleri bol yağda kızartıldığında şekil kayıplarının minimum düzeyde olduğu belirtilmiştir. Sadece çok ince olan kısımlarda deformasyonlar gözlenmiştir. Yazdırılan bu gıdalara, duyuşsal olarak eğitimli panelistler tarafından kabul edilir puanlar verilmiştir (Cohen vd. 2010).

Ekstrüzyon temelli hızlı imalatlarda pasta sosu, peynir, çikolata, humus gibi hidrojel formunda olabilen doğal yazdırılabilir malzemeler kullanılabilir (Southerland vd. 2011, Sun vd. 2015a). Bu gıda maddeleri Şekil 6'da gösterilen yazıcı enjektör başlığından

(nozuldan) ekstrüde olarak düzgün bir şekilde çıkabilmektedir (Sun vd. 2015a).

Toz ile yapıştırma teknolojisi yardımıyla yenilebilir şekiller üretmek için farklı şeker kombinasyonları kullanılarak 3B baskı işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Sun vd. 2015a). Southerland vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada tozla yapıştırma teknolojisi ile çalışan bir 3B yazıcıda patates püresi, şeker, mısır unu kullanımı denenmiştir.

2.2.5 Karbonhidrat, protein ve yağların 3B yazıcı ile yazdırılması

Gıda maddeleri biriktirme işleminin gerçekleşebilmesi için akışkan (sıvı veya toz) olmalıdır, bu akışkanlık eritme ile sağlanmaktadır. Akan madde, birikimi sırasında veya sonrasında yapısını desteklemelidir. Protein, yağ, karbonhidrat gibi bileşenlerin fraksiyonlarındaki değişiklikler gıdanın yazdırılması sırasındaki eritme davranışını, camsılık ve plastikleşme özelliklerini etkileyecektir. Su ile plastikleşme olayının nişasta, gluten ve jelatin gibi gıda polimerlerinin camsı geçiş sıcaklığını (T_g) azalttığı iyi bilinmektedir (Godoi vd. 2016).

2.2.5.1 Karbonhidratların 3B yazıcı ile yazdırılması

Polimerik maddelerin temel ayırt edici özelliklerinden biri olan camsı geçiş sıcaklığı (T_g); monosakkaritlere, disakkaritlere, polisakkaritlere, maltodekstrin vb. karbonhidrat fraksiyonuna bağlıdır. Maltodekstrin gibi yüksek molekül ağırlıklı polimerik karbonhidratlar, jelleştirici maddenin modifikasyonu veya su, jelleştirici eklenmesi olmaksızın yazdırılamaz niteliktedirler. Saf nişastanın camsı geçiş sıcaklığı 100-243 °C civarında iken; fruktoz ve glikozun T_g 'si 5-31 °C civarındadır (Godoi vd. 2016). Nişastanın moleküller arası bağları bozulduğunda hidrojen bağlama alanları daha fazla su ile karşılaşmaktadır. Parçalanma sonucu meydana gelen şeker, düşük nem içeriğine sahip sistemlerde nişasta eksikliği ile birlikte çözünen olarak rol oynayarak plastikleştirici etki gösterebilmektedir. T_g 'nin kontrolü, materyalin birikmesinden sonra kendi yapısını desteklemesi için önemlidir (Godoi vd. 2016).

Besleme kaynağı toz (katı) olan sistemlerde şekerler, bağlayıcı sistemin ana unsurudur. Bu sistemlerde kullanılan teknolojide sıcak hava veya lazer kullanılarak malzeme eritilmektedir. Bu nedenle erime noktası aralığı önemlidir. Isı kaynağı toz yatağı üzerinde gezinmeye başladığında desen oluşumu gerçekleşmektedir (Godoi vd. 2016). Toz yoğunluğu ve sıkıştırılabilirlik gibi parametreler de diğer önemli unsurlardır. Çünkü bu unsurlar kap içerisindeki tozun akışkanlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Düşük akıcılık, yeniden kaplanabilme yetersizliğine, yani üretim esnasında yeni kat oluşumu gerçekleşirken sorunlara neden olur. Yüksek akışkanlık ise toz yatağında kararsız yapı oluşumuna sebep olmaktadır. Toz yatağına dağılmış bağlayıcının hacmi ve parçacıklar tarafından absorbe edilen bağlayıcı madde miktarı önemlidir. Bunun yanında, yapıların çözünürlüğünü, mekanik/ yapısal özelliklerini etkilediği için ıslanabilirlik de önemli bir diğer unsurdur. İnce toz parçalarının az ıslanması istenmeyen bir durumdur ve toz yatağının yeniden düzenlenmesine neden olmaktadır (Godoi vd. 2016).

Toz ve bağlayıcı arasındaki etkileşimler yapışma kuvvetleri veya kimyasal tepkimelerle ilişkilendirilmektedir. Su bazlı bağlayıcılar gıda tasarımı için daha iyi bir alternatiftir. Çünkü polimerik bağlayıcılar kullanıldığında gıdada istenmeyen yan ürünlerin oluşumu artabilir (Godoi vd. 2016).

Hidrokolloidler, suda kolloidal dispersiyonlar oluşturan bitkisel, hayvansal, mikrobiyal veya sentetik kaynaklardan elde edilen hidrofilik polimerlerdir. Hidrokolloidler 3B yazıcılarda bağlayıcı bileşen olarak kullanılmaktadır. Sıvı tabanlı ilaveli üretim tekniklerinde, hidrokolloidler karışımın farklı reolojik davranışına yol açan jelleşme mekanizması yoluyla gıda bileşenleri ile birleşebilmektedir (Godoi vd. 2016).

2.2.5.2 Proteinlerin 3B yazıcı ile yazdırılması

Gıda proteinleri, pozitif ve negatif yüklü fonksiyonel gruplar içeren aminoasitlerden meydana gelmektedir. Proteinler izoelektrik noktada (pI) yığılma göstermektedir. Bu, parçacık esaslı jel ve hidrojel oluşturan mekanizmalar tarafından yönetilen sıvı bazlı ilaveli üretim işlemi için önemli bir özelliktir. Prosesler sırasında jelatin ve alginat gibi polisakkarit malzemelerin ilavesi ile yeni tekstürler oluşturulmaktadır (Godoi vd. 2016).

İç unsurların (kuvvetli asidik veya bazik bileşenler vb.) ilave edilmesi ve dış unsurların (sıcaklık vb.) ayarlanması ile oluşan yapılar desteklenebilmekte, farklı tekstür oluşması sağlanabilmektedir (Godoi vd. 2016).

Mekanik direncin artırılması veya sıcaklık gibi dış unsurlar ile kuvvetli asidik veya bazik iç unsur sayılabilen bileşiklerin eklenmesi ile farklı tekstür tasarımları için proteinlerin kümelenmesi (aggregation) veya denatüre olmasından faydalanılabilmektedir. Buna ek olarak, gıdalara enzimlerin eklenmesi ile gıda proteinlerinin konformasyonları değiştirilebilmektedir (Godoi vd. 2016).

Jelatin, kollajenin fibröz yapısının geri döndürülemez bir şekilde parçalanması sonucu meydana gelen bir proteindir ve yazıcı mürekkep bileşeni olarak kullanım için potansiyel bir adaydır. Jelatinin erime sıcaklığı genellikle insan vücut sıcaklığının altındadır (Erge ve Zorba 2016). 3B baskı işlemi sonrasında soğutma işlemi gerçekleştirilmesi ile jelleşme meydana gelmektedir. İzoelektrik noktada proteinler tamamen büzüşür ve viskozite minimumdur. Bir pH (hidrojenin gücü) değişikliği olduğunda fonksiyonel grupların iyon konsantrasyonları değişmektedir. Benzer yüklerin birbirlerini itmeleri molekül yapısını genişletmekte ve viskoziteyi arttırmaktadır (Godoi vd. 2016).

2.2.5.3 Yağların 3B yazıcı ile yazdırılması

Yağlar, üç yağ asidi ve bir gliserol molekülünün reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Erime noktası, katı yağ indeksi ve kristal yapı gibi unsurlar yağların basım işlemini etkilemektedir. Örneğin et ürünlerindeki yağ asidi bileşenlerinin farklı erime noktalarına sahip olması etin tekstürel özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca, etin rengi yağ asidi içeriğinden etkilenmektedir. Çünkü, yüksek erime noktasına sahip katılaşmış yağ, sıvı yağdan daha beyaz görünür. Bunun yanında, doymamış yağ asitlerinin bileşimi de -özellikle ikiden fazla çift bağa sahip olanların kolayca oksitlenebileceği gerçeğine dayanarak- raf ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. 3B yazıcılar ile yağ asidi içeriği ayarlandıktan sonra biftek, tavuk, hindi ve domuz eti içerikli gıdalar üretilerek bu gıdaların besleyici değeri, lezzeti ve kalitesi artırılabilir. Bu teknoloji, özel amaçlı diyetle ihtiyaç duyan tüketicilere (özellikle yaşlılar ve çocuklara) yönelik yüksek kaliteli

et tabanlı ürünler elde etmede kullanılmaktadır (Godoi vd. 2016).

Cohen vd. (2010), Avusturya'nın geleneksel bir kurabiyesi olan "Weihnachtsbaeckerei" formülasyonu kullanarak hazırlanan karışım 3B yazıcılarla yazdırılmıştır. Baskı işleminden sonra ürünün sıvılaşmasını önlemek için yazdırma materyal formülasyonunun içerisine tereyağı ilavesi yaparak optimizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yine aynı ekip etin yazdırılabilirliğini arttırmak için hindi eti püresi içine transglutaminaz enzim ilavesi gerçekleştirmiştir.

Erime ekstrüzyon sistemi ile çalışan bir 3B yazıcıda çikolata yazdırılması esnasında şekerin kristalizasyon durumu önemlidir. Ekstrüzyon esnasında sütlü çikolata içindeki laktoz ve sükroz tamamen kristalleşmelidir. Amorf yapıdaki şeker yağın tutulmasını azaltmaktadır. Bundan dolayı nihai çikolata viskozitesini ayarlamak için daha az yağ gerekmektedir. Amorf yapıdaki şekerden yağın uzaklaşması üreticinin işini kolaylaştırmaktadır. Çünkü şeker yağı absorblayamadığı için ideal viskoziteye ulaşmak için gereken toplam yağ azaltılmış olur (Godoi vd. 2016).

2.2.6 3B yazıcı kullanımının olumlu ve olumsuz yanları

3B baskı işleminin geleneksel üretim yöntemleriyle kıyaslandığında bazı üstün yönleri aşağıdaki gibidir:

- Bir ürünün çevreye verdiği zarar (karbon ayak izi) azaltılır (Anonymous 2011).
- Modern tasarımlar üretilebilir (Anonymous 2011).
- Malzeme atığı azaltılır (Anonymous 2011).
- Enerji kullanım miktarı sınırlanır (Anonymous 2011).
- Hammaddelerin daha verimli kullanılması sağlanır (Anonymous 2011).
- Gıda yazdırma prosesi, gıda kompozisyonundan sıvıyı tamamen çıkarmak için yüksek bir enerji kaymağı gerektirmez (Sun vd. 2015a).
- Çevre dostu ürün tasarımları mümkündür (Anonymous 2011).
- Minimal zararlı kimyasallara ihtiyaç duyulur (Anonymous 2011).

- Karmaşık ürünlerin dizaynı ve üretimi kısa sürede gerçekleştirilebilir (Anonymous 2011).
- Hızlıca prototip ürünler üretilebilmektedir. Üretilen üründe istenmeyen bir durum gözlemlendiğinde ürün tasarımı bilgisayarda kolaylıkla değiştirilebilmekte ve ürün yazdırılarak yeniden test edilebilmektedir (Yang vd. 2015).
- Prototip üretilirken kişi veya işletmelere zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır (Çelik 2015).
- 3B yazıcılarla yapılan üretimler, tüketim noktalarına yakın olması dolayısıyla mesafelerin kısılması tedarik zinciri süreçlerindeki karmaşıklığı azaltır (Akben 2017).
- 3B yazıcılar ile sadece satılacak ürünler imal edilir, böylece depolamadaki aşırı stok önemli ölçüde azaltılır (Akben 2017).

3B baskının geleneksel gıdalara göre bazı olumsuz yönleri:

- Tüm yeni teknolojilerde olduğu gibi, imalat işlemlerini de azaltacaktır. Bu dezavantaj özellikle, insan işgücü maliyetinin düşük olduğu ülkelerin ekonomilerinde olumsuz bir etkiye sahip olacaktır (Akben 2017).
- 3B yazıcılarda kullanılan hammadde seçeneği günümüzde sınırlıdır. Fakat seçenekler gün geçtikçe artmaktadır (Akben 2017).
- İmalatçı işletmeler yazdırılan nesneler üzerindeki kalite ve spesifikasyonlar konusundaki kontrollerini kaybederler (Akben 2017).

3B yazıcı kullanımıyla ürünlerin yerel olarak üretilip dağıtıldığı sistem ile ürünlerin geleneksel olarak üretildiği ve bunların yurt dışına dağıtımının yapıldığı sistem karşılaştırıldığında 3B baskı teknolojisinin geleneksel üretime göre bazı potansiyel avantajları ortaya çıkmaktadır. Bu avantajlar Şekil 2.9’ da gösterildiği gibidir (Anonymous 2011).



Şekil 2.9 3B yazıcı kullanımının geleneksel ürün üretimine göre bazı potansiyel avantajları (Anonymous 2011)

2.2.7 3B gıda yazıcıları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar

“Nanotek Instruments” firması tarafından ilk kez 2001 yılında özel bir doğum günü pastası tasarlanmış ve 3B yazıcı yardımı ile bastırılmıştır (Sun vd. 2015a). 2008 yılında Philips’in üretmiş olduğu yemek yazıcısı için özel tasarlanmış gıda maddelerini katman katman üretmeye yarayan gıda kartuşlarının tanıtımı yapılmıştır. Electrolux Design Lab. isimli yarışmada (2009) Nico Kläber isimli yarışmacı birden fazla materyal ile 3B gıda yazıcısının robotik kollarını kullanarak tamamen özelleştirilmiş bir gıda yazdırarak moleküler gastronomi branşı ve gıda sektörüne katkı sağlamıştır (Sun vd. 2015a). 3B teknolojisi ile gıdaların tarifleri dijital hale getirilmekte ve bu veriler yazıcı hafızasına kaydedilebilmektedir (Yang vd. 2015). 3B yazıcılar ile kek, dondurma, meyve ve sebze püreleri, hamurlar ve omlet gibi çeşitli gıdalar yazdırılabilmektedir (Yang vd. 2015).

Jeoloji, çevre bilimi ve uzay bilimi ile ilgilenen insanlar izole edilmiş bir bölgede çalışma yaparken 3B yazıcıları kullanarak kendi gıdalarını üretebilirler (Lin 2015). NASA, 2013 yılında 3B yazıcılar ile uzay istasyonlarında isteğe bağlı yiyecek üretimi için proje bütçesi ayırmıştır (Sun vd. 2015). Böyle bir proje ile uzayda gıda depolama problemi çözülmesi, astronotların dengeli bir şekilde kalori alımının sağlanması, yazıcıların yardımı ile çok çeşitli ve istenilen gıdaların üretiminin sağlanmasının yanı sıra, 3B yazıcıların ticari

kullanımı ile dünyadaki açlığa bir çözüm bulunabilmesi amaçlanmıştır (Anonymous 2015). Bu teknoloji ile uzayda nispeten daha basit bir pişirme ve daha uzun raf ömrüne sahip gıdaların üretilmesi planlanmaktadır (Lin 2015).

Lin'e (2015) göre, gelecekte taze meyve ve sebzelerden daha uzun raf ömrüne sahip, gerekli besin maddeleri ve özel diyet gereksinimlerini içeren ambalajlanmış kartuşlardan hazırlanabilen gıdalar üçüncü dünya ülkelerine gönderilebilecektir. Böylelikle 3B yazıcı kullanımı ile bu ülkelerdeki gıdaya ulaşım problemi azaltılmış olacaktır (Lin 2015).

3B baskı teknolojisi ile disfaji de denilen çiğneme ve yutma sorunu yaşayan, sağlık problemi olan kişiler için daha yumuşak gıdalar hazırlanabilmektedir. Aynı şekilde alerjik bünyeye sahip olan kişilerin ihtiyacına göre de özel gıdalar üretilmektedir (Kouzani vd. 2017).

Derossi vd. (2017) yapmış oldukları bir çalışmada, 3-10 yaş arası çocuklar için gerekli olan enerji, kalsiyum, demir ve D vitamini miktarının %5-10'unu sağlamak için tasarlanmış meyve tabanlı formülasyonun baskı hızı ve % akış miktarının baskı kalitesi üzerine etkisi araştırmışlardır. Çalışmada 30, 50 ve 70 mm/s baskı hızları ve %70, %100 ve %130 akış miktarları denenmiştir. %70' lik akış poroziteyi artırmış ve düzensiz bir yapı oluşturmuştur. Akış yüzdesinin artırılmasıyla gözeneklilik oranı azalmıştır. Bu çalışma için 70 mm/s baskı hızı ve %130 akış miktarı 3B baskı için uygun bulunmuştur.

Wang vd. (2018) bir balık eti ürünü olan surimiye tuz (NaCl) ilave etmiş ve tuzun 3B yazdırılan ürün kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, bu çalışma ile surimi jelinin baskı boyutları ve geometrik doğruluğu ile yazıcı parametreleri de belirlenmiştir. Çalışma sonucunda surimi ürünü için % 1.5 tuz kullanımı önerilmiş, optimal parametreler nozul çapı, nozul yüksekliği, nozul hareket hızı ve ekstrüzyon oranı sırasıyla 2 mm, 5 mm, 28 mm/s ve 0.003 cm³/s olarak belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada limon suyunu jelleştirmek için farklı oranlarda (%10, %12.5, %15, %17.5, %20) patates nişastası kullanılmış olup 3B yapıyı en iyi sağlayan oranın %15

olduğu belirlenmiştir. Baskı için belirlenen ideal nozul çapı 1 mm, ekstrüzyon hızı 24 mm³/s ve nozul hareket hızı 30 mm/s'dir (Yang vd. 2018a).

Yang vd. (2018b) tarafından farklı miktarlarda su, sakaroz, tereyağ, un ve yumurta içeren hamurlar hazırlanmış ve 3B baskı sonucu en iyi şekil elde edilen hamurun 100 g'ının 29 ml su, 6.6 g sakaroz, 6 g tereyağ, 48 g un ve 10.4 g yumurta içerdiği belirtilmiştir. Hamur içerisindeki sakaroz, tereyağ, un miktarı arttıkça hamurun jel gücü, elastikliği ve viskozitesi de artış göstermiş, sünme (ductility) özelliği ise azalmıştır.

Severini vd. (2018b) gerçekleştirdiği bir çalışmada sebze ve meyve karışımları 3B olarak yazdırılmış ve yazdırılan ürünün morfolojik ve mikroyapısal özellikler incelenmiştir. Ayrıca, yazdırılan ürün 5 °C' de 8 gün depolanarak üründe mikrobiyolojik, antioksidan kapasite ve duyu analizleri gerçekleştirilmiştir. 3B baskıda ideal akış miktarının %101.4 olduğu belirlenmiştir. Şekil itibarı ile 3B yazdırılmış ürünler yazdırılmamış formdaki materyale göre daha albenili bulunmuştur. Antioksidan kapasite depolama süresince mg trolox/100 g iken, toplam fenolik içerik 18.8 mg CAE/100 g'dan 10.5 mg CAE/100 g'a düşmüştür. Çalışmadaki toplam psikrofil bakteri, toplam mezofil bakteri ve toplam maya-küf sayıları sırasıyla 4.27 log kob/g, 5.02 log kob/g ve 4.23 log kob/g olarak saptanmıştır. Elde edilen bulgular hammaddeden ve kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan bir bulaşı olabileceğini göstermektedir. 3B yazıcı ile yazdırılmış ürünün piston ile temas etmesi, formülasyonun plastik bir şırıngaya doldurulması, karışımın yanlışlıkla 3B yazıcının diğer kısımlarına temas etmesi bakteri yükünün artmasına sebep olmuş olabilir. Bu çalışmanın başka bir sonucu olarak 3B yazıcılar restoranlarda veya endüstriyel ölçekli kullanılmadan önce gıda ile temas eden her bir parçanın sterilize edilmesi gerekmektedir.

Gerçekleştirilen bir çalışmada, D vitamini ile zenginleştirilmiş buğday nişastası ilave edilmiş portakal suyu konsantresine gam arabik (GA), guar gam (GG), kappa karragenan (KG) ve ksantan gam (XG) gibi farklı gam maddeleri ilave edilerek bunların 3B baskı sonrası reolojik özellikleri, tekstürü, mikroyapısı ve baskı kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Formülasyonda 15 g nişasta, 1 g gam maddesi ve 100 ml ısıtılmış portakal suyu konsantresi karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın sıcaklığı 40 °C'ye düşürülerek 1

ml D vitamini ilavesi yapılmıştır. Kappa-karragenan, ksantan gam ve guar gam ilavesi görünür viskozite değeri ile G' ve G'' değerlerini arttırmıştır. Gam arabik ilavesi ise görünür viskozite ve G' değerinde azalmaya sebep olmuştur. En iyi yapı oluşum tanδ 0.238 ile sağlanmış olup, en uygun gam maddesi kappa-karragenan olarak belirlenmiştir. Kappa-karragenan, yazdırılan nesnelerin pürüzsüz görüntüsü ve çiğneme özelliği bakımından en iyi sonuçları vermiştir (Azam vd. 2018).

Sarı un kurdu larvaları (*Tenebrio molitor*) ile zenginleştirilmiş buğday unu kullanılarak 3B yazdırılmış atıştırılabilir ürünler elde edilmiştir. Öncelikle 20 g/100 g larva ilavesine kadar yumuşak bir hamur elde edilmiş ve sonrasında 3B baskı işlemi gerçekleştirilmiştir. Yazdırılan ürünler 200 °C'de 22 dk pişirilmiştir. %10 ve %20 oranlarında larva ile zenginleştirilmiş atıştırılabilirliklerin toplam esansiyel amino asit miktarı 32.5 g/100g değerinden sırasıyla 38.2 g/100g ve 41.3 g/100g değerine yükselmiştir. Ayrıca larva ilavesi ile ürün içerisindeki lisin miktarının da arttığı belirlenmiştir (Severini vd. 2018a).

Japon akdarısı (barnyard millet), maş fasulyesi (green gram), kızartılmış maş fasulyesi ve mısır anasonu (ajwain seed) hazırlanan un karışımları kullanılarak yüksek miktarda lif ve protein içeren 3B atıştırılabilir ürünler üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda ideal baskı için 0.84 mm nozul çapı, 0.63 mm nozul yüksekliği, 2400 mm/min baskı hızı, 300 rpm ekstrüder motor hızı kullanılması uygun bulunmuştur. 3B baskısı gerçekleştirilen nesnelere kızartma, sıcak hava ile kurutma ve kızartma kombinasyonu uygulaması ve mikrodalga ile kurutma işlemleri (280W, 560W, 840W, 1120W ve 1400W) uygulanmıştır. Mikrodalga ile kurutmanın besin kayıplarını önlemede daha etkili olduğu belirtilmiştir. Kurutma ve kızartma kombinasyonu uygulanmış örnekler, sert yapısı ve koyu rengine rağmen duyu analizi sonucunda en yüksek skoru elde etmiştir (Krishnaraj vd. 2019).

Diañez vd. (2019) yapmış oldukları bir çalışmada, kappa-karragenan:su (3:100) olacak şekilde karıştırılmıştır. Jel yapının oluşumunun sağlanması için 2 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Metal nozul 50 °C, 62 °C, 80 °C, 98 °C ve 110 °C'ye ısıtılmış, baskı hızı 10 mm/s, 20.1 mm/s, 35 mm/s, 49.9 mm/s ve 60 mm/s olarak, katman yüksekliği ise 0.06 mm, 0.11 mm, 0.18 mm, 0.25 mm ve 0.30 mm olarak ayarlanmıştır. Artan sıcaklıkla

beraber baskı hızının ve katman yüksekliğinin azalması karragenan yapısını destekleyerek yoğun etkileşimli jel bağlarının oluşumuna neden olmuştur. Metal nozul, 80-85 °C'nin üzerine ısıtılarak görünür yapının iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir.

3B gıda yazıcısı kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada, soya proteini izolatu karışımlarına sodyum aljinat (%0.5) ve jelatin (%2, %6, %10) ilaveleri yapılarak yapı oluşumu ve yazdırılabilirlik üzerine etkileri incelenmiştir. Sıcaklık 30 °C'den 4 °C'ye düşürüldüğünde viskozitede ve mekanik dayanımda önemli bir artış meydana gelmiştir. 35 °C'de, jelatin ve sodyum aljinat arasında çapraz bağların oluşumun meydana gelmediği, ayrıca %6 ve %10 jelatin içeren soya protein izolatu karışımları daha akışkan özellik gösterdiği bildirilmiştir (Chen vd. 2019).

Dick vd. (2019), 3B baskı için bir et ürünü formülasyonu kullanılmışlardır. Çalışmada formülasyonun yağ içeriğinin artırılması; üründe daha fazla pişme kaybına, büzölmeye ve yapışkanlığa neden olurken aynı zamanda ürünün daha az yağ ve su tutmasına, sert olmasına ve çignenebilirlik özelliğinin de zayıflamasına sebep olmuştur. Ayrıca çalışmada sous-vide pişirme metodu kullanılmış olup 3B et tabanlı ürünlerin pişirilmesi için uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

3B yazdırılan gıdalarda pişirme esnasında homojen olmayan bir renk dağılımı görölebilmektedir. Hertafeld vd. (2019) infrared lamba ısıtma mekanizması ilave edilmiş 3B yazıcı ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazıcıya entegre edilen infrared sistemi 6.35 mm kadar küçük çaplara sahip alanlarda 1800 °F'a kadar sıcaklık üretebilen tek bir lamba ve reflektörlü ısıtma sisteminden oluşmaktadır. 3B yazdırılan bir ürüne, her bir katmanının baskı işlemi ile eş zamanlı olarak infrared ısıtma uygulanmıştır. Ürün baskı işleminin tamamlanmasının ardından elde edilen ürün 175 °C'de 10 dk fırında pişirilmiştir. Bu işlem sonrasında 3B yazdırılan ürünlerdeki homojen olmayan renk dağılımının azaldığı görölmüştür.

Kurabiyelerde 3B baskı işlemi gerçekleştirilen bir çalışmada, pişirme sonrası kurabiyelerde meydana gelen deformasyonu önlemek amacıyla kurabiye hamuru içerisine 4 farklı oranda (%0.5, %1, %2, %3) metilselüloz ve ksantan gam ilavesi yapılmış

ve etkisi araştırılmıştır. Pişirme sonrası şeklini en iyi koruyan kurabiyelerin % 0.5 ksantan gam içerdiği sonucuna varılmıştır. Metil selüloz içeren örneklerin dört konsantrasyonun da yapıya katkı sağlamadığı aksine metil selüloz konsantrasyonu arttıkça mekanik mukavemette düşüş yaşandığı belirtilmiştir. Ayrıca, %0.5'ten daha yüksek konsantrasyonlarda ksantan gam ilavesinin, baskı materyalinin ekstrüde edilebilirliğini azalttığı, gıda matriksinin gözenekli bir yapı gösterdiği ve dolayısı ile ürünün zayıf doku profiline sahip olduğu tespit edilmiştir (Kim vd.2019).

Yang vd. (2019) yapmış oldukları bir çalışmada 3B baskı için optimum parametreleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Bunun için nozul çapı (2.10, 2.30, 2.50 mm), nozul hareket hızı (20, 25, 30 mm/s), nozul çapı nozzle diameter (0.8, 1.5, 2.0 mm) ve nozulun tabladan yükseklik değeri (2.10, 2.40, 2.60 mm) olacak şekilde denemeler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, yazdırılan ürünler geometrik stabiliteyi sağlamak için -65 °C'de 0 dk, 5 dk ve 10 dk depolanmıştır. Çalışma sonucunda ideal filament çapının 2.30 mm, nozul hareket hızının 25 mm/s, nozul çapının 2 mm, nozulun tabladan yüksekliğininse 2.40 mm olduğu saptanmıştır. Bu işlem sonrasında 3B yazdırılan ürünün yapısını koruması için -65 °C'de minimum 10 dk olacak şekilde dinlendirilmesi tavsiye edilmektedir.

Bir çalışmada, ticari olarak satılan hazır patates püresinin (formülasyon gereği 38 g dehidre patates püresi tozu 250 ml tam yağlı süt içerisinde hazırlanmıştır) 10 °C, 20 °C ve 30 °C'de 3B baskı işlemi gerçekleştirilmiş ve en uygun baskı sıcaklığının 30 °C olduğuna karar verilmiştir. 3B baskı işleminde ürün formülasyon bileşiminin baskı sıcaklık değerinden daha önemli olduğu vurgulanmıştır (Martínez-Monzó vd. 2019).

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada fonksiyonel tavuk eti formülasyonu hazırlamak için kullanılan tavuk but eti, kereviz, soğan, zerdeçal tozu, sarımsak tozu, tuz, zeytinyağı, tam buğday unu Ankara piyasasındaki süpermarketlerden satın alınmıştır. Ayrıca yapının iyileştirilmesi amacıyla formülasyona havuç lifi (Kutluer Gıda, İstanbul), kappa-karragenan (Sigma, ABD) ve jelatin (Kazlıçeşme, İstanbul) ilave edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ürün formülasyonu hazırlama

Formülasyon için 1 kg tavuk eti, 1 litre su içerisinde; 1 adet kereviz (~255 g), 2 adet havuç (~117 g) ve 2 adet soğan (~160 g) ise 750 ml portakal suyu içerisinde haşlanmıştır. Haşlanan tavuk but eti, homojenizasyon işlemini kolaylaştırmak için küçük parçalara ayrılmıştır. Ürün formülasyonunda kullanılan materyaller ve oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Tam buğday unu, havuç lifi, kappa karragenan, zeytinyağı ve tavuk suyu (1/2) cam bir kap içerisine alınarak karışım sıcaklığı 45 °C olana kadar karıştırılarak ısıtılmıştır. Haşlanmış tavuk eti, tavuk suyu (1/2), haşlanmış kereviz, haşlanmış havuç, haşlanmış soğan, zerdeçal tozu, sarımsak tozu ve tuz ise ayrı bir cam kap içinde yine sıcaklığı 45 °C olana kadar karıştırılarak ısıtılmıştır. Hazırlanan bu iki karışım birleştirilerek blender (Tefal masterblend-1000 W) ile homojenize edilmiştir. 45 °C sıcaklıktaki formülasyonlara %0, %1 ve %2 jelatin ilave edilerek tekrar karıştırılmış ve formülasyonlar hazır hale getirilmiştir. Jelatin 35-40 °C’ nin altında jel formuna geçtiği için (Erge ve Zorba 2016) karışım işleminin iyi sağlanması amacıyla karışımlar karıştırılırken 45 °C’ye ısıtma işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan formülasyonlar oda

sıcaklığında soğumaya bırakılıp (25-30 °C) 3B baskı işlemi gerçekleştirilmiş ve optimizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

Çizelge 3.1 Optimizasyon çalışmasında kullanılan formülasyon içeriği

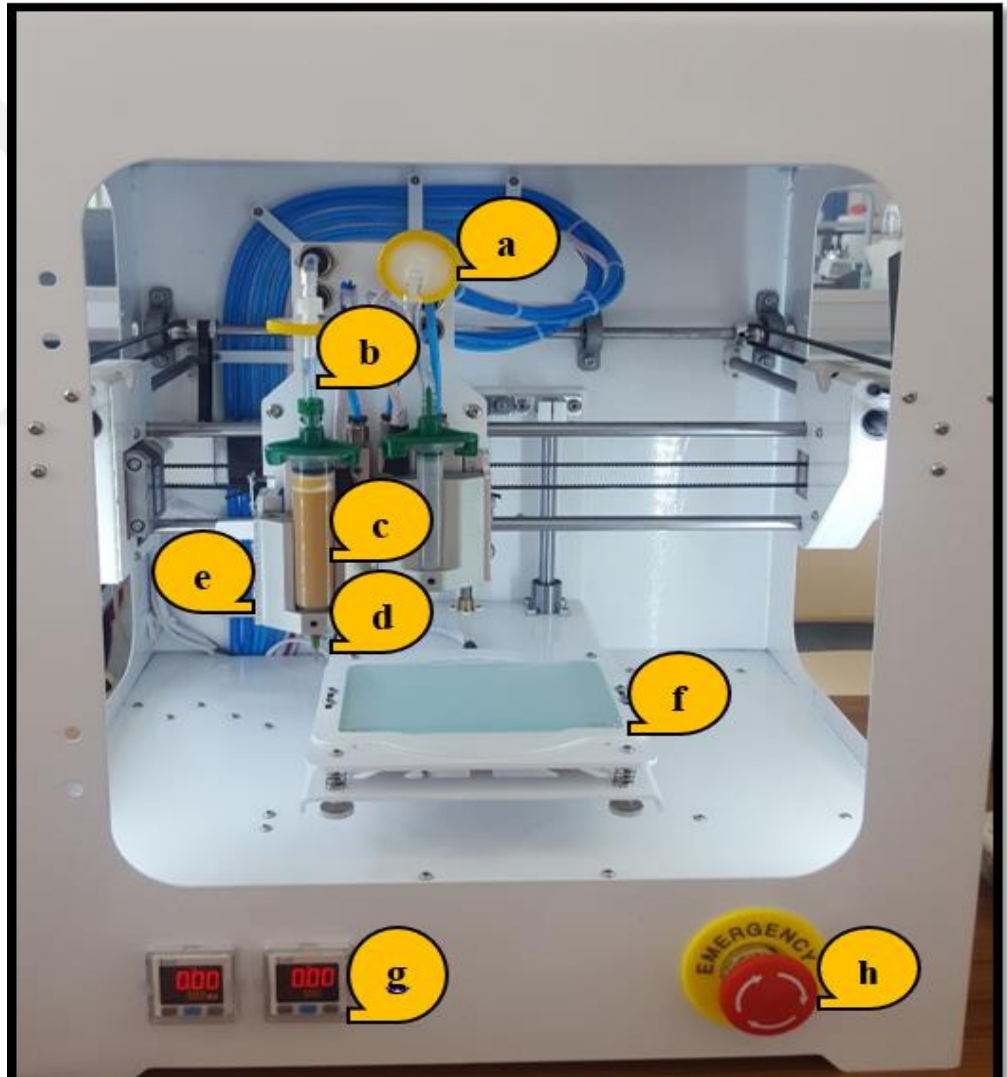
MALZEMELER	(%)
Tavuk But Eti	20
Tavuk Suyu	36.5
Haşlanmış Kereviz	3
Haşlanmış Havuç	5.5
Haşlanmış Soğan	7
Zerdeçal Tozu	0.1
Sarımsak Tozu	0.8
Tuz	0.5
Zeytinyağı	10
Tam Buğday Unu	15
Havuç Lifi	1
Kappa-karragenan	0.6
TOPLAM	100

3.2.2 Kullanılan 3B gıda yazıcısı

Gerçekleştirilen çalışmada ArtıBoyut firması tarafından üretilen “G1 Akıllı Gıda 3D Yazıcısı” kullanılmıştır. Bu yazıcı, yazıcıya bağlı kompresör tarafından üretilen basınçlı hava yardımıyla baskı işlemini gerçekleştirmektedir. Kullanılan yazıcı, ekstrüzyon temeline dayanarak baskı işlemini gerçekleştiren ergiterek yığma ile modelleme teknolojisiyle çalışmaktadır.

3.2.2.1 3B yazıcı kısımları

Kullanılan 3B gıda yazıcısı 2 adet ekstrüdere sahip olup bu çalışmada yalnızca bir tanesi kullanılmıştır. Bu yazıcı için kartuş haznesi 10 cc olup baskı için 1.25 mm çapına sahip paslanmaz çelik uçlu bir nozzle kullanılmıştır. Baskı esnasında pişirme işlemi gerçekleştirmek istenmediği için tabla sıcaklığı oda sıcaklığına (25 °C'ye) ayarlanmıştır. Çalışmada kullanılan 3B gıda yazıcısının kısımları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

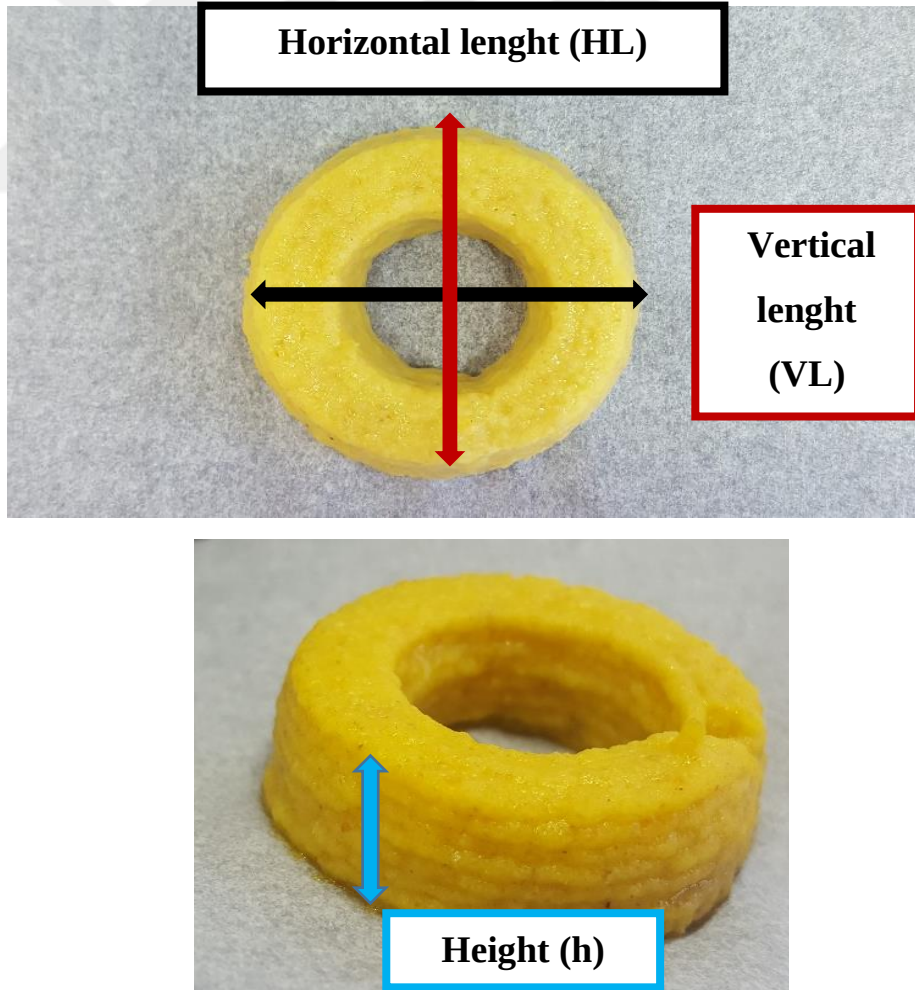


Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan 3B yazıcısı ve kısımları

a- HEPA ve aktif karbon filtre sistemi, b- Basınçlı hava akış sistemi, c- Şırınga (kartuş), d- Nozul (yazıcı başlığı), e- Isıtıcı ceket, f- Baskı tablası, g- Basınç ayarı düğmesi, h- Acil durum butonu

3.2.3 Yanıt Yüzey Yöntemi ile jelatin miktarı optimizasyonu

Gıda formülasyonlarının değiştirilmesi ürünün yazdırılabilirliğini ve dolayısı ile son ürünün kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle 3B baskı parametrelerinin optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve baskısı gerçekleştirilecek gıda maddelerinin veya tariflerinin dikkatlice araştırılması önem arz etmektedir (Liu vd. 2019). İlk olarak, tavuk, tavuk suyu, bazı sebzeler ve baharatlar, zeytinyağı, un, havuç lifi, kappa-karragenan ve farklı oranlarda jelatin içeren fonksiyonel tavuk eti formülasyonları hazırlanmış ve 3B yazıcı ile silindir şeklinde yazdırılmıştır. 3B baskı işleminin ardından yükseklik ve çap (yatay ve dikey uzunluk olacak şekilde) uzunlukları bir otomatik kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Yükseklik, yatay (YU) ve dikey uzunluk (DU) olarak belirtilen kısımlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir. 3B baskı işlemi için kararlı bir yapı gösterdiği için silindir şekli yazdırılması tercih edilmiştir.



Şekil 3.2 Optimizasyon işlemi için ölçülen 3B şekil parametreleri

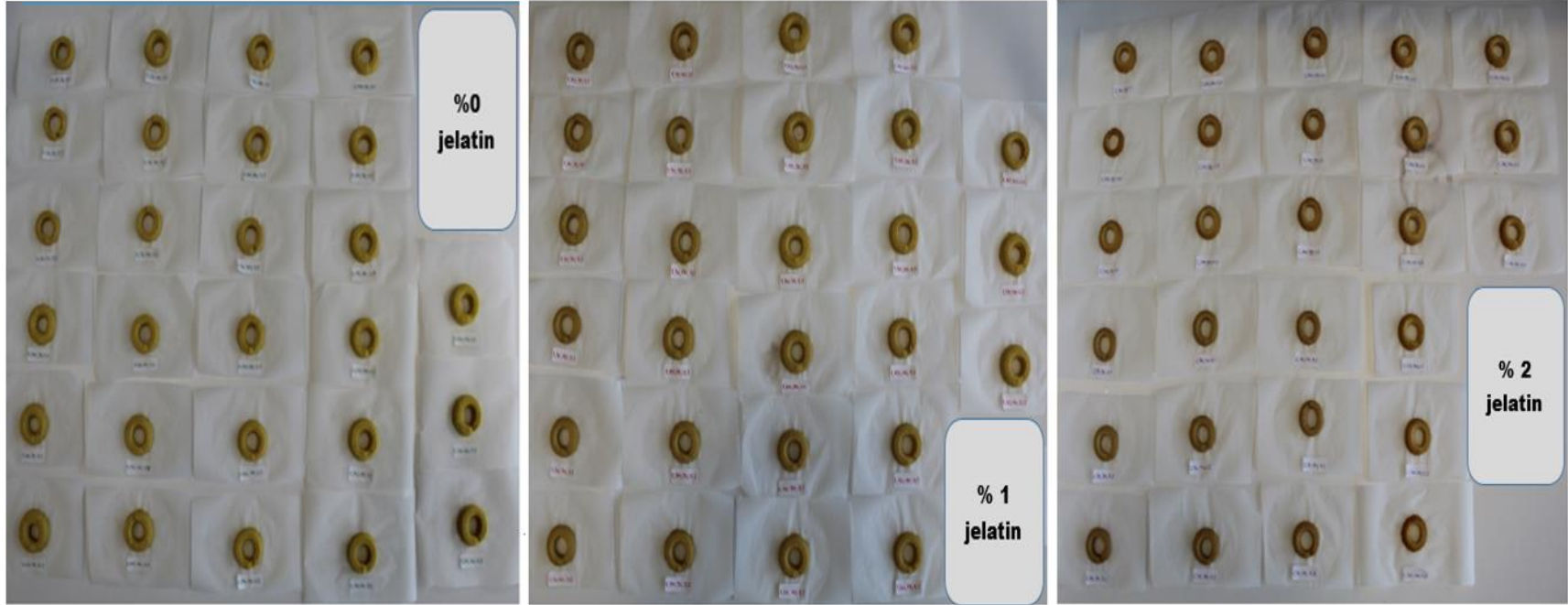
Elde edilen verilerle Minitab 17 (ABD) programında Yanıt Yüzey Yöntemi(RSM) kullanılarak jelatin oranı ve bazı baskı parametrelerine (akış hızı, besleme hızı, nozul yüksekliği) göre kısa sürede ve az sayıda örnekle sonuç elde edilebildiği için Box-Behnken tasarımı tercih edilmiştir. Box-Behnken deney tasarımı, 3 seviye, 4 değişken kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Dış etkenlerin etkisini azaltmak için, deney dizisi rastgele örnekler seçilerek hazırlanmıştır. Kumpas ölçüm değerleri programa girilerek gerçek değerler kodlanmış değerlere dönüştürülmüştür. Belirlenen deney tasarımı Çizelge 3.3’te gösterilmiştir. Programdan elde edilen sonuçların hedeflenen boyutlarla (çap=30 mm, yükseklik=10 mm) en iyi eşleştiği değer optimum kabul edilerek 3B yazdırılacak ürün formülasyonu için ideal jelatin konsantrasyonu belirlenmiştir. Optimizasyon için 3B yazdırılan %0, %1 ve %2 jelatin içeren gruplar Şekil 3.3’ de gösterilmiştir. Örnekler içerisinde rastgele 27 tanesini seçilerek optimizasyon işlemini gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2 Çalışmada incelenen parametreler ve değerleri

Tasarım Değişkenleri	Seviyeler		
Jelatin Konstantrasyonu (X1)	% 0	% 1	% 2
Akış Hızı (X2)	% 90	% 100	% 110
İşleme Hızı (X3)	% 90	% 100	% 110
Nozul Yüksekliği (X4)	0.1 mm	0.3 mm	0.5 mm

Çizelge 3.3 Deney tasarımı

Deney	Kodlanmış Bağımsız Değişkenler				Kodlanmamış Bağımsız Değişkenler				Bağımlı Değişkenler		
	X1	X2	X3	X4	Jelatin Konsantrasyonu (%)	Akış Hızı (%)	İşleme Hızı (%)	Nozul Yüksekliği (mm)	YU	DU	h
1	0	0	-1	1	1	100	90	0.5	32.36	32.66	10.88
2	1	0	0	-1	2	100	100	0.1	31.92	31.39	8.73
3	-1	0	1	0	0	100	110	0.3	32.86	34.19	8.22
4	0	1	-1	0	1	110	90	0.3	34.56	34.61	11.44
5	0	1	1	0	1	110	110	0.3	33.97	34.3	11.11
6	1	0	0	1	2	100	100	0.5	31.21	31.49	8.68
7	-1	1	0	0	0	110	100	0.3	34.13	34.39	9.77
8	1	0	-1	0	2	100	90	0.3	32.28	31.86	8.91
9	0	0	-1	-1	1	100	90	0.1	33.76	33.23	10.01
10	-1	0	0	-1	0	100	100	0.1	32.89	33.53	9.37
11	-1	-1	0	0	0	90	100	0.3	30.43	31.38	7.23
12	0	0	0	0	1	100	100	0.3	32.82	33.22	10.13
13	0	-1	0	1	1	90	100	0.5	32.24	32.29	10.5
14	0	0	0	0	1	100	100	0.3	32.82	33.22	10.13
15	-1	0	-1	0	0	100	90	0.3	34.24	34.45	10.25
16	1	1	0	0	2	110	100	0.3	31.07	31.27	8.81
17	0	0	0	0	1	100	100	0.3	32.82	33.22	10.13
18	-1	0	0	1	0	100	100	0.5	34.76	34.76	9.64
19	0	-1	1	0	1	90	110	0.3	31.3	32.19	9.58
20	0	1	0	-1	1	110	100	0.1	33.53	34.38	10.99
21	0	1	0	1	1	110	100	0.5	33.14	33.57	11.19
22	1	-1	0	0	2	90	100	0.3	29.29	28.8	7.62
23	0	-1	0	-1	1	90	100	0.1	32.14	31.51	9.19
24	0	0	1	1	1	100	110	0.5	32.01	32.34	10.73
25	0	-1	-1	0	1	90	90	0.3	32.99	32.57	9.54
26	1	0	1	0	2	100	110	0.3	32.23	32.67	9.15
27	0	0	1	-1	1	100	110	0.1	32.09	31.95	10.14



Şekil 3.3 Optimizasyon çalışması için yazdırılan örnekler

a) %0 jelatin içeren grup (b) %1 jelatin içeren grup (c) %2 jelatin içeren grup

İdeal jelatin konsantrasyonunun %1.79 olarak belirlenmesinin ardından ürünlerin pişirme öncesinde ve pişirme sonrasında analizler gerçekleştirilmiştir. Baskısı gerçekleştirilen nihai ürün formülasyonu Çizelge 3.4’ te verilmiştir. Çizelge 3.4’te belirtilen formülasyon bileşenleri bölüm 3.2.1’de belirtildiği gibi karıştırılarak hazırlanmıştır. Ancak son aşamada jelatin miktarı olarak %1.79 jelatin ilavesi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.4 İdeal jelatin konsantrasyonu ilave edilen formülasyonun bileşimi

Malzeme	(%)
Tavuk But Eti	20
Tavuk Suyu	36.5
Haşlanmış Kereviz	3
Haşlanmış Havuç	5.5
Haşlanmış Soğan	7
Zerdeçal Tozu	0.1
Sarımsak Tozu	0.8
Tuz	0.5
Zeytinyağı	10
Tam Buğday Unu	15
Havuç Lifi	1
Kappa-karragenan	0.6
TOPLAM	100

3.2.4 3B yazdırılan ürünlerin pişirilmesi

Gıdaların uygun sıcaklıklara kadar pişirilmesi gıda güvenliği açısından önemlidir. 45 °F – 140 °F (60 °C) arası tehlikeli bölge (danger zone) olarak adlandırılmaktadır ve 60 °C’nin altında iç sıcaklığa sahip gıdalar mikrobiyolojik açıdan potansiyel tehlike olarak görülmektedir (Amjadi ve Hussain 2005). Bu sebeple 3B yazıcı ile yazdırılan örnekler fırında iç sıcaklığı 72 °C olacak şekilde 170 °C’de 1 saat pişirilmiştir.

3.2.5 Analiz yöntemleri

3.2.5.1 Nem içeriği

Nem miktarı tayini yapılırken, analizde kullanılacak kuru madde kapları sıcaklığı daha önceden 105 °C'ye ayarlanmış etüvde en az 2 saat boyunca sabit ağırlığa gelene kadar tutulmuştur. Kuru madde kapları kapağı ile birlikte tartılarak -hassas terazide 0.0001 g hassasiyetle- darası alınmıştır. Kapların içerisine yaklaşık 5 g örnek tartılarak 105 °C'deki etüv içerisinde sabit ağırlığa gelene kadar kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kuru madde kaplarının ağırlıkları arasındaki farktan örnek içerisindeki % nem miktarı hesaplanmıştır (Anonymous 1990).

3.2.5.2 Yağ içeriği

Örneklerin toplam yağ miktarı Soxhelet düzeneği kullanılarak sıcak ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmiştir. Kuru madde tayininde kullanılan örnekler (3-5 g) Soxhelet düzeneği içerisine konulacak kartuş içerisine alınmıştır. Uygun bir çözügen yardımıyla (~ 250 ml petrol eteri) örnekte bulunan yağ ekstrakte edilmiş ve miktarı % olarak belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.5.3 Protein içeriği

Yaklaşık 1 g örnek tartılarak Kjeldahl toplam azot miktarı tayininde belirtildiği gibi önce yakma ünitesinde sonra destilasyon ünitesinde gerekli aşamalardan geçmiştir. Destilasyon işleminin ardından uygun bir asit çözeltisi ile titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir ve % azot miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen % azot miktarı 6.25 faktörü ile çarpılarak % ham protein miktarı belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.5.4 Kül içeriği

Kül miktarını belirlemek için kül krozeleri 105 °C sıcaklıktaki etüv içerisinde tutularak sabit ağırlığa getirilmiş kül krozeleri içerisine yaklaşık 3 gram örnek tartılarak kaplar kül fırını içerisine yerleştirilmiştir. Kül fırınının sıcaklığı 550 °C'ye kademeli olarak artırılarak krozeler içerisindeki örneklerin rengi gri-beyaz olana kadar yakma işlemine devam edilmiştir. Meydana gelen ağırlık farkından % kül miktarı hesaplanmıştır (Anonymous 1990).

3.2.5.5 pH değeri

10 g örnek alınıp üzerine 100 ml saf su ilave edilerek ultraturrax (Micra D-9, Almanya) yardımıyla 1 dk boyunca homojenize edilmiştir. Orion-A211 model pH metre, pH değeri 4.0 ve 7.0 olan tampon çözeltiler ile kalibre edilerek ardından örneklerin pH değeri belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.5.6 Enstrümental renk değeri

3B yazıcı ile yazdırılan örneklerin pişirme öncesi ve sonrası CIE* açıklık-koyuluk (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) değeri CR-400 Minolta Kromametre (CR-300, Japonya) ile belirlenmiştir. Ölçümler öncesinde cihaz $Y=92.7$, $x=0.3133$, $y=0.3193$ verilerini verecek şekilde beyaz renkli cihaz tablası kullanılarak kalibre edilmiştir. Her bir tekerrürdeki örnek için 6 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. L^* değeri siyah ile beyaz renkler arasında değeri almaktadır. $+a^*$ değeri kırmızı rengi, $-a^*$ değeri yeşil rengi, $+b^*$ değeri sarı rengi ve $-b$ değeri de mavi rengi temsil etmektedir.

3.2.5.7 Dinamik reolojik özellikler

Çalışmada kullanılan formülasyonun dinamik reolojik özelliklerinin belirlenmesinde Kinexus marka Dinamik Reometre (Malvern, UK) kullanılmıştır. Analiz 25 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olup 20 mm çaplı, 1 mm boşluklu paralel plaka başlık kullanılmıştır.

Ürün analiz edilirken 0.1-50 Hz frekans aralığı kullanılmış olup %0.15 kesme gerilimi (shear strain) uygulanmıştır. Örneklerin viskoelastik özellikleri (G' : depolama modülü ve G'' : kayıp modülü) frekans değişimine bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin dinamik kayıp tanjantı değeri ($\tan\delta = G''/G'$) de belirlenmiştir.

3.2.5.8 Duyusal analiz

Duyusal analiz bir grup gönüllü panelistle 3B et ürünleri üretimi sonunda, Gıda Mühendisliği Bölümü Duyusal Analiz Laboratuvarında kabinlerde gerçekleştirilmiştir. Rastgele 3 haneli sayılarla kodlanmış farklı gruplara ait örnekler, panelistlere rastgele sırayla sunulmuştur. Değerlendirme esnasında bir önceki örnekten ağızda kalan tadı gidermek amacıyla içme suyu ve sade kraker yenilmesi gerektiği bildirilmiştir. 3B yazıcıda yazdırılan ürünlerde tüketici testi yapılmıştır. Kontrol grubu (%0 jelatin) ve optimizasyon sonucu ideal jelatin konsantrasyonu olarak belirlenen %1.79 jelatin içeren gruplar panelistlere tattırılmıştır. Bu amaçla 15 kişinin örneklerin görünüş, renk, koku, lezzet, yapı (tekstür) ve genel beğeni özelliklerini 9'lu hedonik skala (9: çok beğendim, 1: hiç beğenmedim) kullanarak değerlendirmesi sağlanmıştır (Meilgard vd. 2006). Duyusal analizde kullanılmış olan form EK 1'de verilmiştir.

3.2.5.9 İstatistiksel analiz

İstatistik analizi için Minitab 19 (ABD) istatistik paket programı kullanılmıştır. Tüm analizler 3 tekerrürlü ve en az 2 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir. İncelenen özellikler açısından gruplar arasında bir fark olup olmadığı varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiştir. Gruplar arası farklılık düzeyi ($\alpha=0.05$) Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılarak belirlenmiştir. Normal dağılım göstermeyen gruplarda ise kıyaslama işlemi için Mann-Whitney parametrik olmayan test kullanılmıştır ($\alpha=0.05$).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Jelatin İçeriği Optimizasyonu

Minitab 17 (ABD) programına hedef olarak girilen silindir şekli çap (YU ve DU) uzunlukları 30 mm ve yüksekliği 10 mm olacak şekilde en iyi eşleştiği değer optimum değer olarak kabul edilmiştir. Optimizasyon işlemi deney sonuçları yatay çap uzunluğu (YU), dikey çap uzunluğu (DU) ve yükseklik (h) için deney sonuçları sırası ile Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 YU için elde edilen deney sonuçları DY

Varyasyon Kaynağı	SD	K.T	K.O	F	P
Model	14	33.4323	2.3880	3.1100	0.0390
X1	1	8.1295	8.1295	10.5700	0.0090
X2	1	12.0200	12.0200	15.6400	0.0030
X3	1	1.4794	1.4794	1.9200	0.1960
X4	1	0.0258	0.0258	0.0300	0.8580
X1*X1	1	1.7632	1.7632	2.2900	0.1610
X2*X2	1	0.5295	0.5295	0.6900	0.4260
X3*X3	1	0.3637	0.3637	0.4700	0.5070
X4*X4	1	0.0338	0.0338	0.0400	0.8380
X1*X2	1	0.9216	0.9216	1.2000	0.2990
X1*X3	1	0.8725	0.8725	1.1300	0.3120
X1*X4	1	1.0068	1.0068	1.3100	0.2790
X2*X3	1	0.3025	0.3025	0.3900	0.5450
X2*X4	1	0.0600	0.0600	0.0800	0.7860
X3*X4	1	0.4356	0.4356	0.5700	0.4690
Uyum Eksikliği	8	7.6879	0.9610		
Hata	2	0.0000	0.0000		
Genel	24	41.1202			

Düzeltilmiş R²: %81.30; R²: %55.13

Çizelge 4.2 DU için elde edilen deney sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.T	K.O	F	P
Model	14	38.2818	2.7344	3.5000	0.0260
X1	1	14.4375	14.4375	18.4900	0.0020
X2	1	15.8240	15.8240	20.2700	0.0010
X3	1	0.0472	1.4794	0.0600	0.8110
X4	1	0.1518	0.1518	0.1900	0.6690
X1*X1	1	1.9957	1.9957	2.5600	0.1410
X2*X2	1	0.7628	0.7628	0.9800	0.3460
X3*X3	1	0.2284	0.2284	0.2900	0.6000
X4*X4	1	0.2078	0.2078	0.2700	0.6170
X1*X2	1	0.0729	0.0729	0.0900	0.7660
X1*X3	1	0.5902	0.5902	0.7600	0.4050
X1*X4	1	0.0868	0.0868	0.1100	0.7460
X2*X3	1	0.0012	0.0012	0.0000	0.9690
X2*X4	1	0.6320	0.6320	0.8100	0.3890
X3*X4	1	0.2304	0.2304	0.3000	0.5990
Uyum Eksikliği	8	7.8063	0.9758		
Hata	2	0.0000	0.0000		
Genel	24	46.0881			

Düzeltilmiş R²: %83.06; R²: %59.35

Çizelge 4.3 h için elde edilen deney sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	K.T	K.O	F	P
Model	14	27.1433	1.9338	3.1100	0.0390
X1	1	1.2533	1.2533	10.5700	0.0090
X2	1	7.7602	7.7602	15.6400	0.0030
X3	1	0.0239	0.0239	1.9200	0.1960
X4	1	1.0732	1.0732	0.0300	0.8580
X1*X1	1	11.0377	11.0377	2.2900	0.1610
X2*X2	1	0.0000	0.0000	0.6900	0.4260
X3*X3	1	0.1638	0.1638	0.4700	0.5070
X4*X4	1	0.4000	0.4000	0.0400	0.8380
X1*X2	1	0.4556	0.4556	1.2000	0.2990
X1*X3	1	2.1505	2.1505	1.1300	0.3120
X1*X4	1	0.0310	0.0310	1.3100	0.2790
X2*X3	1	0.0342	0.0342	0.3900	0.5450
X2*X4	1	0.3080	0.3080	0.0800	0.7860
X3*X4	1	0.0196	0.0196	0.5700	0.4690
Uyum Eksikliği	8	1.0180	0.1273		
Hata	2	0.0000	0.0000		
Genel	24	28.1613			

Düzeltilmiş R²: %96.38; R²: %91.32

Ürün formülasyonu için programdan elde edilen ideal jelatin konsantrasyonu %1.79 olarak belirlenmiştir. Bu verinin elde edilmesini sağlayan yatay ve dikey çap uzunluğu, yükseklik değerleri sırası ile 30.3486 mm, 30.7467 ve 9.7536'dır. İdeal baskı parametreleri olarak %110 filament akış hızı (flow rate), %90 besleme hızı (feed rate) ve nozulun tabladan yükseklik değeri (nozzle height) olarak da 0.5 mm belirlenmiştir.

Bu baskı işlemi gerçekleştirilirken diğer yazıcı parametreleri şu şekildedir: nozul çapı 1.25 mm, kompresör tarafından uygulanan basınç 0.45 bar, 3B baskı hızı (printing speed) 100 mm/s, doldurma yoğunluğu (infill density) %100, şırınga sıcaklığı 25 °C, x-y-z

eksenlerinin hareket hızı 100 mm/min. Optimizasyon işleminin ardından 3B yazdırılan %1.79 jelatin içeren fonksiyonel tavuk eti ürünlerinin görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 3B yazıcıyla yazdırılmış %1.79 jelatin içeren pişmiş fonksiyonel ürünlerin karşıdan görünüşü

Günümüzde ürünün tekstür ve görünüşünü iyileştirmek, ürün bileşimini zenginleştirmek için gıdalara jelatin ilavesi çalışmaları devam etmektedir. Jelatin, unlu mamüllerde emülsifikasyon ve stabilizasyonun sağlanmasına yardımcı olurken et ürünlerinde ise su bağlama kapasitesini arttırmaya ve emülsiyonu dengelemeye yardımcı olmaktadır (Schrieber ve Gareis 2007). Bu sebeple geliştirilen fonksiyonel tavuk eti ürünü içerisine jelatin ilavesi yapılarak analizler üzerinde etkisi gözlemlenmiştir. 3B olarak yazdırılan jelatin içermeyen (kontrol grubu) ve %1.79 jelatin içeren fonksiyonel tavuk eti ürünlerinin kimyasal, fiziksel ve duyuşal özellikleri pişirme öncesinde ve sonrasında belirlenmiştir.

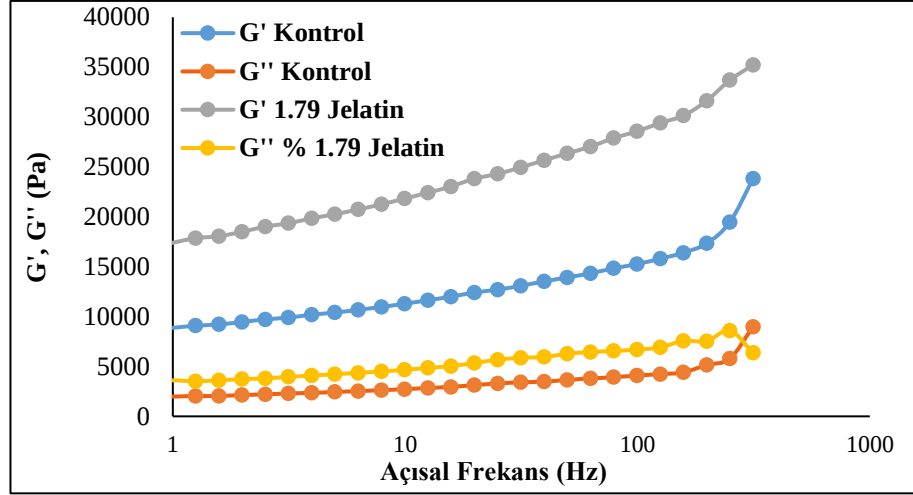
Optimum 3B yazıcı parametreleri kullanılarak silindir haricinde farklı şekillerde ürün baskı denemeleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen baskılar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 3B yazıcıyla yazdırılmış farklı şekillerdeki fonksiyonel tavuk eti ürünleri

4.2 Dinamik Reolojik Özellikler

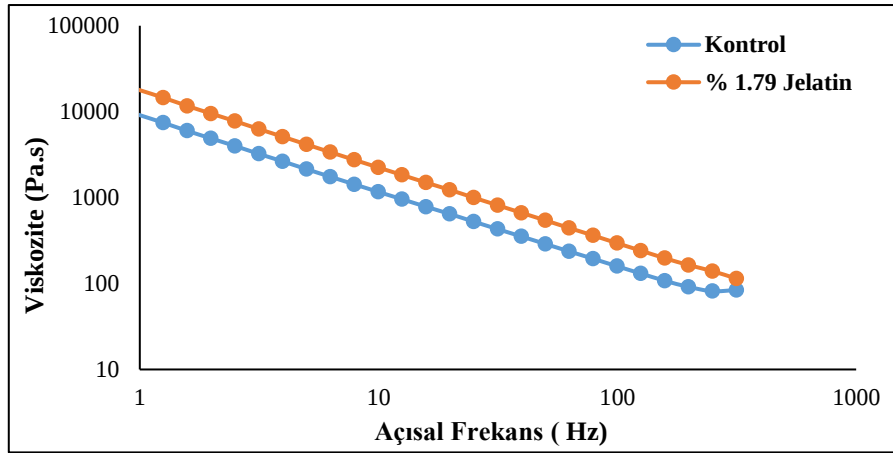
Bir örnek karışımı çok fazla jelleşme özelliği gösterirse 3B yazdırma işleminde şırıngadan ekstrüde edilemeyebilir. Bu yüzden 3B baskı işlemi için gıdanın fiziksel özelliklerini, reolojik özelliklerini belirlemek önemlidir. Ekstrüzyon işlemini etkileyen reolojik özelliklerin birinci kategorisinde G' depolama modülü (elastik gerilim/gerinim) bulunmaktadır. Bu modül gıdanın elastik benzeri davranışını ve malzemenin mekanik dayanımını ifade etmekte kullanılır. ve G'' ise gıdanın viskoz modülüdür (viskoz gerilim/gerinim) (Azam vd. 2018). Hazırlanan formülasyon için G' ve G'' modüllerinin açısal frekansla ilişkisi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının G' ve G'' değerleri

Lineer viskoelastik bölge, örneğin yapısının bozulmadan testinin yapılabildiği aralığı göstermektedir. Lineer viskoelastik bölgede G' modülü değerlerinin her iki grup için de G'' modülü değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. G' modülü değerinin G'' modülü değerinden yüksek olması gıdanın katı benzeri bir yapıya sahip olduğuna ve akış özelliğinin zayıf olduğuna işaret etmektedir. %1.79 jelatin ilavesinin G' ve G'' değerlerini arttırdığı söylenebilir. G' ve G'' değerleri arasındaki fark arttıkça gıda daha fazla katı benzeri özellik göstermektedir.

Açısal frekansa bağlı olarak değişen viskozite değeri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. %1.79 jelatin içeren örnekler ve jelatin içermeyen kontrol grubu viskozite değerleri bakımından kıyaslandığında jelatin içeren örneklerin viskozitelerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının açısal frekans değerine karşı viskozite değişimi

Dinamik kayıp tanjantı değeri ($\tan\delta = G''/G'$) tüm örnekler için 1' den düşük bulunmuştur. Bu da örneklerin viskoz davranıştan ziyade daha elastik davranış sergilediklerini göstermektedir. Ortalama dinamik kayıp tanjantı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

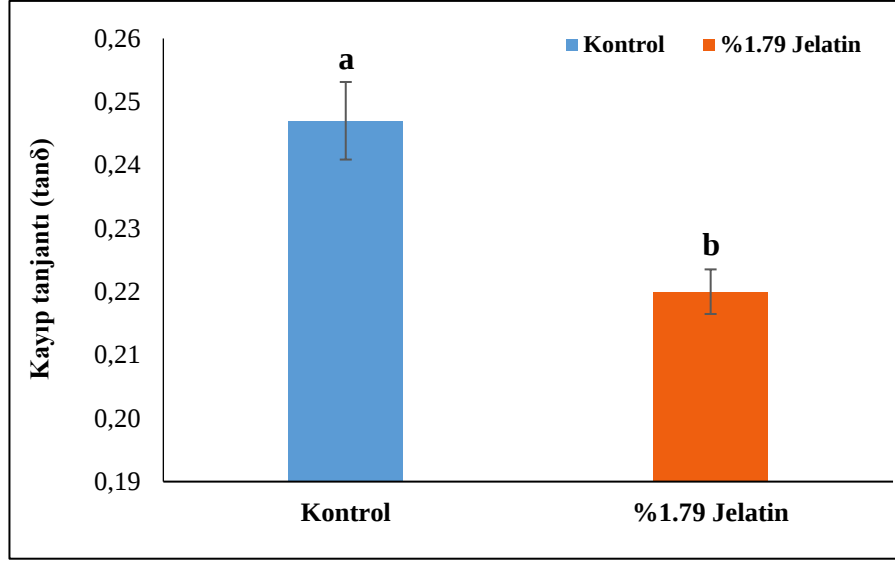
Düşük $\tan\delta$ değerine sahip gıdalar, zayıf akış özelliği gösteren katı gıdalar gibi davranmaktadır (Azam vd. 2018). Kontrol grubu için $\tan\delta$ değerleri, %1.79 jelatin içeren gruba göre daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$) (Şekil 4.5). Yani jelatin içermeyen grup daha fazla akışkan özellik göstermektedir.

Çizelge 4.4 3B baskı için hazırlanan fonksiyonel tavuk eti formülasyonlarının ortalama $\tan\delta$ değerleri

Grup	Kayıp tanjantı ($\tan\delta$)
Kontrol	0.25 ± 0.01^a
%1.79 jelatinli	0.22 ± 0.00^b

Ortalama $\pm$ Standart Hata

a,b↓: Aynı sütundaki gruplarda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p < 0.05$)



Şekil 4.5 Kontrol grubu ve jelatin içeren gruplar için ortalama kayıp tanjantı değerleri

Chen vd. (2019) 3B baskı işlemi yapmak için gerçekleştirdikleri bir formülasyon geliştirme çalışmasında, soya proteini izolatu içerisinde sodyum aljinat, jelatin ve bunların kombinleri olacak şekilde formülasyonlar geliştirmişlerdir. Bu formülasyonların 25 °C'deki viskozitelerini kıyasladıklarında jelatin içeren grupların viskozitesinin jelatin içermeyen gruplara göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Yapılan bir çalışmada, 10 °C'deki jelatin ilaveli ve ilavesiz yoğurt örnekleri karşılaştırıldığında, jelatin içeren yoğurt örneklerinin daha düşük tanδ değerine sahip olduğu ve daha fazla katı benzeri davranış gösterdikleri bildirilmiştir (Fizman vd. 1999).

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, %2 jelatin içeren soya proteini izolatının (sodyum aljinat+jelatin) G' değeri; soya proteini, sodyum aljinat, soya proteini+jelatin, %6 jelatin+soya proteini+aljinat ve %10 jelatin+soya proteini+aljinat içeren gruplar ile kıyaslandığında daha yüksek bulunmuştur. Bu örneklerin G' değerinin yüksek olması örneklerin jel benzeri yapı gösterdiklerini ve mekanik dayanımının daha yüksek olduğunu belirtmektedir (Yang vd. 2018a).

Jelatin 35-40 °C'nin altında yarı katı, jel benzeri formda bulunmaktadır (Erge ve Zorba 2016). Yani jelatin peptit bağları birleşerek daha büyük 3B yapı oluşturmuş olabilir.

Ayrıca 25 °C gibi sıcaklıklarda yarı akışkan jel formu, yarı elastik jel formuna dönüşmüş olabilir (Boady Djagny vd. 2001). Bu sebeple %1.79 jelatin içeren grubun viskozitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3 Nem İçeriği

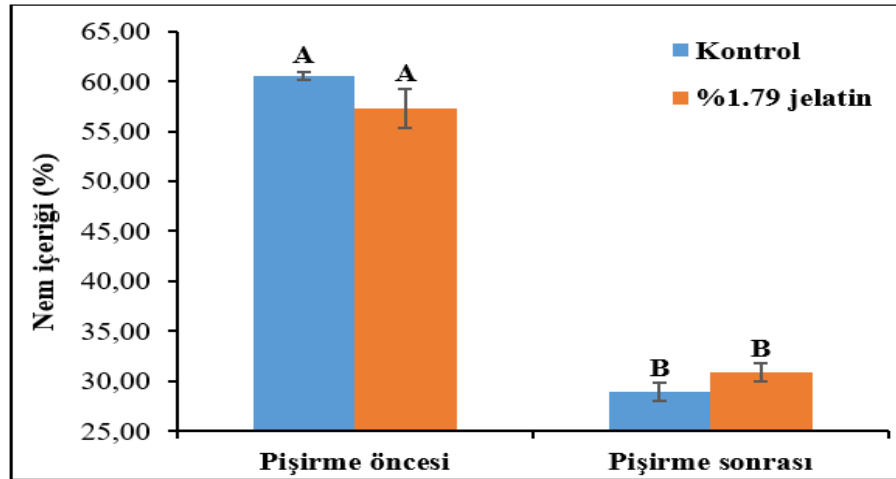
Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün % nem içeriği üzerine etkisi Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. %1.79 jelatin ilavesinin ürünlerin pişirme öncesinde ve sonrasında nem değerleri (%) üzerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılığa yol açmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Pişirme öncesinde elde edilen nem değerleri kontrol grubu ve %1.79 jelatin içeren grup için sırasıyla %60.55 ve %57.32'dir. Pişirme sonrasında ise bu değerler önemli ölçüde azalmış ($p<0.05$) ve nem değerleri sırasıyla %28.97 ve %30.94 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.5 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün nem içeriği üzerine etkisi (%)

Grup	Pişirme öncesi	Pişirme sonrası
Kontrol	60.55±0.40 ^A	28.97±0.91 ^B
%1.79 jelatinli	57.32±1.96 ^A	30.94±0.91 ^B

Ortalama±Standart Hata

A,B ➡ : Aynı satırdaki gruplarda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p<0.05$)



Şekil 4.6 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün nem içeriği üzerine etkisi (%)

A,B: Aynı grupta farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p < 0.05$)

Tavuk kıyması içerisine %0, %3 ve %6 oranında jelatin ilavesinin etkisini belirlendiği bir çalışmada pişme sonrasında her bir grup için nem içeriği sırası ile %65.6, %67.5, %68.8 bulunmuştur. Jelatin miktarı arttıkça ürünlerin nem miktarında artış görülmüş, ancak bu artış istatistik açısından önemli bulunmamıştır (Froning 1966). Sığır bonfileleri üzerinde uygulanan farklı pişirme yöntemlerinin (haşlama, kızartma, fırın, mangal) ürün kalitesi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada; çiğ etlerdeki nem miktarı %75.27 bulunurken, pişirme sonrasında bu değerde önemli derecede azalma gözlenmiştir ($p < 0.05$). Nem değeri her bir pişirme yöntemi için yaklaşık %60 olarak tespit edilmiştir (Aşçıoğlu 2013). Juárez vd. (2010), Bufalo eti ile gerçekleştirdikleri bir çalışmada, farklı pişirme metotlarının (haşlama, ızgara ve kızartma) pişirme sonrası ürün nem içeriğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir ($p < 0.05$).

İncelenen literatür sonuçları gerçekleştirilen çalışmayı destekler nitelikte bulunmuştur. Pişirme sonrasında % nem miktarının azalması pişirme esnasında gıdada bulunan suyun yapıdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

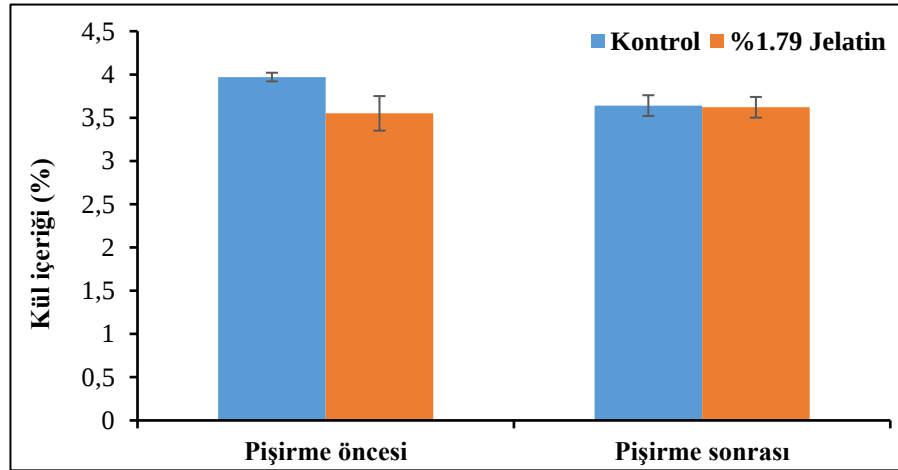
4.4 Kül İçeriği

Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün kül içeriği (kuru maddede % olarak) üzerine etkisi Çizelge 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Kuru maddede hesaplanan kül içerikleri kontrol ve %1.79 jelatinli gruplarda pişirme öncesinde sırasıyla %3.97 ve %3.55, pişirme sonrasında ise sırasıyla %3.64 ve %3.62 olarak saptanmıştır. Gerek jelatin ilavesinin ve gerekse pişirme işleminin örneklerin kül içeriklerinde istatistiksel açıdan önemli bir etki göstermediği saptanmıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.6 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün kül içeriği üzerine etkisi (%*)

Grup	Piştirme öncesi	Piştirme sonrası
Kontrol	3.97±0.05	3.64±0.12
%1.79 jelatinli	3.55±0.20	3.62±0.12

*Ortalama±Standart Hata. Kuru madde üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün kül içeriği üzerine etkisi (%)

Farklı yöntemlerle pişirilmiş sığır bonfilelerinin pişirme öncesi kül değeri %1.11 bulunurken, kızartma işlemi sonrasında 1.61, mangal ile pişirme sonrasında ise 1.66 bulunmuştur. Pişirme sonrası kül değerindeki artış istatistiki olarak önemli bulunmuştur

(Aşçıoğlu 2013). Benzer şekilde, Bufo eti ile yapılan bir çalışmada etlerin pişirme öncesi kül değeri %1.13; pişirme sonrası kül değeri mangalda pişirme sonrasında %1.97, haşlamadan sonra %1.32, kızartma sonrasında ise %2.27 olarak tespit edilmiştir. Pişirme işlemleri sonrası kül miktarlarındaki bu artış istatistik açısından önemli bulunmuştur (Juárez vd. 2010).

Kim vd. (2012) gerçekleştirmiş oldukları bir çalışmada, yarı kurutulmuş tavuk etlerine jelatin ilavesinin ürün kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tavuk etlerine sırasıyla %0, %1 ve %2 oranında jelatin ilavesi gerçekleştirilmiştir. İlave edilen jelatin miktarı arttıkça, kül değerinde önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$).

4.5 Yağ İçeriği

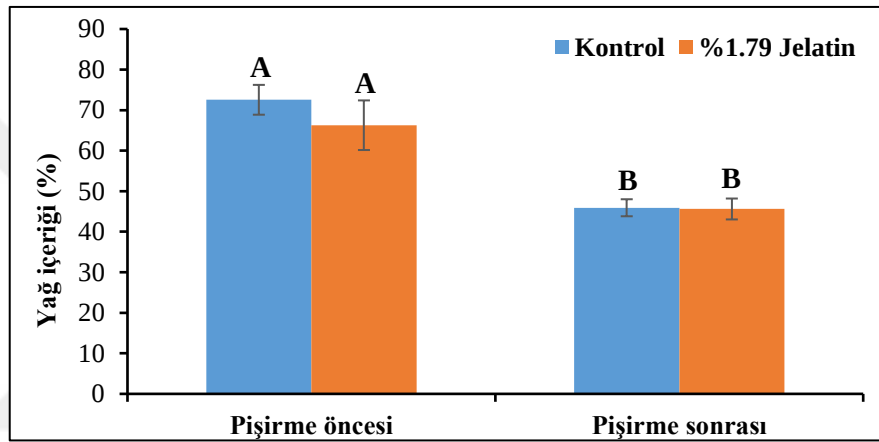
Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği (kuru maddede % olarak) üzerine etkisi Çizelge 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği üzerine etkisi incelendiğinde, pişirme öncesinde ve sonrasında gruplar arasındaki yağ miktarındaki değişimin istatistik açıdan önemli olduğu, pişirme işlemiyle örneklerin yağ içeriğinin azaldığı saptanmıştır ($p<0.05$). Pişirmeden önce kontrol ve %1.79 jelatin içeren grupta kuru madde üzerinden hesaplanan yağ içeriği sırasıyla %72.54 ve % 66.27 olarak belirlenmiş, pişirmeden sonra ise yağ içeriği her iki grupta da önemli ölçüde azalarak sırasıyla % 45.91 ve % 45.61’e ulaşmıştır. Pişirme işlemi sonrası yağ içeriklerinde gözlenen bu azalış, pişirme sırasında sıcaklığın etkisiyle ürün bileşiminde bulunan yağın ürün yapısından ayrılması ile açıklanabilir. Ürün formülasyonuna %1.79 jelatin ilavesinin ise beklendiği gibi pişirme öncesinde ve sonrasında yağ içeriği üzerine önemli bir etki yapmadığı gözlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.7 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği üzerine etkisi (%*)

Grup	Piştirme öncesi	Piştirme sonrası
Kontrol	72.54±3.68 ^A	45.91±2.10 ^B
%1.79 jelatinli	66.27±6.12 ^A	45.61±2.58 ^B

*Ortalama±Standart Hata. Kuru madde üzerinden hesaplanmıştır.

A,B → : Aynı satırdaki gruplarda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.8 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün yağ içeriği üzerine etkisi (%)

A,B: Aynı grupta farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Söylemez (2013) gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada, anaç tavuk etinden yapılan köfteler içerisine ilave etmiş olduğu %0.5 düzeyindeki jelatin konsantrasyonunun köftelerin % yağ içeriğinde artışa neden olduğunu bildirmiştir (p<0.05).

Farklı yöntemlerle pişirilmiş sığır bonfilelerinin piştirme öncesi yağ içeriği %2.7 bulunurken, kızartma sonrasında %7.7, haşlama sonrasında %6.5, fırın ile piştirme sonrasında %7.5, mangal ile piştirme sonrasında ise %6.6 bulunmuştur. Piştirme sonrası yağ değerindeki artış istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Aşçıoğlu 2013).

Babji vd. (2017), tavuk sosisine tavuk ayağından elde edilen jelatin, balıktan elde edilen jelatin ve deniz yosunu (*Kappaphycus alvarezii*) ilavesi yaparak ürün kalitesi üzerine

etkilerini incelemişlerdir. Jelatin ilave edilen örneklerin yağ içeriğinin jelatin ilave edilmeyen gruplara göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir ($p<0.05$).

Bu çalışmada fonksiyonel atıştırıcılık olarak tüketicilere sunulması hedeflen ve 3B baskı işlemi için geliştirilen tavuk eti formülasyonu yeni bir ürün olup literatürde tam anlamıyla karşılaştırılabilecek bir ürün bulunmamaktadır. Bu yüzden 3B baskı çalışması için geliştirilen fonksiyonel tavuk eti formülasyonuna ait pişirme öncesi ve sonrası gruplar için yağ içeriklerinin literatürde et ve ürünleri için belirtilen verilerle karşılaştırması yapılamamıştır.

4.6 Protein İçeriği

Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriği (kuru maddede % olarak) üzerine etkisi Çizelge 4.8 ve Şekil 4.9'da belirtilmiştir. %1.79 jelatin ilavesinin ve pişirme işleminin 3B yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriğini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür ($p<0.05$). Pişirme sonrasında elde edilen kuru madde cinsinden protein içerikleri kontrol grubu ve %1.79 jelatin içeren grup için sırasıyla %19.41 ve %26.05 olarak saptanmıştır. Pişirme öncesinde kontrol grubu ve %1.79 jelatin içeren grubun kuru madde üzerinden protein içerikleri ise sırasıyla %10.55 ve %17.21'dir. Görüldüğü gibi %1.79 jelatin ilavesi kontrol grubuna göre gerek pişirmeden önce ve gerekse pişirmeden sonra protein içeriğinde önemli ölçüde artışa neden olmuştur ($p<0.05$). Jelatin yaklaşık %90 protein içermektedir (Schrieber ve Gareis 2007). Dolayısıyla, 3B yazıcıyla yazdırılan ürün formülasyonu içerisine jelatin ilave edilmesi ile protein miktarının artması bu çalışma için beklenen bir sonuçtur. Pişirme sırasında gıda bileşiminde bulunan suyun uzaklaşmasıyla nem içeriğinde azalma meydana gelmesine bağlı olarak, pişirmeden sonra ürün bileşiminde bulunan protein miktarlarında artış gözlemlendiği söylenebilir.

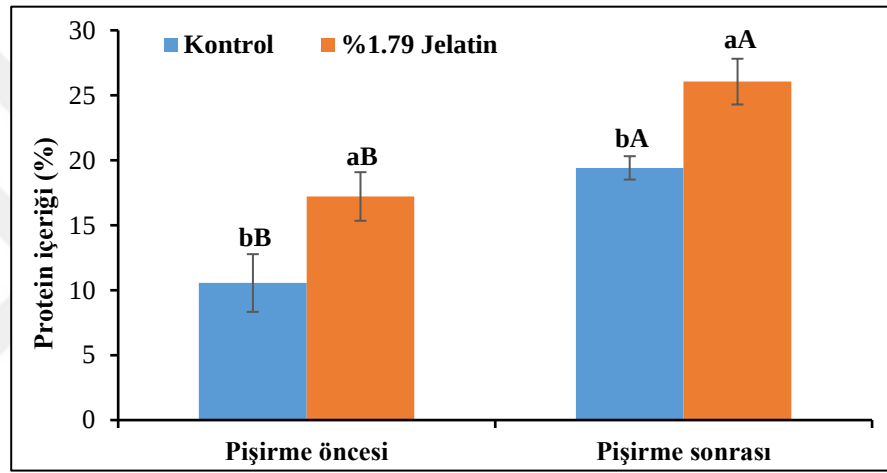
Çizelge 4.8 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriği üzerine etkisi (%*)

Grup	Piştirme öncesi	Piştirme sonrası
Kontrol	10.55±2.22 ^{bB}	19.41±0.90 ^{bA}
%1.79 jelatinli	17.21±1.87 ^{aB}	26.05±1.76 ^{aA}

*Ortalama±Standart Hata. Kuru madde üzerinden hesaplanmıştır.

A,B → Aynı satırdaki gruplarda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik açıdan önemlidir (p<0.05)

a,b ↓ Aynı sütundaki gruplarda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistik açıdan önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.9 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün protein içeriği üzerine etkisi (%)

A,B: Aynı grupta farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

a,b: Piştirme öncesi ya da sonrasında farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik açıdan önemlidir (p<0.05)

Babji vd. (2017), tavuk sosisine farklı kaynaklardan elde edilen jelatin ilavesi gerçekleştirmişlerdir. Jelatin ilave edilen örneklerin protein içeriğinin, jelatin ilave edilmeyen gruplara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (p<0.05).

Söylemez (2013)'in tavuk köftesi kalitesini iyileştirmek üzere yürüttüğü bir çalışmada, ürün kalite özellikleri üzerinde jelatin ilavesinin etkisini gözlemlemek için ürün formülasyonuna %0.0, %0.5 ve %1.0 jelatin ilavesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, içeriğinde jelatin bulunan pişmiş tavuk köftelerinin protein miktarının, piştirme öncesi

protein miktarına kıyasla önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$) ve bu çalışmada % 0.5 jelatin kullanımı tavsiye edilmiştir.

Jridi vd. (2015) jelatin ilaveli hindi sosisi ile gerçekleştirdikleri bir çalışmada pişirme öncesi ve sonrası protein miktarları arasında önemli bir fark belirlenmiştir. Pişirme sonrası ürünlerin protein değerinde artış gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca %0.75-%1.50 oranında jelatin içeren pişmemiş sosislerin protein içerikleri arasında önemli bir fark gözlemlenmezken ($p>0.05$), %0 jelatin içeren grup ile aralarındaki fark önemlidir ($p<0.05$).

4.7 pH Değeri

Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün pH değeri üzerine etkisi Çizelge 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Kontrol ve %1.79 jelatin ilave edilmiş ürünlerin pişirme öncesindeki pH değerleri sırasıyla 6.22 ve 6.25 olarak belirlenmiştir. Pişirme öncesinde grupların pH değerinde istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte, pişirme işleminin gerek kontrol grubunun ve gerekse %1.79 jelatin ilave edilmiş grubun pH değerinde önemli ölçüde azalışa neden olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Jelatin ilave edilerek 3B baskısı gerçekleştirilen ürünlerin pişirme sonrasındaki pH değeri (5.86) de kontrol grubunun pişirme sonrasındaki pH değerinden (5.74) daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Froning (1966) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tavuk kıyması içerisine farklı bağlayıcı gruplar (jelatin, polifosfat, glutenli un, kurutulmuş süt tozu) ilave ederek pişme sonrası ürün kalite özelliklerini belirlemiştir. Pişirme sonrasında %0, %3 ve %6 jelatin içeren gruplar için pH değeri 6.20 bulunmuştur. Jelatin içeren ve içermeyen gruplar arasında istatistik açısından önemli bir fark belirlenmemiştir.

Benzer şekilde, alabalık eti ile yapılan bir çalışmada (Berik vd. 2011) balık kroket hamuru için pişirme öncesi ve sonrası pH ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler sırası

ile 6.74 ve 6.72'dir. Bu çalışmada da pH değerinin pişirme sonrasında düşüş gösterdiği, ancak, bu düşüşün istatistik açısından önemli olmadığı gözlenmiştir.

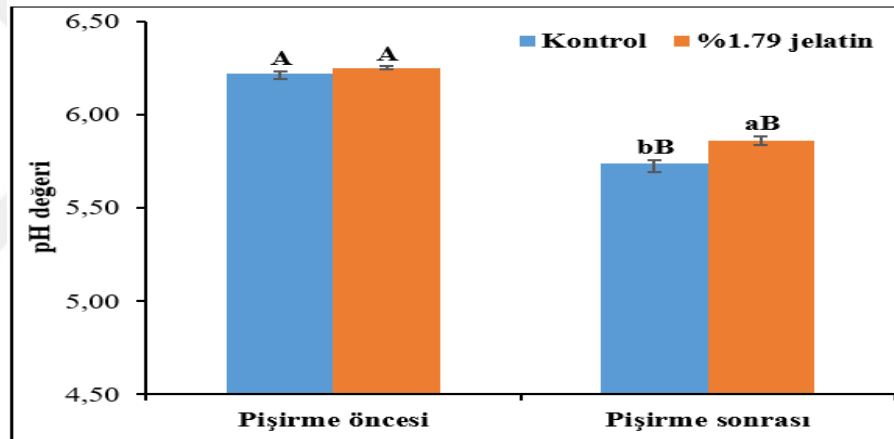
Çizelge 4.9 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün pH değeri üzerine etkisi

Grup	Piştirme öncesi	Piştirme sonrası
Kontrol	6.22±0.01 ^A	5.74±0.00 ^{bB}
%1.79 jelatinli	6.25±0.01 ^A	5.86±0.02 ^{aB}

Ortalama±Standart Hata

A,B → : Aynı satırdaki gruplarda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir (p<0.05)

a,b ↓ : Aynı sütundaki gruplarda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistik açısından önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.10 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün pH değeri üzerine etkisi

A,B: Aynı grupta farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

a,b: Piştirme öncesi ya da sonrasında farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir (p<0.05)

Bu çalışmadan elde edilen bulguların aksine, jelatin ilaveli hindi sosisi ile gerçekleştirmiş başka bir çalışmada piştirme öncesi ve sonrası ürün pH değerleri arasında önemli bir fark gözlenmediği bildirilmiştir (Jridi vd. 2015). Bir diğer çalışmada ise (Kim vd. 2006), jelatin ve buğday lifi ilave edilmiş yarı kurutulmuş tavuk eti içerisine ilave edilen jelatin konsantrasyonu %0'dan %2'ye yükseldiğinde pH değeri 6.09'dan 5.99'a düşüş göstermiştir (p<0.05).

3B baskı çalışması için geliştirilen fonksiyonel tavuk eti formülasyonuna ait pişirme öncesi ve sonrası tüm gruplar için pH değerleri literatürde belirtilen değerlerle uyum içerisinde değildir. pH değerindeki bu düşüşün formülasyon içerisindeki diğer ingredientlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.8 Enstrümental Renk Değerleri

Kontrol grubu ve %1.79 jelatin ilaveli grup için pişirme öncesinde ve pişirme sonrasında ölçülen renk değerleri Çizelge 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Kontrol grubunun b* değeri hariç, pişirme işleminin ürünlerin renk değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki sağladığı söylenebilir ($p<0.05$).

Çizelge 4.10 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün L*, a*, b* değerleri üzerine etkisi

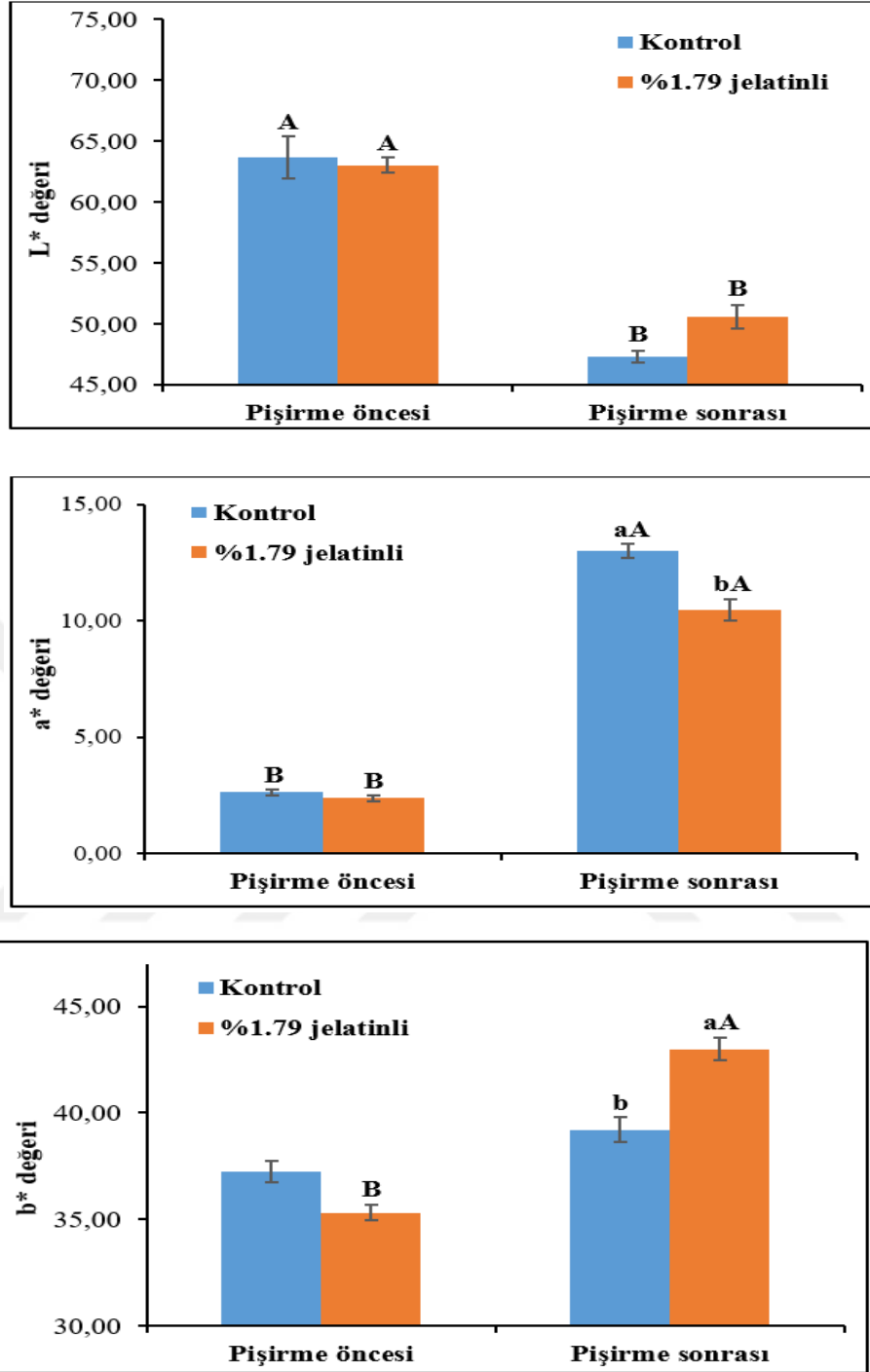
Grup	L* değeri		a* değeri		b* değeri	
	Pişme Öncesi	Pişme Sonrası	Pişme Öncesi	Pişme Sonrası	Pişme Öncesi	Pişme Sonrası
Kontrol	63.17±1.73 ^A	47.30±0.46 ^B	2.62±0.11 ^B	12.99±0.29 ^{aA}	37.24±0.50	39.22±0.58 ^b
%1.79 jelatinli	63.02±0.63 ^A	50.60±0.97 ^B	2.37±0.11 ^B	10.44±0.46 ^{bA}	35.32±0.36 ^B	42.99±0.52 ^{aA}

Ortalama±Standart Hata

A, B ➡: Aynı satırdaki gruplarda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p<0.05$)

a, b ↓: Aynı sütundaki gruplarda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p<0.05$)

L* değeri üzerinde %1.79 jelatin ilavesinin önemli bir fark oluşturduğu söylenemez ($p>0.05$). L* değeri pişirme öncesinde kontrol ve %1.79 jelatin içeren gruplar için sırasıyla 61.17 ve 63.02 bulunurken pişirme sonrasında bu değerler 47.30 ve 50.60 olarak tespit edilmiştir. Pişirme öncesi ve sonrası gruplarda L* değeri için önemli bir azalış olduğu görülmektedir ($p<0.05$).



Şekil 4.11 Jelatin ilavesinin ve pişirmenin 3B yazıcı ile yazdırılan fonksiyonel tavuk eti ürününün L*, a*, b* değerleri üzerine etkisi

A,B: Aynı grupta farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p < 0.05$)

a,b: Piştirme öncesi ya da sonrasında farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p < 0.05$)

Pişirme sonrasında a* değeri; kontrol grubunda 12.99, %1.79 jelatin içeren grupta ise 10.44 olarak bulunmuştur. a* değerinin %1.79 jelatin içeren grupta önemli ölçüde düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Pişirme öncesinde ise %1.79 jelatin ilavesinin a* renk değeri üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Pişirme ncesi ve sonrası kontrol grubu ile %1.79 jelatin içeren grup kıyaslandığında pişirme işlemi sonrasında a* değerinde önemli bir artış grlmştr ($p<0.05$).

b* değeri pişirme öncesi %1.79 içeren grupta 35.32, pişirme sonrası grupta ise 42.99 olarak bulunmuştur. Pişirme ncesi ve sonrası %1.79 jelatin içeren gruplar arasındaki bu fark istatistik açısından önemlidir ($p<0.05$). Fakat kontrol grubu için pişirme işleminin bu iki grup arasında önemli bir fark meydana getirmediği belirlenmiştir ($p>0.05$). Aynı şekilde %1.79 jelatin ilavesi, pişirme öncesi gruplar arasında önemli bir fark oluşturmamıştır ($p>0.05$). Ancak pişirme sonrasında %1.79 jelatin ilaveli gruptan elde edilen 42.99 değeri, kontrol grubundan elde edilen 39.22 değerinden yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Gerçekleştirilen bir çalışmada hindi sosisi içerisine sırasıyla %0, %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.5 jelatin ilave edilmiş ve ürün kalitesi üzerine jelatin ilavesi etkisi incelenmiştir. Pişmiş sosisler jelatin konsantrasyonu arttı L* değerinde artış olduğu, a* değerinde azalma meydana geldiği ve bu farklılıkların istatistik açısından önemli olduğu; b* değerinde istatistik açısından bir fark gözlenmediği bildirilmiştir (Jridi vd. 2015).

Söylemez (2013) gerçekleştirdiği bir çalışmada; farklı oranlarda galeta unu, yumurta tozu ve jelatin ilave ederek geliştirdiği ve fırında pişirdiği tavuk köftelerinin kalite özelliklerini belirlemiştir. Tavuk kftelerininin dış yüzeyinin L*, a* ve b* değer aralıkları sırası ile şöyledir: 34.30-44.50, 5.60-11.91, 16.15-17.78. Farklı oranlarda jelatin ilavesinin renk değerleri üzerinde önemli düzeyde bir farklılık oluşturmadığı belirtilmiştir ($p>0.05$). Ancak galeta unu ilavesi ile L* değerindeki azalmanın önemli olduğu ($p<0.05$), a* renk değerinde önemli bir artış meydana getirdiği ($p<0.05$) belirtilmiştir. Kftelere farklı

oranlarda katılan bileşenlerin b^* değeri üzerinde önemli bir fark oluşturmadığı da çalışmanın diğer bir sonucudur ($p>0.05$).

3B baskı işlemi için geliştirilen tavuk eti formülasyonu fonksiyonel, yeni bir ürün olup literatürde geliştirilen ürünü kıyaslanabilecek benzer içeriğe sahip bir ürün bulunmamaktadır. Bu nedenle elde edilen verilerle literatürdeki veriler her bir renk değeri için benzerlik göstermeyebilir. 3B yazdırılan fonksiyonel tavuk eti formülasyonunda bulunan yağ ve proteinin etkisiyle, pişirme işlemi esnasında meydana gelen Maillard reaksiyonunun ürün renginde koyulaşmaya (L^* değerinde düşüş) ve a^* değerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir.

4.9 Duyusal Analiz

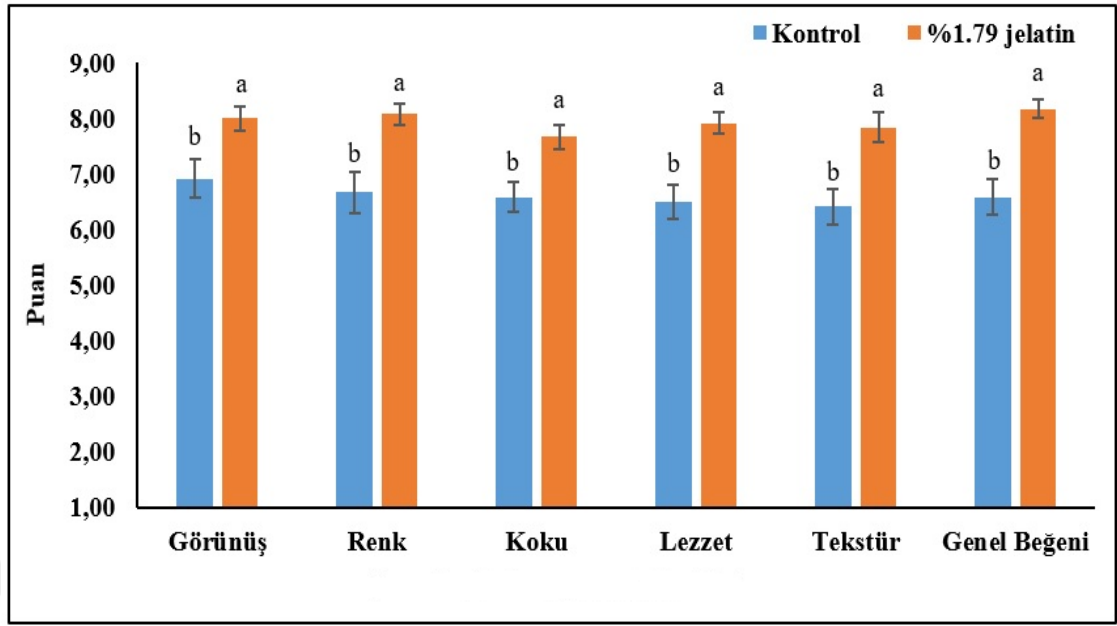
Kontrol grubu ve %1.79 jelatin ilaveli grup için gerçekleştirilen duyusal değerlendirme sonuçları Çizelge 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Fonksiyonel tavuk eti ürünlerinin 3B yazdırılmasının ardından, ürünler pişirilerek duyusal analiz gerçekleştirilmiştir. 15 kişilik eğitimli panelist grup, kontrol grubu ve %1.79 jelatin içeren ürün gruplarını tadarak ürünün görünüş, renk, koku, lezzet, tekstür özelliklerini ve genel beğeni durumunu değerlendirmiştir. Her bir duyusal özellik için 1’den 9’ a kadar puanlamada, “9: çok beğendim”, “1: hiç beğenmedim” olacak şekilde panelistler tarafından değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11 3B yazıcı ile üretilen fonksiyonel tavuk eti ürününe ilişkin duyusal analiz sonuçları

Grup	Görünüş	Renk	Koku	Lezzet	Tekstür	Genel Beğeni
Kontrol	6.92±0.34 ^b	6.67±0.38 ^b	6.58±0.28 ^b	6.50±0.30 ^b	6.42±0.32 ^b	6.58±0.32 ^b
%1.79 jelatinli	8.00±0.21 ^a	8.08±0.19 ^a	7.67±0.22 ^a	7.92±0.19 ^a	7.83±0.27 ^a	8.17±0.17 ^a

Ortalama±Standart Hata

a,b↓: Aynı sütundaki gruplarda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistik açısından önemlidir ($p<0.05$)



Şekil 4.12 3B yazıcı ile yazdırılan ürünlerin duyuşal değerdendirilmesi

a,b: Pişirme öncesi ya da sonrasında farklı harfleri taşıyan çubuklar arasındaki fark istatistik açıısından önemlidir ($p < 0.05$)

Gruplar normal dağılım göstermediğı için duyuşal analizden elde edilen veriler istatistiksel olarak Mann-Whitney analizine tabi tutulmuştur. Kontrol grubu ve %1.79 jelatin içeren gruplar kıyaslanmıştır. Analiz sonucuna göre kontrol grubunun %1.79 jelatin içeren gruba göre görünüş, renk, koku, lezzet, tekstür ve genel beğeni özelliklerinin tümü için daha düşük puanlar aldığı gözlenmiştir ($p < 0.05$). Panelistler tarafından verilen puanlar incelendiğinde en yüksek puan olan 8.17, genel beğeni puanıdır ve bu değeri %1.79 jelatin içeren gruba aittir. En düşük puan ise kontrol grubuna ait 6.42 tekstür puanıdır.

Duyuşal analizden elde edilen sonuçlar değerdendirildiğinde %1.79 jelatin içeren grubun kontrol grubuna kıyasla tüketici isteklerini daha çok karşılayacak nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu verilerin, literatürdeki diğer sonuçlarla da uyum gösterdiği söylenebilir.

Berik vd. (2011), alabalık kroket örneklerinin panelistler tarafından yüksek puanlandırıldığını belirtmişlerdir. Ürün, renk ve genel beğeni parametrelerinin her ikisi

için de en yüksek puan değerlendirmesi olarak 8.01 değerini almıştır. Koku, tat ve görünüş parametreleri için sırasıyla 7.70, 7.78 ve 8.00 değerlerini elde etmişlerdir.

Jridi vd. (2015) gerçekleştirdikleri bir çalışma sonucunda jelatin ilavesinin hindi sosisinin lezzeti üzerinde herhangi bir farklılık oluşturmadığı ancak sosisin dilimlenebilirlik, tekstür ve genel kabul edilebilirlik parametreleri açısından önemli olduğu belirtilmiştir ($p<0.05$). Duyusal tüm özellikleri göz önüne alındığında %0.75 jelatin ile hazırlanmış sosislerin kontrol grubu ve diğer gruplara kıyasla panelistler tarafından en kabul edilebilir ürün olduğu tespit edilmiştir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 3 boyutlu (3B) gıda yazıcısı kullanarak fonksiyonel tavuk eti ürünü üretimi gerçekleştirmek temel hedef olarak belirlenmiştir. %0, %1 ve %2 jelatin ilavesi yapılarak hazırlanmış formülasyonların 3B baskısı gerçekleştirilerek Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon işlemi sonucunda 3B baskı işlemi için ideal jelatin oranı %1.79 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, %1.79 jelatin ilavesinin ve pişirme işleminin ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada baskı alanı boyutu 10x10cm²'dir. İdeal baskı parametreleri olarak 25 °C tabla yüzey sıcaklığı, %110 filament akış hızı, 0.45 bar kompresör tarafından uygulanan basınç, %90 besleme hızı ve nozulun tabladan yüksekliği 0.5 mm belirlenmiştir. Şeklin katman yüksekliği 1.5 mm, yazıcı baskı hızı 100 mm/s olarak ayarlanmıştır.

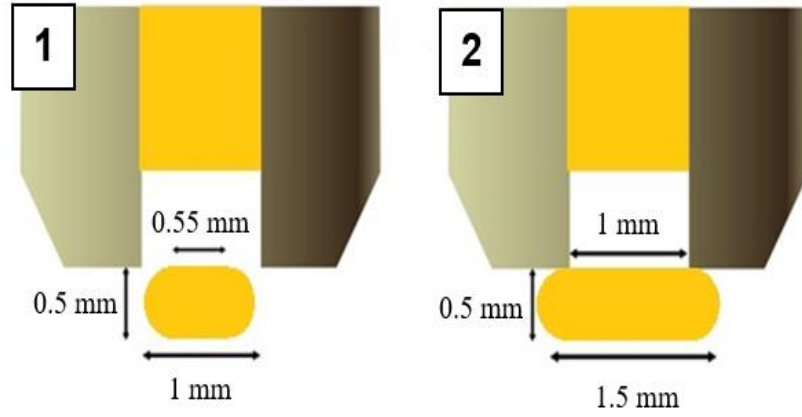
Pişirme sonrasında %1.79 jelatin ilavesi pH değerini ve protein içeriğini arttırmış, ancak, nem, kül ve yağ içerikleri üzerinde önemli bir etki göstermemiştir. Formülasyondaki jelatin miktarı artışı, L* değeri için önemli bir fark meydana getirmemekle birlikte pişirme sonrası a* değerinin azalmasına, b* değerinin artmasına neden olmuştur. Pişirme öncesi kontrol grubu dışında pişirmenin L* değeri üzerinde azaltıcı, a* ve b* değerleri için arttırıcı etkisi olduğu gözlenmiştir. Geliştirilen tavuk eti formülasyonunun tam buğday unu (gluten) içermesi ve pişme işlemi ile birlikte meydana gelen Maillard reaksiyonlarının a* değeri için arttırıcı etki gösterdiği düşünülmektedir. 3B yazıcı ile yazdırılan ürünlerin görünüş, renk, koku, lezzet, tekstür ve genel beğeni değerlendirilmesi yapıldığında %1.79 jelatin içeren grupların kontrol grubuna göre oldukça yüksek puan aldığı görülmüştür. %1.79 jelatin içeren grubun kontrol grubuna kıyasla tüketici isteklerini daha çok karşılayacak nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde %1.79 jelatin kullanımının G' ve G'' değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı gözlenmiştir. % 1.79 jelatin içeren grup için tan δ değerleri kontrol grubu ile kıyaslandığında daha düşük bulunmuştur. Yani %1.79 jelatin içeren grubun daha katı benzeri özellik gösterdiği; kontrol grubunun daha akışkan bir yapı gösterdiği

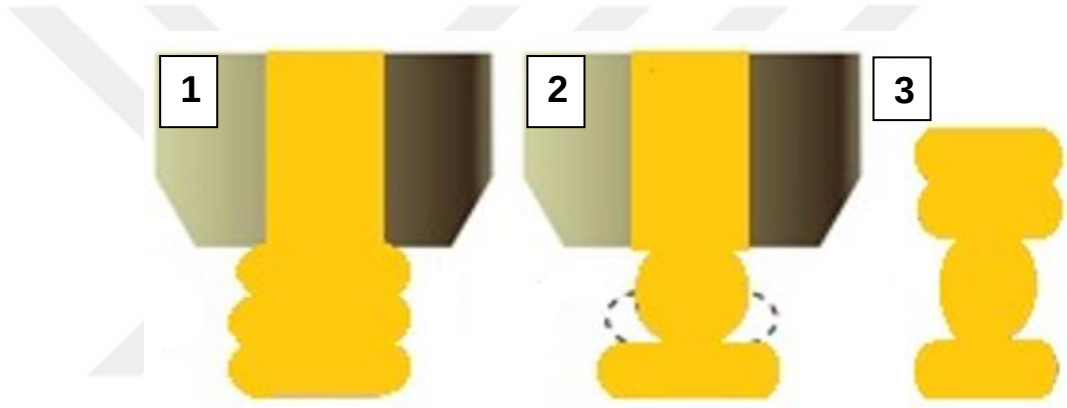
tespit edilmiştir. Akışkan özelliğın fazla olması 3B baskı için çok fazla arzu edilen bir özellik değildir. Yapının mekanik dayanımının daha yüksek olması istenmektedir. Bu nedenle %1.79 jelatin içeren formülasyon 3B yazıcı ile baskı işlemi için daha uygun olduğu düşünülmektedir.

3B yazıcı ile baskı için yeni formülasyonların geliştirilmesi ve 3B baskıda ideal yazıcı parametrelerinin belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda çalışmadan elde edilen verilerden yola çıkılarak aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- 3B baskıda ekstrüzyon genişliğinin belirlenmesinde iki önemli nokta vardır. Birincisi iyi bir baskı kalitesi elde etmek için ekstrüzyon yollarının yani şeklin tasarımının nasıl olması gerektiği, ikincisi ise bu yollar boyunca yazıcının ne kadar malzeme akıtması gerektiğidir. Eğer iki bitişik ekstrüzyon yolu birbirine çok yakınsa (veya çok fazla malzeme nozula iletilmişse) üst üste binerler. Aksine iki bitişik yol eğer birbirine çok uzaksa (veya yeterince malzeme nozula iletilmemişse) boşluklar görülür ve baskı kalitesi olumsuz etkilenir. Baskı işleminde ekstrüzyon yollarının daha ince veya daha kalın hale getirilmesi için yazıcının baskı hızı değiştirilmelidir.
- Ekstrüzyon kalınlığının fazla olması daha fazla yapışma özelliği sağlamasına rağmen her bir tabaka yüksekliğinin daha az olmasına sebep olmaktadır. Aksine daha ince ekstrüzyon kalınlığında tabakalar arasında az bir yapışma olmasına rağmen daha iyi bir şekil oluşumu sağlanmaktadır. Bu nedenle ekstrüzyon miktarı olması gerekenden daha fazla veya daha az olmamalıdır. Örneğin, 1 mm çaplı nozul için 0.55 mm’lik bir ekstrüzyon miktarı az geleceği gibi yine aynı nozul için 1.5 mm’lik bir ekstrüzyon miktarı fazla gelecektir (Şekil 5.1). Ekstrüzyon miktarının az olması durumunda katmanların oluşumu esnasında boşluklu bir yapı meydana gelmektedir (Şekil 5.2). Yapıda bir boşluk meydana geldikten sonra yazıcı bir sonraki katmanda bu açığı telafi etmek için basıncı yükseltecektir. Bir sonraki katmanda ekstrüzyon miktarı artacaktır. Bu durum baskı kalitesini olumsuz etkileyecek olup istenmeyen bir görüntünün oluşumuyla sonuçlanacaktır.



Şekil 5.1 Ekstrüzyon miktarının (1) olması gerekenden daha az, (2) olması gerekenden daha fazla olması durumunda meydana gelen baskının yandan görünüşü



Şekil 5.2 (1) Olması beklenen 3B baskı şekli, (2) Yetersiz ekstrüzyon sonucu yapıdaki boşluk görüntüsü, (3) Oluşan kusurlu şekil

- Bu oluşumları önlemek için tabaka yüksekliği (layer height) ve ekstrüzyon kanal genişliği (track width) değerleri ve bunların oranı iyi belirlenmelidir. Ayrıca 3B baskı kalitesi yazıcı başlığının hareket hızına, nozul çapına, yazdırma yüksekliğine bağlı olarak da değişmektedir (Godoi vd. 2016). Yazıcı başlığının hızının normalde olması gerekenden daha yüksek olması durumunda şeklin katmanları arasında istenilen yapışma meydana gelmeyebilir. Başlığın hızının normalden düşük olması durumunda ise baskı kalitesi iyi olacaktır, ancak, süreden kayıp olacaktır. Bu nedenle en uygun baskı hızını ayarlamak önemlidir.

- Nozul apı inceden kalına kadar pek çok boyutta olabilmektedir. Viskozitesi yüksek olan gıdaların basımında kalın çaplı nozul kullanımı tercih edilirken; viskozitesi düşük olan gıdalarda ince çaplı nozul kullanımı kaliteli bir şekil elde edebilmek için daha uygundur. Baskı işlemi gerçekleşmeden baskı yüksekliğinin baskıya uygun şekilde ayarlanması önemlidir. Nozulun ağzının tablaya çok yakın olması durumunda ilk tabakanın tablaya normalden daha fazla yapışması meydana gelecektir, bu da katman yüksekliğinin olduğundan daha az gözükmesine neden olacaktır. Nozulun ağzının olması gerekenden daha yüksekte olması durumunda ise ilk tabakanın tablaya yapışması ile ilgili sorun yaşanacaktır. İlk katman baskısı iyi olmayan bir şeklin de 3B baskı kalitesinin iyi olması düşünülemez. Bu sebeplerden ötürü optimum parametrelerin belirlenmesi baskı işlemi için önemlidir.

3B yazıcılar, geliştirilmiş dokusu ile içeriği ayarlanarak yüksek kaliteli fonksiyonel et tabanlı ürünler elde etmede yeni ve heyecan verici bir alternatif sağlamaktadır. Günümüzde, 3B gıda baskı işlemi fabrikasyon üretime göre daha yavaş olmasına rağmen yakın zamanda fabrikasyon üretimle rekabet edebilecek düzeye gelmesi beklenmektedir. Bu bağlamda, 3B baskı işlemi için formülasyonların hazırlanması ve 3B gıda yazıcı parametrelerinin belirlenmesi önemlidir. Gelecek alışmalarda, 3B gıda yazıcısı için farklı hidrokolloid maddeler içeren fonksiyonel formülasyonlar hazırlanması ve bunların farklı yöntemler kullanılarak pişirilmesi planlanmaktadır. Fonksiyonel tavuk eti ürünü üretiminin 3B gıda yazıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiş olduğu bu çalışmadan elde edilen verilerin, 3B gıda baskısı ile ilgili gelecek çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahn, S.H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S. and Wright, P.K., 2002. Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyping Journal, 8, 248-257.
- Akben, İ. 2017. 3 boyutlu yazıcılar ve tedarik zincirine etkileri. International Journal of Academic Value Studies, 3(10), 20–35.
- Akcan, T. ve Serdaroğlu, M. 2011. Kanatlı eti emülsiyonlarının fonksiyonel özellikleri. akademik gıda, 9(5), 49-53.
- Amjadi, K. and Hussain, K. 2005. Integrating food hygiene into quantity food production systems. Nutrition & Food Science, 35(3), 169-183.
- Anonim 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Hayvancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Yayın No: DPT:2574- ÖİK: 587.
- Anonim. 2002. Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. USA.
- Anonim. 2007. Web Sitesi: <https://candyfab.org/> Erişim Tarihi: 19.09.2019.
- Anonim. 2008. EUR- Scientific and Technical Research Reports. Spain.
- Anonim. 2009. Kanatlı Hayvan Sektör Raporu Sorunları ve Çözüm Önerileri. Samsun.
- Anonim. 2012. Web Sitesi: <https://www.foodjet.com/> Erişim Tarihi: 20.09.2019.
- Anonim. 2015. Kanatlı Sektörü Yatırım Rehberi. Elazığ.
- Anonim. 2016. Web Sitesi: [https://www.slideshare.net. \(/apexflora/3D-printing-technologies-for-food-fabrication\)](https://www.slideshare.net. (/apexflora/3D-printing-technologies-for-food-fabrication)) Erişim Tarihi: 19.09.2019.
- Anonim. 2018. TÜBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü (TÜSSİDE) Kırmızı Et Üretim ve İşlenmesinde İşbirliği Süreçleri Analizi Projesi Raporu. Kocaeli.
- Anonim. 2019. Web Sitesi: [https://www.artiboyut.com. \(/index.php/tr/bilgi-bankasi/ 48-3d- yazici-basim-yapilirken-dikkat-edilmesi-gerekenler\)](https://www.artiboyut.com. (/index.php/tr/bilgi-bankasi/ 48-3d- yazici-basim-yapilirken-dikkat-edilmesi-gerekenler)) Erişim Tarihi: 17.09.2019.
- Anonymous. 1990. Official methods of analysis, (15th Edition), Association of Official Analytical Chemist International, Arlington, Virginia, USA.
- Anonymous. 2011. Strategic Foresight Report. NW, Washington, DC.
- Anonymous. 2019. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA), 18 p., USA.

- Arlı, B. ve Demirbaş, Y. K. 2015. Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı. Abaküs Kitap yayınevi, 272, İstanbul.
- Aşçıoğlu, Ç. 2013. Farklı Pişirme Yöntemlerinin Sığır Bonfilelerinin (*Longissimus dorsi*) Besinsel ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 49, Afyon.
- Azam, R.S.M., Zhang, M., Bhandari, B and Yang, C. 2018. Effect of different gums on features of 3d printed object based on vitamin-d enriched orange concentrate. Food Biophysics, 13 (3), 250-262.
- Babji, A.S., Ravisangkar, R. and Nor Hidayah, I. 2017. Effects of Addition of Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*), Fish Gelatin and Chicken Feet Gelatin on the Quality Characteristics of Chicken Sausages, The 7th International Seminar on “Tropical Animal Production Contribution of Livestock Production on Food Sovereignty in Tropical Countries”. September 12-14 2017; Yogyakarta/Indonesia.
- Bakan, İ., Erşahan, B., Kefe, İ. ve Bayat, M. 2011. Kamu ve özel hastanelerde tedavi gören hastaların sağlıkta hizmet kalitesine ilişkin algılamaları. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1-16.
- Berik, N., Çankırılıgil, E.C. ve Kahraman, D. 2011. Alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) filetosundan kroket yapımı ve kalite niteliklerinin belirlenmesi. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 17 (5), 735-740.
- Boady Djagny, K., Wang, Z., Xu, S. and Robinson, M., 2001. Gelatin: a valuable protein for food and pharmaceutical industries: Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 41, 481-492.
- Bozoğlu, E. ve Öztürk, A. 2016. Malnütrisyonun tanımı, sıklığı ve etiyolojik faktörler. türkiye klinikleri J Geriatr-Special Topics, 2(1), 7-15.
- Breslow, J.L. 2006. N-3 fatty acids and cardiovascular disease. American Journal of Clinical Nutrition, 83, 1477S-1482S.
- Burdurlu, H.S. ve F. Karadeniz. 2003. Gıdalarda diyet lifinin önemi. Gıda Mühendisliği Dergisi, 7(15), 18-25.
- Büyüktuncer, Demirel, Z., Fisunoğlu, M., Sain Güven, G., Ünal, S. ve Besler, H.T. 2013. Hafif-orta hiperlipidemili bireylerde bitkisel stanol içeren yoğurdun serum lipid profiline etkileri. Beslenme ve Diyet Dergisi, 41(1), 35-41.
- Champagne, C.P., Gardner, N.G. and Roy, D. 2005. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45(1), 61-84.
- Chen, J., Mu, T., Goffin, D., Blecker, C., Richard, G., Richel, A. and Haubruge, E. 2019. Application of soy protein isolate and hydrocolloids based mixtures as promising

food material in 3D food printing. *Journal of Food Engineering*, 261 (2019), 76–86.

Civaner, E.Ç. 2007. Kanatlı Etleri. İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara.

Cohen, D., Norén, N. ve Lipson, H. 2010. Multi-Material Food Printing with Complex Internal Structure Suitable for Conventional Post-Processing. 21st Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'10). 9-11 August 2010. No: 1066262385, (809–815); Texas.

Çelik, D. 2015. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

de Carvalho, L.R.S., da Silva, C.H.D. and Giada, M.L.R. 2018. Physical, chemical and sensorial properties of low-fat and gluten-free chicken nuggets. *Journal of Culinary Science and Technology*, 16(1), 18-29.

Demirezen, E. ve Coşansu, G. 2005. Adölesan Çağı Öğrencilerde Beslenme Alışkanlıklarının Değerlendirilmesi. *TTB Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 14(8), 175.

Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D. ve Severini, C. 2017. Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 5(2), 65-75.

Diañez, I., Gallegos, C., Brito-de la Fuente, E., Martínez, I., Valencia, C., Sánchez, M.C., Diaz, M.J., and Franco, J.M. 2019. 3D printing in situ gelification of κ -carrageenan solutions: Effect of printing variables on the rheological response. *Food Hydrocolloids*, 87, 321–330.

Dick, A., Bhandari, B. and Prakash, S. 2019. Post-processing feasibility of composite-layer 3D printed beef. *Meat Science*, 153 (2019), 9–18.

Dülger, D. ve Şahan, Y. 2011. Diyet lifin özellikleri ve sağlık üzerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 147-157.

Erge, A. ve Zorba, Ö. 2016. Jelatin ve fizikokimyasal özellikleri. *Akademik Gıda*, 14(4), 431–440.

Erkkila, A.T. and Lichtenstein, A.H. 2006. Fiber and cardiovascular disease risk: how strong is the evidence? *Journal of Cardiovascular Nursing*, 21(1), 3-8.

Feng, P., Meng, X., Chen, J.F. and Ye, L. 2015. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders. *Construction and Building Materials*, 93, 486–497.

Fiszman, S.M., Lluch, M.A. and Salvador, A., 1999. Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *Int. Dairy Journal*, 9, 895–901.

- Foley, M., Ball, M., Chisholm, A., Duncan, A., Spears, G. and Mann, J. 1992. Should mono- or poly-unsaturated fats replace saturated fat in the diet? *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(6), 429-436.
- Froning, G.W. 1966. Effect of various additives on the binding properties of chicken meat. *Poultry Science*, 45(1), 185–188.
- Gebhardt, A. ve Fateri, M. 2013. 3D printing and its applications. *RTejournal - Forum für Rapid Technologie*, 2013(1). 0009-2-35626.
- German, R.M. 2016. *Particulate Composites Fundamentals and Applications*. Springer International Publishing, 425, USA.
- Gill, I. and Valivety, R. 1997. Polyunsaturated fatty acids 1: Occurrence, biological activities and applications. *Trends in Biotechnology*, 15 (10), 401 - 409.
- Godoi, F. C., Prakash, S. and Bhandari, B. R. 2016. 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44–54.
- Guerrero-Lagerrata, I. and Hui, Y. H. 2010. Processed poultry products: A Primer, In: *Handbook of Poultry Science and Technology*. Guerrero-Lagerrata, I. and Hui, Y. H. (eds). Volume 2, John Wiley&Sons Inc., 1-12.
- Guillon, F. and Champ, M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- Gürsoy, O. ve Kınık, Ö. 2006. Peynir üretiminde probiyotik bakterilerin kullanımı: probiyotik Peynir. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 105-116.
- Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N. and Sloan, M. 2010. Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 5, 57-64.
- Hertafeld, E., Zhang, C., Jin, Z., Jakub, A., Russell, K., Lakehal, Y., Andreyeva, K., Bangalore, S.N., Mezquita, J., Blutinger, J. and Lipson, H. 2019. Multi-material three-dimensional food printing with simultaneous infrared cooking. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 6 (1), 13-19.
- Holland, S., Foster, T. And Tuck, C. 2019. Fundamentals of 3D Food Printing and Applications, In: Chapter 9 - Creation of Food Structures Through Binder Jetting.
- Hu, F.B. and Willett, W.C. 2002. Optimal diets for prevention of coronary heart disease. *Journal of the American Medical Association*, 288(20), 2569-2578.
- Hull, C.W. 1984. US 4575-330 A.

- Izdebska, J. ve Zolek-Tryznowska, Z. 2016. 3D food printing – facts and future. *Agro FOOD Industry Hi Tech*, 27(2), 33-36.
- Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J. and Cofrades, S. 2001. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science*, 59(1), 5-13.
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Souissi, N., Kammoun, M., Nasri, M. and Ayadi, M.A. 2015. Improvement of the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition. *Food Bioscience*, 12(2015), 67-72.
- Juárez, M., Faillab, S., Ficco, A., Pena, F., Avilés, C. and Polvillo, O. 2010. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. *Food Bioproducts Processing*, 88 (2-3), 145-148.
- Katan, M.B., Grundy, S.M., Jones, P., Law, M., Miettinen, T., Paoletti, R. and Stresa Workshop Participants. 2003. Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings*, 78(8), 965-978.
- Kaya, G. 2017. Vidalı Basınçlı Transfer Sistemine Sahip Çift Nozullu Kartezyen Tipi Üç Boyutlu Gıda Yazıcısı Tasarımı ve Prototipi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, 101, Karabük.
- Kılınççeker, O. 2017. Tara, tragakant ve agar agar gamlarının tavuk köftelerde kullanımı. *GIDA*, 42 (3), 219-228.
- Kim, H. S., Park, H., Cho, I.Y., Paik, H.D. and Park, E. 2006. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus polyfermenticus*, Bispan strain, modulates natural killer cell and Tcell subset populations and immunoglobulin g levels in human subjects. *Journal of Medicinal Food* (9), 321-327.
- Kim, H.W., Woo, H., Lee, I.J., Park, S.M., Lee, J.H., Nguyen, MH, Park, H.J. 2019. Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT - Food Science and Technology*, 101(2019), 69–75.
- Kim, HY., Kim, KJ., Lee, JW., Kim, GW. and Kim, CJ. 2012. Effects of chicken feet gelatin and wheat fiber levels on quality properties of semi-dried chicken jerky. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(6), 732-739.
- Kodama, H. 1981. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Review of Scientific Instruments*, 52(11), 1770–1773.
- Kolanowski, W. and Laufenberg, G. 2006. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*, 222, 472 - 477.

- Kouzani, A. Z., Adams, S., J. Whyte, D., Oliver, R., Hemsley, B., Palmer, S. ve Balandin, S. 2017. 3D Printing of Food for People with Swallowing Difficulties. The International Conference on Design and Technology, 05–08 December 2016, KnE Engineering, (23–29); Geelong.
- Krishnaraj, P., Anukiruthika T., Choudhary, P., Moses, J.A. and Anandharamakrishnan, C. 2019. 3D extrusion printing and post-processing of fibre-rich snack from indigenous composite flour. *Food and Bioprocess Technology*, 12 (10), 1776–1786.
- Kruth, J.P., Levy, G., Klocke, F. and Childs, T.H.C., 2007. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56, 730-759.
- Lin, C. 2015. 3D food printing: A taste of the future. *Journal of Food Science Education*, 14 (3), 86–87.
- Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Nore'n, N. and Lipson, H. 2010. The International Solid Freeform Fabrication Symposium on “Multi-material Food Printing with Complex Internal Structure Suitable for Conventional Post-processing”. August 9-11 2010; Texas/USA.
- Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K. and Zhu, Y. 2019. 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267-279.
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. and Wang, Y. 2017. 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 69(A), 83-94.
- Lu, K. 2012. *Nanoparticulate Materials: Synthesis, Characterization, and Processing*. John Wiley & Sons, Inc., 488, USA.
- Mantihal, S., Prakash, S., Godoi, F.C. and Bhandari, B. 2017. Optimization of chocolate 3D printing by correlating thermal and flow properties with 3D structure modeling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44, 21-29.
- Martínez-Monzó, J., Cárdenas, J. and García-Segovia, P. 2019. Effect of temperature on 3d printing of commercial potato puree. *Food Biophysics*, 14, 225–234.
- Meilgard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. 2006. *Sensory Evaluation Techniques* 4th Ed. CRC Press, 448, Newyork.
- Menrad, K. 2003. Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56, 181–188.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. and Cuadrado, C. 2005. *Tablas de Composición de Alimentos*. Ediciones Piramide, 140, İspanya.

- Ötleş, S. 2016. Gıda sektöründe üç boyutlu yazıcıların kullanım olanakları. *Dünya Gıda*, 2016(11), 110–114.
- Öztürk, D. ve Onurlubaş, E. 2018. Gıda Sektöründe Yeni Ürün Geliştirme: Konya’da Bisküvi, Çikolatalı ve Şekerli Mamuller Alt Sektörü Üzerine Bir Uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 17. UİK Özel Sayısı, 551-568.
- Pallottino, F., Hakola, L., Costa, C., Antonucci, F., Figorilli, S., Seisto, A. ve Menesatti, P. 2016. Printing on food or food printing: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 9(5), 725–733.
- Patsias, A., Badeka, A. V., Savvaidis, I. N. and Kontominas, M. G., 2008. Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets, *Food Microbiology*, 25 (4), 575-581.
- Plat, J. and Mensink, R.P. 2005. Plant Stanol and sterol esters in the control of blood cholesterol levels: Mechanism and safety aspects. *The American Journal of Cardiology*, 96(1), 15-22.
- Richardson, AJ, Easton, T. and Puri, BK. 2000. Red cell and plasma fatty acid changes accompanying symptom remission in a patient with schizophrenia treated with eicosapentaenoic acid. *European Neuropsychopharmacology*, 10(3), 189 – 193.
- Ruusunen M. and Puolanne E. 2005. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70 (3), 531-541.
- Sachs, E., Cima, M., Williams, P., Brancazio, D. and Cornie, J. 1992. Three dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 114(4), 481–488.
- Schrieber, R. and Gareis, H. 2007. *Gelatine Handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 334, Eberbach.
- Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M. and Derossi, A. 2018a. On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*, 106 (2018), 666–676.
- Severini, C., Derossi, A., Ricci, I., Caporizzi, R. and Fiore, A. 2018b. Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. *Journal of Food Engineering*, 220, 89-100.
- Sevilmiş, G. 2013. Yükselen Trend: Fonksiyonel Gıdalar. Ticaret Odası. İzmir.
- Shellabear, M. and Nyrhila, O. 2004. DMLS-Development history and state of the art. *Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering (LANE)*. 21-24 September 2004. (393-404), Erlangen; Germany.

- Southerland, D., Walters, P. and Huson, D. 2011. Edible 3D printing, In Proceeding of NIP & Digital Fabrication Conference (7th International), Society for Imaging Science and Technology, 2 – 6 October, Vol 2, 819–822, Minneapolis, USA.
- Söylemez, N. 2013. Galeta Unu, Yumurta Akı Tozu ve Jelatinin Anaç Tavuk Köftelerinin Çeşitli Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 90, Bolu.
- Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J. Y. H., Hong, G. S. and Chiu, A. 2015a. A review on 3D printing for customized food fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1(2015), 308–319.
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H. and Hong, G.S. 2015b. An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food and Bioprocess Technology*, 8(8), 1605-1615.
- Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D. and Lin, L.Y. 2018. Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. *Journal of Food Engineering*, 220 (2018), 1-11.
- Taş, T.K. 2012. Türkiye'de Fonksiyonel Gıdaların Tüketim Araştırmaları, Ürün Çeşitliliği ve Yasal Düzenlemeler. Türkiye 11. Gıda Kongresi, 18 Kasım 2012, Hatay.
- Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M. and Bourgeois, C.M. 1997. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends Food Science and Technology*, 8, 41-48.
- Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J. and Li, J. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chem*, 77, 35-40.
- Verma, A.K. and Banerjee, R. 2012. Low-sodium meat products: retaining salty taste for sweet health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 72–84.
- Wang, L., Zhang, M., Bhandari, B. And Yang, C. 2018. Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 101-108.
- Wegrzyn, T. F., Golding, M. ve Archer, R. H. 2012. Food layered manufacture: A new process for constructing solid foods. *Trends in Food Science and Technology*, 27(2), 66–72.
- Whelan, J. and Rust, C. 2006. Innovative dietary sources of N-3 fatty acids. *Annual Review of Nutrition*, 26, 75-103.
- Whitaker, M. 2014. The history of 3D printing in healthcare. *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*, 96(7), 228–229.

- Yang, F., Zhang, M. and Bhandari, B. 2015. Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 3145–3153.
- Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B. and Liu, Y. 2018a. Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 87 (2018), 67-76.
- Yang, F., Zhang, M. Prakash, S. and Liu, Y. 2018b. Physical properties of 3D printed baking dough as affected by different compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 202-210.
- Yang, F., Zhang, M., Fang, Z. And Liu, Y. 2019. Impact of processing parameters and post-treatment on the shape accuracy of 3D-printed baking dough. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 68–74.
- Yavuz, Ş. 2013. Türk toplumunun tüketim toplumuna dönüşümünde reklamcılığın rolü. *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, 36, 219-240.
- Yücecan, S. 2008. Optimal Beslenme. Sağlık Bakanlığı Yayını, 26, Ankara.

EK 1

3 BOYUTLU FONKSİYONEL TAVUK ÜRÜNÜ DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU

PANELİSTİN ADI SOYADI:.....

TARİH:.....

Tadıma başlamadan önce ve tadım esnasında örnekler arasında bir önceki örnekten ağızınızda kalan tadı su ve krakerle giderin.

Her bir örnek ve duyuşsal karakteristik için belirtilen skaladan bir numara kodlamayı unutmayın.

Örnek Kodu	Görünüş	Renk	Koku	Lezzet	Yapı (Tekstür)	Genel Beğeni

SKALA

- 9. Mükemmel
- 8. Çok iyi
- 7. İyi
- 6. Ortanın Üstü
- 5. Orta

- 4. Ortanın altı
- 3. Kötü
- 2. Çok Kötü
- 1. Son derece kötü

EK NOTLAR: