



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PİRİNÇ UNU KATKILI KABAK PÜRESİNİN ÜÇ BOYUTLU
YAZMA İŞLEMİ İÇİN HAZIRLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA İLHAN BAŞOĞLU

**TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ NİHAT YAVUZ**

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PİRİNÇ UNU KATKILI KABAK PÜRESİNİN ÜÇ BOYUTLU YAZMA İŞLEMİ
İÇİN HAZIRLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA İLHAN BAŞOĞLU

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ NİHAT YAVUZ



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Eda İLHAN BAŞOĞLU tarafından Dr. Öğr. Üyesi Nihat YAVUZ yönetiminde hazırlanan ve **20/11/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Pirinç Unu Katkılı Kabak Püresinin Üç Boyutlu Yazma İşlemi İçin Hazırlanması**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Nihat YAVUZ
(Danışman)

.....

Prof. Dr. Yonca YÜCEER

.....

Prof. Dr. Sedat SAYAR

.....

Tez No : 10592993

Tez Savunma Tarihi : 20/11/2023

.....
Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL
Enstitü Müdürü

18/12/2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Eda İLHAN BAŞOĞLU

20/11/2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nihat YAVUZ'a, eğitim hayatım süresince tüm zorlukları benimle göğsleyen, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme ve eŐim Gökhan BAŞOğLU'na sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Eda İLHAN BAŞOğLU
anakkale, Kasım 2023

ÖZET

PİRİNÇ UNU KATKILI KABAK PÜRESİNİN ÜÇ BOYUTLU YAZMA İŞLEMİ İÇİN HAZIRLANMASI

Eda İLHAN BAŞOĞLU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nihat YAVUZ

20/11/2023, 52

Yapılan bu tez kapsamında doğal hali ile üç boyutlu gıda yazma işlemi için uygun olmayan kabak püresi örneklerinin pirinç unu katkısı ile basılabilir hale getirilmeleri ve baskı kalitesi üzerine etki eden değişkenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kabak püresi miktarının %10, 30 ve 50'si kadar pirinç unu eklenmesi ile örnekler hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında Herschel-Bulkley modeline uyan pirinç unu eklenmiş kabak pürelerinin reolojik analizleri sonucu doğrusal viskoelastik bölge içerisinde depolama modülü değerleri kayıp modülü değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı örneklerin ısıtılmaları sonucunda 65°C'den sonra pirinç unu içerisindeki nişastanın jelatinizasyonu sonucunda görünür viskozite ve depolama modülü değerlerinde artış olduğu ölçülmüştür. Bu nedenle çalışmada kullanılan üç boyutlu gıda yazıcısının baskı yüzeyi sıcaklığı 65°C'ye ayarlanarak yazma işlemi sırasındaki değişkenlerin etkileri belirlenmiştir. Çember, kare ve üçgen olarak belirlenen temel geometrik şekiller için düşük akış hızı istenilen boyutlara daha yakın şekillerin elde edilmesini sağlarken pirinç unu oranının önemli ($p>0,05$) bir etkisi olmamıştır. %50 ve daha az doluluk oranlarında koni şeklindeki örneklerin çöktüğü görülmüştür. Baskı yüzeyi sıcaklığının 75 ve 85°C'ye çıkarılması ile ev gibi karmaşık şekillerin baskı kalitesinin artmasını sağlamıştır. Örnek hazırlığı sonrası hemen basım yapıp pişirme işlemi uygulandığında basılan şekillerin yüzeylerinde çatlaklar oluştuğu örnek hazırlığı sonrası dondurulup çözdürülen örneklerden elde edilen şekillerde ise bu durumun oluşmadığı görülmüştür. Bu sayede doğal haliyle üç boyutlu yazma işlemi için uygun olmayan kabak püresinden pirinç unu kullanımı ile baskı kalitesi yüksek örneklerin nasıl elde edilebileceğine dair veriler elde edilmiştir. Ayrıca üç boyutlu gıda yazıcılarının

giderek yaygınlaşması ve kullanıcılar tarafından ev ortamında pratik şekilde kullanılmalarına dair de sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üç Boyutlu Gıda Yazma, Sebze Püresi, Pirinç Unu

ABSTRACT

PREPARATION OF ZUCCHINI PUREE WITH RICE FLOUR FOR 3D FOOD PRINTING

Eda İLHAN BAŞOĞLU

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Food Engineering

Advisor: Assistant Professor Nihat YAVUZ

20/11/2023, 52

The aim of this thesis was to prepare zucchini puree, which is naturally non-printable, with rice flour for three-dimensional food printing and to determine the variables affecting print quality. Samples were produced by adding rice flour in amounts of 10, 30, and 50% of the zucchini puree. Rheological analyses of the zucchini purees with added rice flour, which conformed to the Herschel-Bulkley model at room temperature, revealed that within the linear viscoelastic region, the storage modulus values were higher than the loss modulus values. Upon heating the same samples, it was observed that after 65°C, the gelatinization of starch in the rice flour resulted in an increase in apparent viscosity values and storage modulus values. Therefore, the effects of variables during the printing process were determined by setting the printing surface temperature of the used three-dimensional food printer to 65°C. For the basic geometric shapes defined as circles, squares, and triangles, low flow rates resulted in shapes closer to the desired dimensions, while the ratio of rice flour had no significant effect ($p > 0.05$). Cone-shaped samples collapsed at filling rates of 50% and less. Increasing the printing surface temperature to 75°C and 85°C improved the print quality of complex shapes of a house. When the samples that were printed right after sample preparation were baked, surface cracking were observed. However, it was observed that this condition did not occur when using samples that had been frozen and thawed after the sample preparation. As a result, data on how high-quality samples can be obtained by using rice flour with zucchini puree, which is naturally non-printable, have been obtained. Additionally, results regarding the increasing prevalence of

three-dimensional food printers and their practical use by consumers in home environments have also been obtained.

Keywords: 3D Food Printing, Vegetable Puree, Rice Flour

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

2.1. Üç Boyutlu Yazma Temelleri.....	3
2.2. Üç Boyutlu Yazma İşleminde Kullanılan Gıdalar	4
2.3. Pirinç Unu İçeren 3BGY İşlemleri.....	4
2.4. 3BGY İşlemi Sonrası Uygulanan İşlemler.....	6

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL YÖNTEM

8

3.1. Malzeme.....	8
3.2 3BGY İşlemi için Kabak Püresi Hazırlığı.....	8
3.2.1. Nem Analizi.....	8
3.2.2. Su Salma Analizi.....	9
3.2.3. Reolojik Analizler.....	9

3.3.	3BGY İşlemi.....	9
3.3.1.	Üç Boyutlu Gıda Yazıcısı.....	9
3.3.2.	Akış Hızı ve Pirinç Unu Oranının Temel Şekillerin Basılması Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	10
3.3.3.	Doluluk ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	12
3.3.4.	Baskı Yüzeyi Sıcaklığının Karmaşık Şekillerin Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	13
3.3.5.	Kabak Püresine Uygulanan İşlemlerin ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi	14
3.4.	İstatistiksel Analizler.....	14

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM 16
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1.	Kabak Püresinin Üç Boyutlu Yazma İşlemi Açısından Değerlendirilmeleri.....	16
4.2.	Akış Hızı ve Pirinç Unu Oranının Temel Şekillerin Basılması Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	22
4.3.	Doluluk ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	25
4.4.	Baskı Yüzeyi Sıcaklığının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi.....	34
4.5.	Kabak Püresine Uygulanan İşlemlerin ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi	40

BEŞİNCİ BÖLÜM 44
SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	46
-----------------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

3BGY	Üç Boyutlu Gıda Yazma
KP-10	%10 pirinç unu içeren kabak püresi örneği
KP-30	%30 pirinç unu içeren kabak püresi örneği
KP-50	%50 pirinç unu içeren kabak püresi örneği
G'	Depolama Modülü
G''	Kayıp Modülü

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Farklı gıda formülasyonlarının kullanıldığı üç boyutlu yazma çalışmaları	5
Tablo 2	Baskı kalitesini belirlemek için kullanılan puanlama sistemi	12
Tablo 3	Kabak pürelerine ait nem ve su salma değerleri	16
Tablo 4	Çember şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri	23
Tablo 5	Kare şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri	24
Tablo 6	Üçgen şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri	24
Tablo 7	Düz baskı deseni ile basılan koni şeklinin boyutları üzerinde doluluk ve pirinç unu oranının etkileri	26
Tablo 8	Dalgalı baskı deseni ile basılan koni şeklinin boyutları üzerinde doluluk ve pirinç unu oranının etkileri	27
Tablo 9	Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-50 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	28
Tablo 10	Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-50 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	29
Tablo 11	Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-30 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	30
Tablo 12	Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-30 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	31
Tablo 13	Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-10 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	32
Tablo 14	Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-10 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları	33

Tablo 15	Baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının ev şeklinin boyutları üzerindeki etkileri	34
Tablo 16	Baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının koni şeklinin boyutları üzerindeki etkileri	35
Tablo 17	85°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının ev şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	36
Tablo 18	75°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının ev şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	37
Tablo 19	85°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	38
Tablo 20	75°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	39
Tablo 21	Püre türü ve pirinç unu oranının koni şeklinin boyutları üzerindeki etkileri	41
Tablo 22	Pirinç unu oranının taze püre kullanılarak basılan koni şekillerinin pişirme öncesi ve sonrası görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	42
Tablo 23	Pirinç unu oranının dondurulup çözdürülen püre kullanılarak basılan koni şekillerinin pişirme öncesi ve sonrası görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Üç boyutlu gıda yazıcısı	10
Şekil 2	Akış hızı ve pirinç unu oranının baskı kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için kullanılan temel şekiller: a) daire (40 mm çap), b) kare (60 mm kenar uzunluğu), c) üçgen (60 mm taban uzunluğu ve 51,96 mm yükseklik)	11
Şekil 3	Koni şeklinin basılması sırasında uygulanan a) düz baskı deseni ve b) dalgalı baskı deseni	13
Şekil 4	Şekil 4. Ev şekli (genişlik ve uzunluk 55,73 mm, en yüksek nokta 12 mm)	14
Şekil 5	KP-50 örneğinin 25°C’de ölçülen kayma gerilimi ve kayma oranı değerleri	17
Şekil 6	KP-50 örneğinin 25°C’de ölçülen depolama ve kayıp modülü değerleri	18
Şekil 7	Oda sıcaklığındaki KP-50 örneğinin oda sıcaklığındaki baskı yüzeyi üzerine yapılan üç boyutlu yazma işlemi denemeleri	18
Şekil 8	Kabak püresi örneklerinin farklı sıcaklıklardaki görünür viskozite (kayma oranı 50 1/s) değerleri (kare: KP-50, elmas: KP-30, üçgen: KP-10)	19
Şekil 9	KP-50 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85oC, üçgen: 75oC, kare: 65oC; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)	20
Şekil 10	KP-30 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85oC, üçgen: 75oC, kare: 65oC; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)	21
Şekil 11	KP-10 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85°C, üçgen: 75°C, kare: 65°C; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)	21

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Son zamanlarda, kişiye özgü gıda ürünlerinin geliştirilmesi gerek sağlık gerekse lüks tüketim gibi sebeplerden dolayı giderek artmaktadır. Bu amaçla kullanılacak en uygun teknolojilerden birisinin ise üç boyutlu gıda yazma (3BGY) işlemi olduğu düşünülmektedir. 3BGY işlemi ile çeşitli problemlere çözüm getirebileceği öngörülmektedir. Bu problemlerden bazılarında yaşlılar, çocuklar ve sporcular için kişiselleştirilmiş menülerin hazırlanması (Liu vd., 2019), çeşitli hastalıklardan kaynaklı çigneme-yutkunma zorluğu çeken insanlar için uygun yapıda gıda ürünlerinin oluşturulması (Godoi vd., 2016), gıda üretiminde atık miktarının azaltılması veya atık ürünlerin değerlendirilmesi (Dick vd., 2019), arttırılmış yüzey alanı/hacim oranı veya gözenekli doku gibi alternatif tekstür yapılarının oluşturulması (Voon vd., 2019), pH ve sıcaklık gibi çevresel koşullara duyarlı bileşenlerin gıda yolu ile taşınması veya hidrofilik ve hidrofobik grupları içeren çok fazlı ürünlerin geliştirilmesi (Sommer vd., 2017) örnek olarak verilebilir. 3BGY işlemi ile gıda hazırlanmasının geleneksel yöntemlerden farkı aynı kalitede ürünü seri halde çok miktarda hazırlamak yerine kişisel veya özel durumlara uygun farklı özellikte ürünler hazırlayabilmesi olarak görülmektedir. Mevcut sanayide uygulanan teknolojiler ile kişiselleştirilmiş ürünlerin hazırlanması ya oldukça maliyetli olacaktır ya da ürünlerin hazırlanıp tüketicilere ulaştırılması pratik olmayacaktır. 3BGY işleminin yaygınlaşabilmesi içinse üretkenliğin ve işlevselliğin artması gerekmektedir. Genellikle üretkenlikten kastedilen üretim hızı olurken işlevsellikten kasıt ise besin değerleri açısından zengin ve alternatif tekstüre/şekillere sahip gıdaların hazırlanabilmesidir (Godoi vd., 2016).

Çeşitli gıdaların potansiyel olarak 3BGY işleminde kullanımını araştırılmaktadır. Guo vd. (2019) gıdaların reolojik, ısıl ve kimyasal özellikleri ile yazma işlemi değişkenlerinin basılan şeklin istenilen boyutlara sahip olması ve baskı sonrası şeklin yapısını koruyabilmesinde önemli etkileri olduğunu belirtmektedir. Meyve ve sebzelerin ise doğal özellikleri nedeni ile üç boyutlu yazma işleminde kullanılmaları zordur. Üç boyutlu gıda yazıcılarının ilerleyen zamanlarda genel tüketicinin daha kolay erişebileceği bir konuma geleceği ön görülmektedir. Bu nedenle 3BGY işlemi için meyve ve sebze gibi günlük

tüketimde yaygın yeri bulunan gıdaların, tüketiciler tarafından kolaylıkla ulaşabilecekleri hale getirilebilmesi önemlidir.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı bu çalışma kapsamında doğal halinde 3BGY işlemi için uygun olmayan sebze örneği olarak kabak pürelerinin pirinç unu katkısı ile yapılarının değiştirilmesi ve üç boyutlu yazma işleminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Genel olarak herkesin üç boyutlu gıda yazıcısını kullanım amaçlarına daha yakın şekilde evlerde, mutfakta kullanabilmesi için günlük yaşamda kolayca ulaşabilecekleri ürünlerle gıda hazırlığı yapabilmesi önemli olacaktır. Ksantan gam gibi katkı maddeleri ile gıdaların basılabilir hale getirilmesi veya kullanıma hazır şekilde toz karışımların hazırlanıp sonradan su eklenmesi ile örnek hazırlığı mümkün olabilecektir. Pirinç unu katkısı ise püre yapısını geliştirmesi ve tüketiciye çeşitli gamlar ve katkı maddelerine göre daha tanıdık gelmesi ve kolay ulaşılabilir olması açısından uygun görülmüştür. Doğal hali ile basmaya uygun olmayan sebze pürelerinden kabak püresi ve pirinç unu örnek hazırlığı için seçilmiştir. Pirinç ununun gluten içermemesi, düşük alerjen özellikleri ve su tutma ile donma-çözünme işlemlerine karşı olan özellikleri açısından avantajlı olabilecektir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Üç Boyutlu Yazma Temelleri

Üç boyutlu yazıcı, bilgisayar programları ile oluşturulan tasarımların plastik, metal ve gıda gibi malzemelerin ön işlemlerden geçirilmesinden sonra 2 boyutlu bir düzlemde her katman üst üste gelecek şekilde birleştirilmesi ile 3 boyutlu bir nesne meydana getiren bir teknolojidir. Üç boyutlu yazıcılarla sağlıklı, kişiye özgü ve yeniden yapılandırılmış ürünler elde etmek için farklı üretim teknikleri mevcuttur (Aydın vd., 2019). En yaygın tekniklerden birisi olan eriyik yığma modelleme ile yazma işleminde sıcak ve erimiş iplik halindeki bir polimer hareketli bir başlık sayesinde tek bir çizgi olarak baskı yüzeyine yerleştirilir. Yan yana belirli desenlerde yerleştirilen çizgiler ile basılacak şeklin ilk katmanı oluşturulur. Aynı anda soğutma işlemi yapılması ile de basılan malzemenin şeklini korumasına yardımcı olunur. Benzer şekilde ilk katman üzerine diğer katmanların basılması ile yazma işlemi tamamlanır. Başlangıçta plastik malzemeler için kullanılan bu yöntem gıdalar için de kullanım açısından uygundur. Genellikle püre veya jel benzeri yapıda olan gıda örneklerinden elde edilen şekillerin kalitesi üzerinde gıda formülasyonlarının reolojik, katılaşma ve jel oluşturma özellikleri etkili olmaktadır (Godoi vd., 2016).

Üç boyutlu gıda yazma işlemi için kullanılan sistemler temelde x, y ve z kartezyen koordinatlarında hareket edebilen bir platform ve basma işlemini sağlayan başlık ile kullanıcı ara yüzü sayesinde basma işlemi kontrol eden besleme sisteminden oluşur. Seçici lazer veya sıcak hava eritme yöntemi gibi yöntemler ile gıda yazılırken çoğunlukla düşük erime sıcaklığına sahip şeker veya yağ bazlı toz haldeki formülasyonlar kullanılmaktadır. Erime sıcaklığına yakın bir noktaya kadar ısıtılan formülasyonlar düz ve tek bir katman halinde bir platform üzerine yerleştirilir. Daha sonra lazer veya sıcak hava üfleyen bir başlık toz katmanı üzerinde hareket ederek önceden belirlenen noktaların sıcaklığını arttırarak erimeyi başlatır. Toz taneleri soğuma ile birbirlerine kaynaşır ve istenilen şeklin kesit alanı oluşturulur. Bir sonraki katmanı oluşturmak için yeni bir toz tabakası önceki katmanın üzerine eklenir ve yazma işlemi tekrar edilir. Bağlayıcı

püskürtme yöntemi de seçici lazer/sıcak hava eritme yöntemine benzemektedir. Katmanların oluşturulması ve kaynaştırma işlemi için su veya kullanılan toz formülasyona bağlı olarak kaynaşma sağlayacak bileşenleri içeren bir sıvı hareketli başlıktan püskürtülür. Yine genellikle şeker bazlı veya nişastadan oluşan toz formülasyonlar ile yazma işlemi gerçekleştirilebilir (Sun vd., 2015).

2.2. Üç Boyutlu Yazma İşleminde Kullanılan Gıdalar

3BGY işleminde kullanılan gıdalara çikolata (Hao vd., 2010), et ürünleri (Liu vd., 2018a), süt proteini (Liu vd., 2018c), patates püresi (Liu vd., 2018b), peynir (Le Tohic vd., 2018) ve çeşitli meyveler (Derossi vd., 2020) örnek olarak verilebilir. Mayonez, çikolata, nişasta içeriği yüksek bazı sebzeler gibi gıda ürünleri doğal olarak 3BGY işlemi için uygunken çoğu meyve ve sebzeler için belirli oranlarda kıvam arttırıcı katkı maddelerinin kullanımı gerekmektedir. Tablo 1.'de çoğunlukla meyve ve sebze içeren formülasyonların kullanıldığı üç boyutlu yazma işlemlerinde araştırılan işlem değişkenleri ve temel bulgular özetlenmiştir. Yapılan çalışmalardan çıkarılabilecek genel sonucun 3BGY işleminin çoğu zaman gıda maddelerinin reolojik ve mekanik özelliklerinden etkilendiğidir. Ayrıca her bir gıdanın yapısına göre baskı değişkenlerinin de ayarlanması gerekmektedir. Gıdalara yazma işlemine özel olarak baskı sırasında ve sonrasında ise mikrobiyal yüke ve gıda güvenliğine ayrıca dikkat edilmelidir (Brown vd., 2014). Meyve ve sebzelerden elde edilebilecek ürünlerin farklı gıda bileşenleri ile karıştırılması sonucunda alternatif yapıların 3BGY işlemi ile yapılabileceği görülmektedir.

2.3. Pirinç Unu İçeren 3BGY İşlemleri

Üç boyutlu gıda yazıcılarının artan araştırmalar sonucunda giderek yaygınlaşarak mutfaklarda yer alması mümkündür. Böyle bir durumda genel tüketicilerin üç boyutlu yazıcıları kullanarak ev ortamında istenilen baskı kalitesinde örnekler hazırlayabilmesi önemlidir. Bu nedenle meyve sebze örneklerinin kolay ulaşılabilir katkı maddeleriyle basmaya uygun hale getirilmeleri yönünde çalışmalar pratik sonuçlara ulaşılması ve 3BGY işleminin yaygınlaşmasını sağlayabilecektir. Düşük alerjen özellikleri, tat ve aroma

açısından tercih edilebilirliği ve ortaya çıkarabildiği reolojik özellikler açısından pirinç ununun üç boyutlu gıda yazma işlemlerinde kullanımını giderek artmaktadır.

Tablo 1

Farklı gıda formülasyonlarının kullanıldığı üç boyutlu yazma çalışmaları

Gıda Formülasyonu	İşlem Değişkenleri	Temel Bulgular	Kaynak
Patates püresi tozu ve süt	Baskı sıcaklığı, patates püresi bileşimi	Bileşim sıcaklıktan daha fazla baskı kalitesini etkilemiştir. Patates püresi, k-karagenan ve ksantan gam karışımı en iyi baskı kalitesini ve dayanıklılığını sağlamıştır.	(Martínez-Monzó vd., 2019)
Patates püresi ve çeşitli gamlar	Reolojik özellikler	Artan parçacık boyutu ile elde edilen ürünün mekanik özellikleri ve baskı kalitesi artmıştır.	(Liu vd., 2020)
Ispanak tozu ve ksantan gam	Reolojik özellikler ve toz parçacık boyutu	Ksantan gam kullanılan örnekler en iyi baskı kalitesini sağlamıştır.	(Lee vd., 2019)
Dondurarak kurutma ile elde edilmiş sebze tozları ve çeşitli gamlar	Reolojik özellikler	Baskı kalitesi ve akış hızı, nozul çapı ve basma hızı değişkenleri arasındaki ilişki belirlenmiştir.	(Kim vd., 2018)
Limon suyu ve patates nişastası	Akış hızı, nozul çapı ve basma hızı	Çift başlıklı yazıcı ile kompleks yapılar elde edilebilmiştir.	(Yang vd., 2019)
Çilek suyu ve patates nişastası	Reolojik özellikler ve yazıcı başlık türü		(Liu vd., 2018c)

Huang vd. (2019) çalışmasında kahverengi pirinçten elde edilen unlardan macun benzeri örnekler hazırlanmıştır ve farklı nozul çapları (0,84 mm, 1,20 mm, 1,56 mm), basılan şekillerin içerdiği duvar sayısı (3, 5, 7) ve doluluk oranları (15%, 45%, 75%) olmak üzere üç farklı yazıcı değişkeninin etkileri incelenmiştir. Baskı kalitesi açısından şekillerin yükseklik ve çap değerleri ölçülerek şekillerin bilgisayar modellerindeki boyutları ile

karşılaştırılmıştır. Nozul çapı ve duvar sayısının örneklerin baskı kalitesini önemli ölçüde etkilediği belirtilirken doluluk oranı etkisinin daha az olduğu bildirilmiştir. Özellikle nozul çapının küçülmesiyle baskı kalitesinde belirgin bir artışın olduğu gösterilmiştir. Örneklerin tekstürel özellikleri açısından ise doluluk oranının önemi gözlenmiştir. Azalan doluluk oranı ile baskı süresinin kısalması yanında daha yumuşak yapıda örneklerin elde edilebileceği sonucuna da varılmıştır. Thangalakshmi vd. (2021) çalışmasında ise pirinç unu, palmye şekeri ve su içeren örneklerin 3BGY işlemi için uygunlukları çalışılmıştır. 20 farklı kombinasyonun reolojik özellikleri, tekstürel yapıları ve baskı kalitesi incelenmiştir. 85,95 g pirinç unu, 33,04 g palmye şekeri ve 100 g su içeren örnek ile 85,95 pirinç unu, 33,04 g palmye şekeri ve 114,93 g su içeren örnekler en iyi baskı kalitesine sahip olmuştur. Benzer bileşenlerden oluşan örneklerin incelendiği Prithviraj vd. (2022) çalışmasında ise %50,86 pirinç unu ve %49,14 su ile %36,75 pirinç unu, %14,10 palmye şekeri ve %49,14 su oranları en iyi baskı kalitesi sağlamıştır. Liu vd. (2020) çalışmasında farklı pirinç unu türleri ve sodyum aljinat içeren karışımlardan üç boyutlu yazma işlemi için örnekler hazırlamıştır. Sodyum aljinat eklenmesinin örneklerin viskozitesinde artan kayma oranı ile azalma sağlaması basma işlemi için avantajlıdır. Artan sodyum aljinat oranı ile örneklerin viskozite ve su tutma kapasitesi artmıştır. En iyi baskı kalitesi %0,5 sodyum aljinat ve Japon pirinci türlerinin kullanıldığı örneklerden elde edilebilmiştir. Japon pirinci içeren örnekler baskı sonrasında buharda pişirildiklerinde de boyutlarını koruyabilirken yüksek amilopektin içeren pirinç unu kullanılan örneklerin boyutlarındaki değişim sonucu baskı şekillerini koruyamamıştır. Du vd. (2022) çalışmasında buğday ve pirinç unu içeren karışıma maya ve su eklenmesi ile hamur elde edilmiştir. %25 pirinç unu içeren örneklerden elde edilen hamurun üç boyutlu yazıcı ile basılması ve sonrasında buharda pişirilmesi ile çignenebilirlik ve yapışkanlık açısından tercih edilebilen yapılar üretilmiştir.

2.4. 3BGY İşlemi Sonrası Uygulanan İşlemler

3BGY işleminden sonra, ürünün yüzeyindeki kusurları ve şekil kararlılığını sağlamak için çeşitli son işlemler uygulanabilir. Bu işlemlere örnek olarak kurutma, pişirme ve soğutma verilebilir. 3BGY işlemi ile elde edilen gıdaların pişirme sırasında şekillerini koruyabilmesi için katkı maddeleri ve formülasyon kontrolü ile basılı ürünlerin

şekillerini korumak mümkündür (Lipton vd., 2015). Severini vd. (2016) 3BGY işleminden 30 dakika önce 100 g buğday unu ve 54 g damıtılmış suyla hamur yapıp 200° C'de pişirme sonrası 15 dakika daha beklettikten sonra ürünün hedef yapı ve şekle çok yakın olduğu sonucuna varmıştır. Ancak, pişirme işlemi protein denatürasyonu, dehidrasyon, nişastanın jelatinizasyonuna ve numune yüzeyinin sertleşmesine neden olmuştur. 3BGY işlemi ile elde edilmiş ürünlere dondurarak kurutma, fırında kurutma, mikrodalgada kurutma ve vakum kurutma teknikleri uygulandıktan sonra yapılan değerlendirmelerde dondurarak kurutulmuş ürünlerin şekillerini fırında kurutulmuş ürünlere göre daha iyi koruyabildiği görülmüştür. Mikrodalga kurutma ile patates nişastası ve konsantre meyve suyu karışımından oluşan ürünler kurutulduğunda ise duyu analizlerden olumlu sonuç alınan ürünlerin şekillerini de oldukça iyi muhafaza ettiği belirtilmiştir (Lille vd., 2018). Hızlı soğutma, üç boyutlu yazıcı ile hazırlanan ürünlerin yapı kararlılığını korumak için bir başka yöntemdir (Lipton vd., 2010). Basıldıktan sonra hızlı dondurulan pasta hamurunun şekil değişikliğine fazla maruz kalmadığı ve iç katmanların da sonraki pişirme işleminden olumsuz etkilenmediği belirlenmiştir (Yang vd., 2019). Pişirme işleminden önce uygulanacak hızlı dondurma işleminin pişirilecek hamur bazlı ürünlerin şeklini koruması adına önemli olduğu vurgulanmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Sebze örneği olarak sakız kabağı ve üç boyutlu yazma işlemi için püre hazırlığında kullanılmak üzere pirinç unu (Piyale, Türkiye) Çanakkale'deki yerel marketlerden temin edilmiştir.

3.2. 3BGY İşlemi için Kabak Püresi Hazırlığı

Kullanılacak olan sebze püreleri Ilhamto vd. (2014) ve Pant vd. (2021) tarafından önerilen yöntemlerden uyarlama yapılarak hazırlanmıştır. Özet olarak çeyrek daire şeklinde doğranan kabaklar ön denemelerle belirlenmiş oranda ve sürede kaynar su içerisinde haşlanmıştır. 500 g kabak ve 1 L kaynamış su 20 dakika 195 derece yüzey sıcaklığına sahip ısıtıcı üzerinde haşlanmaya bırakılmıştır. Bu işlem sonunda 500 g kabaktan 340 g haşlanmış kabak elde edilmiştir. Fazla suyu süzülen kabaklar yine ön denemelerle belirlenmiş 340 g kabak ve 170 g pirinç unu (KP-50), 340 g kabak ve 102 g pirinç unu (KP-30) ve 340 g kabak 34 g pirinç unu (KP-10) oranlarında ev tipi blenderdan (Arzum AR1061 Vacuumix) geçirilerek püre haline getirilmiştir. Kabak püresi miktarının %50'si kadar pirinç unu eklenerek hazırlanmış örnek KP-50, kabak püresi miktarının %30'u kadar pirinç unu eklenerek hazırlanan örnek KP-30 olarak kodlanırken kabak püresi miktarının %10'u kadar pirinç unu eklenerek hazırlanan örnek KP-10 olarak kodlanmıştır.

3.2.1. Nem Analizi

Başlangıç ağırlıkları ölçülen örneklerin (4 g numune miktarı) $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvde (MMM Ecocell 111) sabit tartıma gelene kadar bekletilmesiyle gravimetrik olarak nem analizi AACC 44-15A (AACC, 2000) yapılmıştır.

3.2.2. Su Salma Analizi

Su salma analizinin yapılabilmesi için püre örneklerinden 25 g alınarak 50 mL'lik Falcon tüplerine konulmuştur. 3000 devir/dk hızlarında 15 dk santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj sonrası ayrılan su fazı dikkatli bir şekilde çöken kısımdan ayrıldıktan sonra ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrılan su ağırlığının başlangıç örnek ağırlığına bölünmesi ile su salma miktarı yüzdesel olarak belirlenmiştir. Aynı işlemlerin 9000 devir/dk hızda tekrarlanması ile de su salma miktarı hesaplanmıştır.

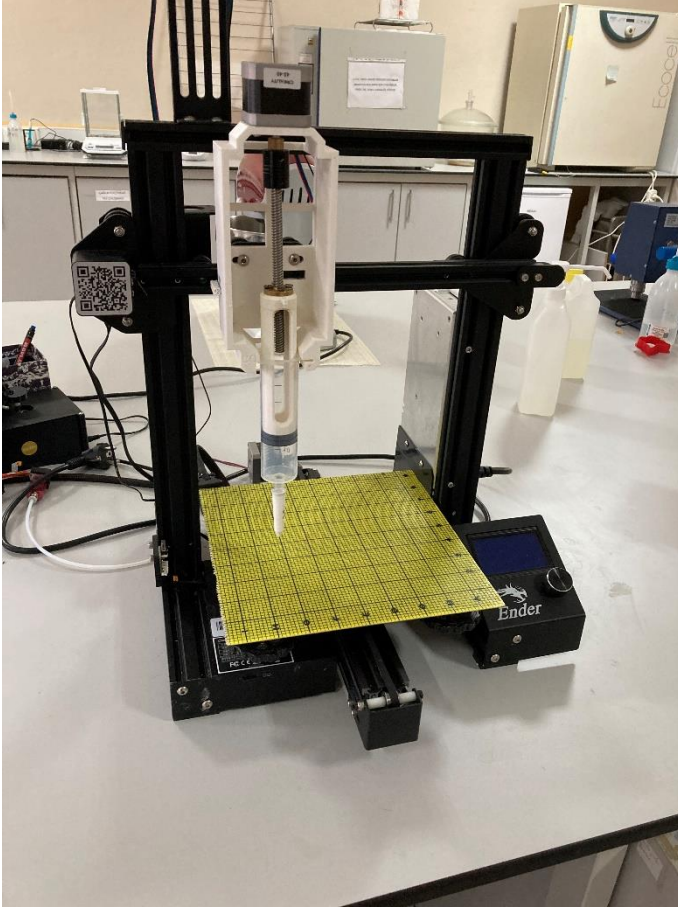
3.2.3. Reolojik Analizler

Püre örneklerinin reolojik analizleri ise Raei vd. (2018) ve Ronkart vd. (2010) çalışmalarından uyarlanarak TA DHR Controlled Stress Rheometer ile yapılmıştır. Öncelikle örneklerin doğrusal viskoelastik bölgeleri 1 Hz frekans değerinde 0,1 ve 10 Pa arasında değişecek şekilde depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') değerlerinin belirlenmesi ile yapılmıştır. Doğrusal viskoelastik bölge içerisindeki 1 Pa değerinde ise 0,1 ve 100 Hz değerleri arasında frekans taraması yapılarak G' ve G'' değerlerinin frekans ile nasıl değiştikleri belirlenmiştir.

3.3. 3BGY İşlemi

3.3.1. Üç Boyutlu Gıda Yazıcısı

3BGY işlemi Creality Ender 3 Pro (Creality, Çin) marka yazıcı üzerinde yapılan değişiklikler ile gıda yazmaya uygun hale getirilen modeli ile yapılmıştır (Şekil 1). Yapılan değişiklikler sonucunda 50 mL şırınga içerisine doldurulan gıda örneklerinin bir step motora bağlı sonsuz bir vida ile hareket ettirilebilen piston tarafından basılabilmesi sağlanmıştır. Şırınga ucuna yine üç boyutlu bir yazıcı ile hazırlanmış 1,5 mm çapa sahip nozul eklenmiştir.



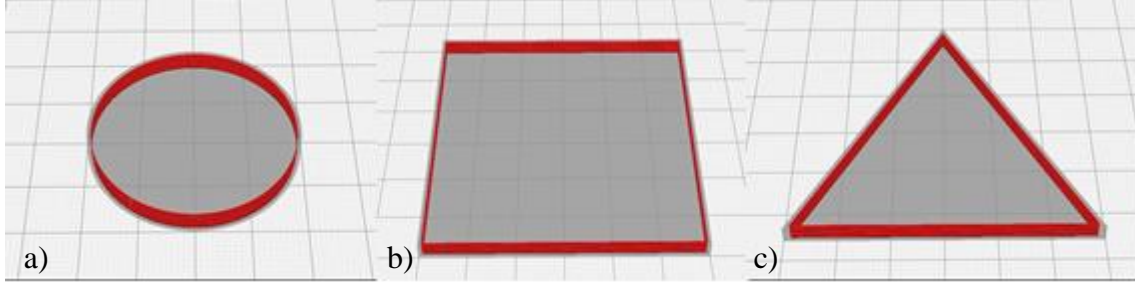
Şekil 1. 3 boyutlu gıda yazıcısı

Baskı yapılacak yüzey (22 cm x 22 cm) gıda ile temasa uygun yıkanabilir silikon malzemedan hazırlanmıştır ve gerektiğinde 110°C sıcaklığa kadar ısıtılabilme özelliğine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Gıda örneklerinden hazırlanacak temel geometrik şekillerin tasarımı 3D Builder (Windows, ABD) ile yapılmıştır. Basım işlemi için gerekli ayarların yapılması ve basım kodlarının oluşturulması Cura v 4.9.0. (Ultimaker, ABD) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.2. Akış Hızı ve Pirinç Unu Oranının Temel Şekillerin Basılması Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3BGY işlemi sırasında yazıcı tarafından yapılan düz, eğik ve keskin dönüşlerden oluşan hareketler sonucunda oluşan çizgi kalınlığı ve temel geometrik şekillerin boyutları

üzerindeki etkileri farklı akış hızı ve pirinç oranı içeren örnekler kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 1,5 mm kalınlığında tek bir çizgiden oluşan daire (40 mm çap), kare (60 mm kenar uzunluğu) ve üçgen (60 mm taban uzunluğu ve 51,96 mm yükseklik) şekilleri basılmıştır (Şekil 2). Her bir temel geometrik şekil 3,6 mm yüksekliğinde olup 0,6 mm katman kalınlığına sahip 6 kattan oluşturulmuştur.



Şekil 2. Akış hızı ve pirinç unu oranının baskı kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için kullanılan temel şekiller: a) daire (40 mm çap), b) kare (60 mm kenar uzunluğu), c) üçgen (60 mm taban uzunluğu ve 51,96 mm yükseklik)

Akış hızının etkisinin belirlenebilmesi için yapılan ön denemelerden sonra Cura v 4.9.0. (Ultimaker, USA) yazılımı üzerinde %5 ve 15 olarak belirlenen iki değer seçilmiştir. 3BGY işlemi sırasında kullanılmış diğer ayarlar ise şu şekilde belirlenmiştir: baskı hızı = 30 mm/s, duvar sayısı = 1, doluluk oranı = %0, baskı yüzeyi sıcaklığı = 65°C. 3BGY işlemi bittikten sonra çizgi kalınlıkları, daire şekli için çap, kare için kenar uzunluğu ve üçgen için taban uzunluğu değerleri dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler ve bilgisayar modelleri üzerinde belirtilen değerler arasındaki fark yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Liu ve Ciftçi (2021) çalışmasından uyarlanan ve Tablo 2’de belirtilen puanlama sistemine göre baskı kalitesi belirlenmiştir.

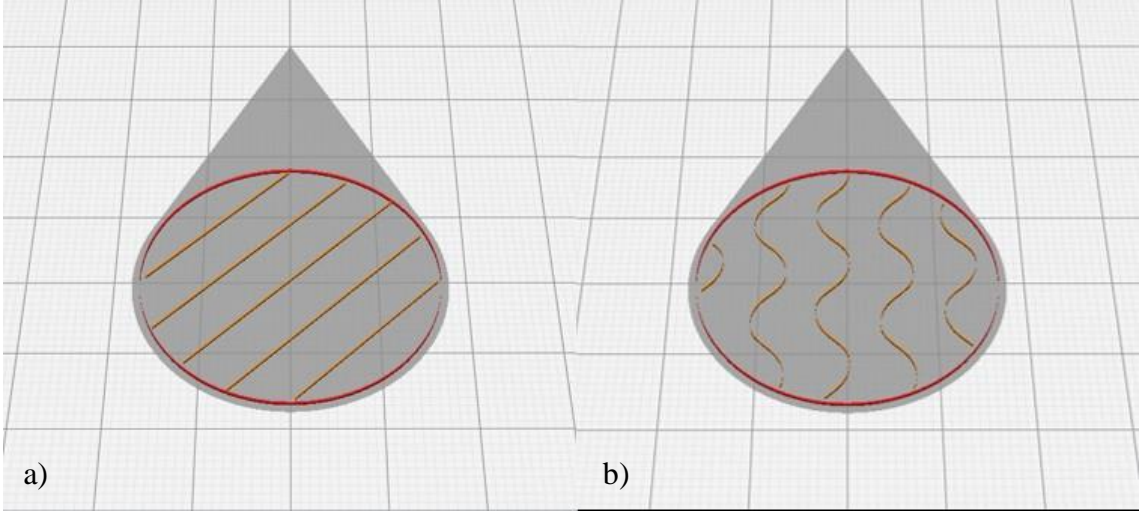
Tablo 2

Baskı kalitesini belirlemek için kullanılan puanlama sistemi

Baskı Kalitesi Puanı	Koşul
5	Basılan örnek ve bilgisayar modeli arasında boyut farkı %2'den az ve basılan örnek ile model birebir aynı görünümde ise
4	Basılan örnek ve bilgisayar modeli arasında boyut farkı %2 ile 5 arasında ve basılan örnekte eğrilikler ve yamukluklar varsa
3	Basılan örnek ve bilgisayar modeli arasında boyut farkı %5 ile 15 arasında ve basılan örnekte kopmalar ve boşluklar varsa
2	Basılan örnek ve bilgisayar modeli arasında boyut farkı %15'ten fazla ve basılan örnekte eğrilikler, yamukluklar, kopmalar ve boşluklar varsa
1	Basılan örnek kendi ağırlığını taşıyamayıp çökmüş veya tamamen yayılmış ise

3.3.3. Doluluk ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Tek çizgiden oluşan temel geometrik şekiller dışında iç yapısının dolu olması gereken şekillerin basılması sırasında doluluk oranının ve pirinç unu oranının baskı kalitesi üzerine etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla taban çapı ve yüksekliği 36 mm olan koni şekli seçilmiştir. Doluluk oranı olarak %25, 50, 75 ve 100 değerleri seçilmiştir. Diğer yazıcı değerleri şu şekilde ayarlanmıştır: akış hızı = %5, baskı hızı = 30 mm/s, duvar sayısı = 1, çizgi kalınlığı 1,5 mm, en alt ve en üst katman sayısı = 0, baskı deseni düz çizgi ve baskı yüzeyi sıcaklığı = 65°C. Baskı sonrası örneklerin baskı kalitesinin değerlendirilmesi Bölüm 3.3.2.'de açıklandığı şekilde yapılmıştır. Baskı deseni dalgalı olacak şekilde deneyler ayrıca tekrarlanmıştır. Koni şekline ait baskı desenlerinin gösterimi Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. Koni şeklinin basılması sırasında uygulanan a) düz baskı deseni ve b) dalgalı baskı deseni

3.3.4. Baskı Yüzeyi Sıcaklığı ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3BGY işlemi için farklı baskı yüzeyi sıcaklıklarında ve pirinç unu oranlarında basma işlemleri yapılmıştır. 75 ve 85°C değerleri baskı yüzeyi sıcaklıkları olarak seçilmiştir. Baskı şekilleri olarak Bölüm 3.3.3.'te açıklanan koni şekli dışında Şekil 4.'te gösterilen kompleks yapıya sahip ev şeklinin basımı da yapılmıştır. Ev şeklinin genişliği 55,73 mm iken tabanı ve en yüksek noktası arasında 12 mm mesafe olacak şekilde ayarlanmıştır. Baskı işlemi için yazıcı değerleri şu şekilde ayarlanmıştır: akış hızı = %5, baskı hızı = 30 mm/s, duvar sayısı = 1, çizgi kalınlığı 1,5 mm, en alt ve en üst katman sayısı = 0, baskı deseni düz çizgi ve doluluk oranı = %100. Baskı sonrası örneklerin baskı kalitesinin değerlendirilmesi Bölüm 3.3.2.'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4. Ev şekli (genişlik ve uzunluk 55,73 mm, en yüksek nokta 12 mm)

3.3.5. Kabak Püresine Uygulanan İşlemlerin ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3BGY işlemi öncesinde Bölüm 3.2.'ye göre hazırlanan örnekler -18°C 'de dondurularak 48 saat bekletilmiştir. Baskı öncesi 4°C 'de çözdürülen örneklerden koni şeklinin basılması için yazıcı değerleri şu şekilde ayarlanmıştır: akış hızı = %5, baskı hızı = 30 mm/s, duvar sayısı = 1, çizgi kalınlığı 1,5 mm, en alt ve en üst katman sayısı = 0, baskı deseni düz çizgi ve doluluk oranı = %100. Basılan örnekler 170°C sıcaklıktaki fırın içerisinde 20 dk tutularak ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonunda örneklerin iç sıcaklıkları yaklaşık 70°C 'ye ulaşmıştır. Baskı sonrası örneklerin baskı kalitesinin değerlendirilmesi Bölüm 3.3.2.'de açıklandığı şekilde yapılmıştır. Pürelere uygulanan dondurup çözdürme işleminin etkilerini yorumlayabilmek için aynı yazıcı değerleri ile taze hazırlanmış örneklerin basımı da yapılmıştır.

3.4. İstatistiksel Analizler

Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri Minitab v13.0 (Statsoft, ABD) paket programı ile yapılmıştır. Bölüm 3.3.2 için akış hızı ve pirinç oranı etkilerinin kalınlık,

ap/genişlik ve yükseklik değerleri üzerindeki etkileri çift yönlü varyans analizi (two-way ANOVA) belirlenmiştir. Ölçülen ortalama değerler arasında istatistiki açıdan önemli farkların ($p<0,05$) değerlendirilmeleri ise Tukey testi ile yapılmıştır. Bölüm 3.3.3., Bölüm 3.3.4 ve Bölüm 3.3.5 için de sırasıyla doluluk oranı ve pirinç unu oranı, baskı yüzeyi sıcaklığı ve pirinç unu oranı ve püre ön işlemi ile pirinç unu oranı etkileri yine aynı istatistiki yöntemler ile belirlenmiştir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kabak Püresinin Üç Boyutlu Yazma İşlemi Açısından Değerlendirilmeleri

Kabak püresi ve pirinç unu içeren örneklere ait nem ve su salma değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Sebze püresi hazırlığında kullanılan pirinç unu oranı arttıkça yapıdaki kuru madde miktarının artması ile nem değeri istatistiki olarak ($p<0,05$) önemli ölçüde azalmıştır. Pirinç unu oranının artması ile nem değerlerine benzer olarak su salma değerlerinde de düşüş ölçülmüştür. Anukiruthika vd. (2020) 3BGY işlemi için hazırladığı yumurta sarısı ve pirinç unu karışımında artan pirinç unu oranı ile su tutma kapasitesinde artış belirlemiştir. Lapčíková vd. (2021) küçük parçacık boyutuna ve göreceli olarak yüksek protein ve karbonhidrat değerlerine sahip pirinç unlarının su tutma kapasitelerinin yüksek olduğunu bildirmektedir.

Tablo 3

Kabak pürelerine ait nem ve su salma değerleri

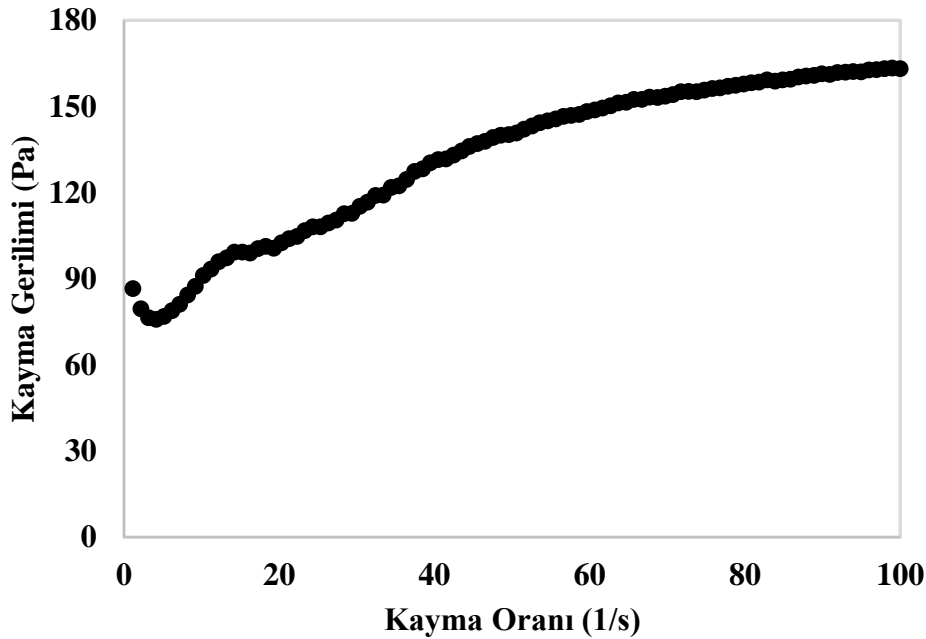
Örnek	Nem Değeri (% yaş temelinde)	3000 devir/dk	9000 devir/dk
		Santrifüj Sonrası Su Salma (%)	Santrifüj Sonrası Su Salma (%)
KP-50	68,74 ± 0,16 ^c	16,26 ± 0,77 ^c	37,32 ± 0,02 ^c
KP-30	79,84 ± 1,22 ^b	29,43 ± 0,37 ^b	51,59 ± 0,88 ^b
KP-10	88,29 ± 0,01 ^a	45,70 ± 0,26 ^a	67,42 ± 0,43 ^a

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p<0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

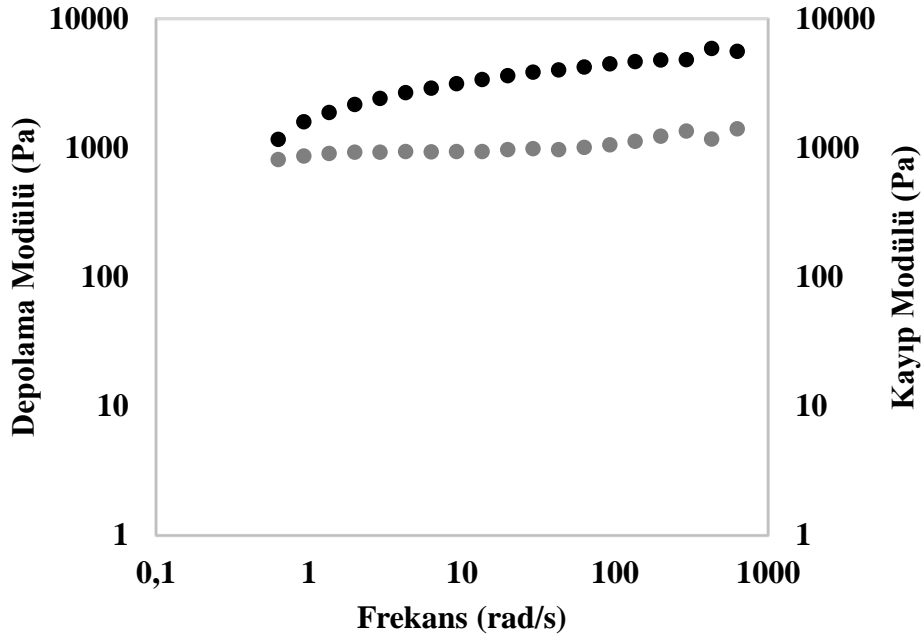
Yapılan ön denemelerde en yüksek pirinç oranına sahip örneğin akış tipinin ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi ile 3BGY işlemi için uygun özelliklere (viskozitenin artan kayma oranı ile azalması ve jel benzeri yapı) sahip olup olmadığı belirlenmiştir. KP-50 örneklerin akışkan tipinin belirlenebilmesi için yapılan reolojik ölçümler sonucu elde edilen kayma gerilimi ve kayma oranı değerleri Şekil 5-'te verilmektedir. Elde edilen

değerlerin Newtonumsu, Power-law, Bingham plastik ve Herschel-Bulkey modellerine uyarlanması ile KP-50 örneğinin Herschel-Bulkey tipi bir akışkan olduğu anlaşılmıştır (Herschel-Bulkey modeli için $R^2 = 0,9915$). Bu sonuca göre akış indeksi değeri $0,46 \pm 0,06$, kıvam katsayısı değeri $15,92 \pm 4,65 \text{ Pa.s}^n$ ve akma gerilmesi değeri $45,09 \pm 7,79 \text{ Pa}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 6-’da ise doğrusal viskoelastik bölge içerisinde frekans taraması sonucu örneklerin depolama ve kayıp modüllerinin nasıl değiştiği gösterilmektedir. Depolama modülü değerlerinin kayıp modüllerinden daha yüksek olması hazırlanan örneğin jel benzeri bir yapıda olduğuna işaret etmektedir.

KP-50 örneklerinin artan kayma oranı ile viskozitesinin azalması, belirli bir akma gerilmesi değerine sahip olması ve jel benzeri bir yapıya sahip olması üç boyutlu yazma işlemi için uygun özellikler taşıdığına işaret etmektedir. Ancak oda sıcaklığındaki örneğin yine oda sıcaklığındaki baskı yüzeyi üzerine yapılan üç boyutlu yazma işlemleri sonucunda elde edilen şekillerin başarılı sonuç veremediği yapılan ön denemeler ile anlaşılmıştır (Şekil 7). Örneğin genel olarak basma işleminden sonra şeklini koruyamadığı ve artan katman sayısı ile kendi ağırlığını taşıyamadığı görülmüştür.



Şekil 5. KP-50 örneğinin 25°C’de ölçülen kayma gerilimi ve kayma oranı değerleri



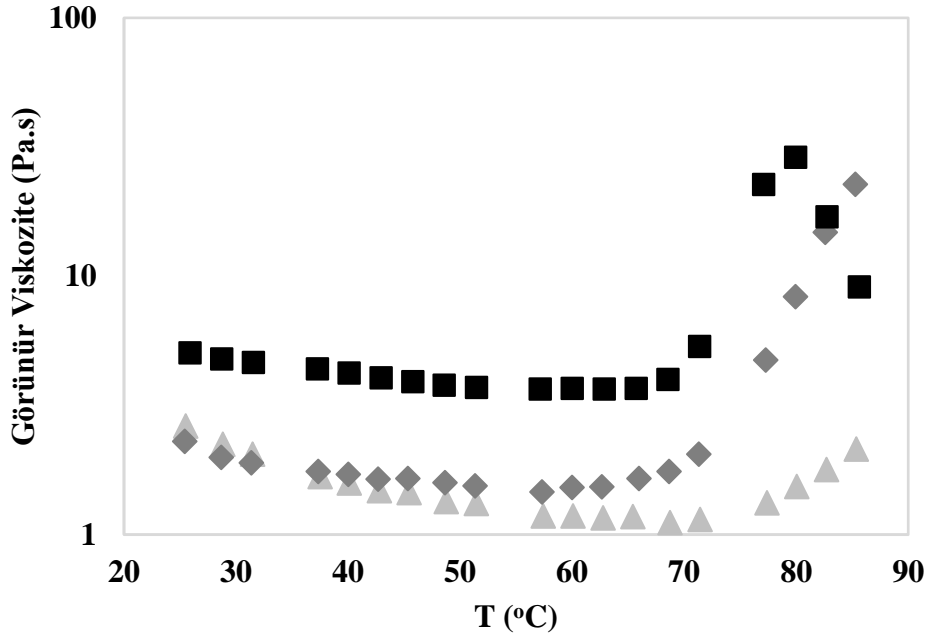
Şekil 6. KP-50 örneğinin 25°C’de ölçülen depolama ve kayıp modülü değerleri (siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)



Şekil 7. Oda sıcaklığındaki KP-50 örneğinin oda sıcaklığındaki baskı yüzeyi üzerine yapılan üç boyutlu yazma işlemi denemeleri

Oyinloye ve Yoon (2022) değişen nem içeriklerine (%49,68 ve 74,05 arasında) sahip pirinç unu ve su karışımlarından oluşan örneklerin jelleşme başlangıç sıcaklıklarının 48,6 ve 59,7°C arasında değiştiğini bildirmektedir. Aynı örneklerin kullanıldığı 3BGY işlemleri sırasında ise ortam sıcaklığının 51,56°C olması halinde basılan şekillerin yüzey bölgesinde yer alan nişastanın jelatinize olduğu ve baskı kalitesinin iyileştiği gösterilmiştir. Bu nedenle 3BGY işlemi için kullanılacak KP-50, KP-30 ve KP-10 örneklerinin oda sıcaklığı üzerindeki değerlerde viskozite ve depolama modülü ile kayıp modülü

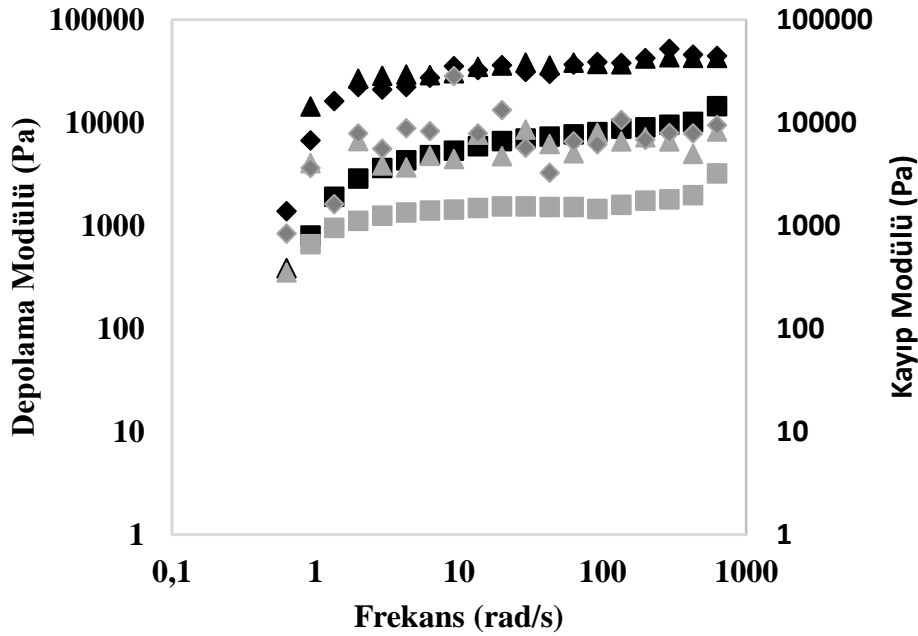
değerlerindeki değişimler belirlenmiştir. Şekil 8-'de sıcaklığın 65°C'yi geçmesinden sonra KP-50 ve KP-30 örneklerinin görünür viskozite değerinde artışın başladığı görülmektedir. KP-50 için 80°C'den sonra viskozitede görülen azalmanın ise nişastanın jelleşmesi sonrasında oluşan yapının viskozite ölçümlerinde kullanılan düzenek içerisinde yarattığı düzensizlikten olduğu düşünülmektedir. KP-10 örneğindeki göreceli olarak düşük pirinç unu oranı nedeni ile görünür viskozite değerleri diğer örneklerden daha düşük seviyede olmakla birlikte 70°C'ye kadar da düşüş eğilimi göstermektedir. Bu noktadan sonra yapıda bulunan pirinç unundaki jelleşme ile diğer örneklere benzer şekilde görünür viskozite değerinde artış görülmektedir.



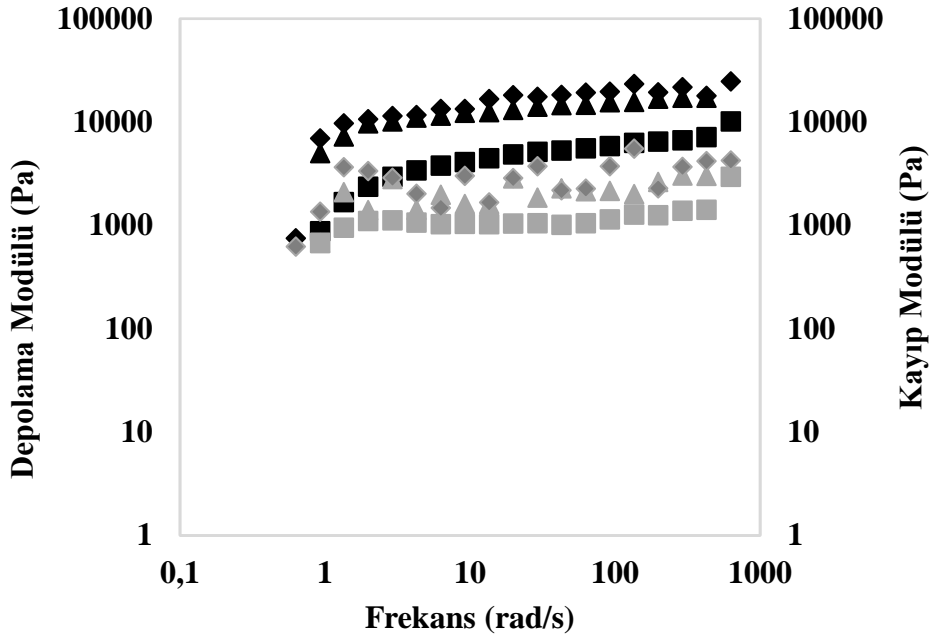
Şekil 8. Kabak püresi örneklerinin farklı sıcaklıklardaki görünür viskozite (kayma oranı 50 1/s) değerleri (kare: KP-50, elmas: KP-30, üçgen: KP-10)

Şekil 9'da verilen depolama ve kayıp modülü değerleri 65, 75 ve 85°C'deki KP-50 örneğine aittir. Oda sıcaklığındaki örneğin yapısına benzer şekilde jel yapılarının oluştuğu depolama ve kayıp modülleri arasındaki ilişkilerden anlaşılmıştır. Özellikle 75 ve 85°C'deki örneklere ait modül değerlerinin oda sıcaklığındaki değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. KP-30 ve KP-10 örneklerinin artan sıcaklık değerlerinde benzer reolojik davranışlar gösterdiği de Şekil 10 ve Şekil 11'de verilen değerlerden

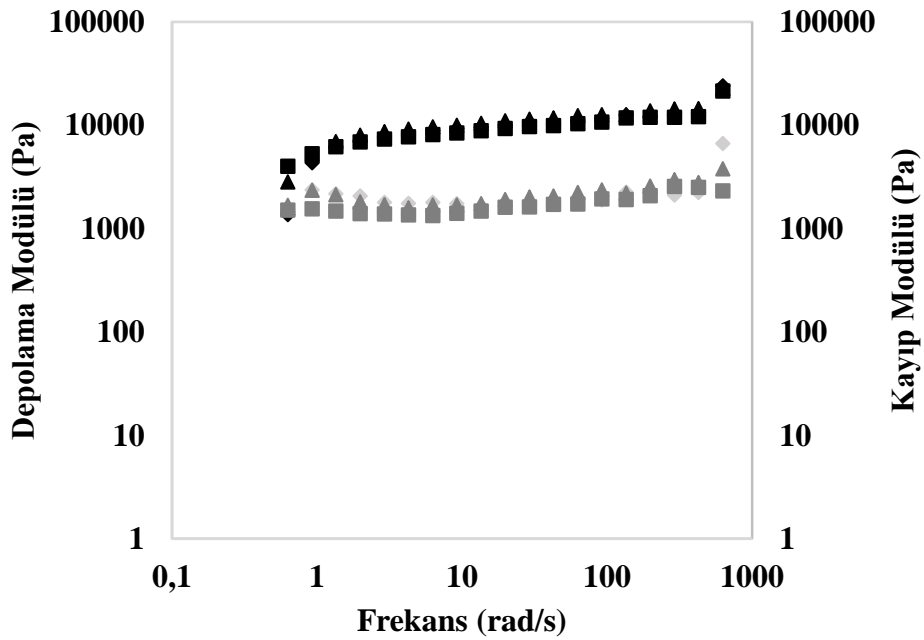
belirlenmiştir. KP-50 örneğine göre daha az pirinç unu içeren KP-30 ve KP-10 örneklerinin modül değerlerinin daha düşük olduğu da görülmüştür. Azalan pirinç unu ile örnek yapısındaki jelleşebilecek nişasta oranının da azaldığı ve reolojik özelliklerde farklılıkların ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Kim vd. (2019) buğday unundan hazırlanan hamurların depolama ve kayıp modül değerlerinin 85 °C civarında artış göstermesinin un yapısındaki nişastanın jelatinize olmasını neden göstermiş ve 120 °C üzerine gözlenen azalmanın nişasta granüllerindeki amilozun yapıdan sızması nedeni ile olabileceğini öne sürmüştür. Hamur yapısına eklenen ksantan gamin artan konsantrasyon değeri ile depolama ve kayıp modülü değerlerinin de arttığını bildirmişlerdir.



Şekil 9. KP-50 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85°C, üçgen: 75°C, kare: 65°C; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)



Şekil 10. KP-30 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85°C, üçgen: 75°C, kare: 65°C; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)



Şekil 11. KP-10 örneğinin farklı sıcaklıklardaki depolama ve kayıp modülü değerleri (elmas: 85°C, üçgen: 75°C, kare: 65°C; siyah renk: depolama modülü, gri renk: kayıp modülü)

3BGY işleminde kullanılacak örneklerin istenilen baskı kalitesine sahip olabilmeleri için yapılarındaki nişastanın jelleşmeye uğraması gerektiği yapılan reolojik ölçümlerden anlaşılmıştır. Örneklerin hazırlanmasından sonra 65°C ve üstü sıcaklıklara ısıtılıp sonra şırınga içerisinden basılmaları ise artan reolojik özelliklerin getireceği yüksek motor gücü ve olası akış problemlerinden dolayı pratik bir işlem olarak görülmemiştir. Alternatif olarak örneklerin basılacağı yüzeyin ısıtılması ile ilk katmanlarda nişasta jelleşmesinin sağlanabileceği ve baskı kalitesinin iyileşebileceği ön görülmüştür. Aşağıdaki bölümlerde baskı yüzeyinin 65°C'ye ısıtılması ile denemeler yapılmış ve sonrasında baskı yüzeyi sıcaklığının etkileri incelenmiştir.

4.2. Akış Hızı ve Pirinç Unu Oranının Temel Şekillerin Basılması Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3BGY işlemleri için kullanılan Cura v 4.9.0. (Ultimaker, ABD) yazılımı ile akış hızı olarak şırınga içerisinden ne kadarlık bir örneğin ne kadarlık bir sürede çıkarılabileceği ayarlanabilmektedir. Ancak yazılım üzerinde bu değer sayısal olarak %5 ve üzerinde olacak şekilde ayarlanabilmekte kütleli veya hacimsel akış hızı olarak bir değer belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Yapılan ön denemelerde farklı şekillerin basılması sonrasında yapılan ağırlık ve süre ölçümleri ile KP-50 örneğinin %5 akış hızı değerinde 14,83 g/s, KP-30 örneğinin 14,50 g/s ve KP-10 örneğinin 14,06 g/s kütleli akış hızlarına sahip oldukları belirlenmiştir.

Tablo 4, 5 ve 6'da akış hızı ve pirinç oranı değerinin temel geometrik şekillerin boyutları üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Her üç şekil için de pirinç unu oranı ve akış hızı çizgi kalınlığı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki ($p < 0,05$) göstermiştir. Tüm değişkenler içerisinde ise olması gereken çizgi kalınlığına (1,5 mm) en yakın sonucu KP-50 örneğinin % 5 akış hızında basılması ile ulaşılmıştır. % 15 akış hızının her üç pirinç oranı için olması gereken çizgi kalınlığının oldukça üzerinde değerlerde çizgi oluşturduğu ölçülmüştür. Benzer şekilde kare ve üçgen şekilleri için de çizgi kalınlığı açısından aynı sonuçlar gözlemlenmiştir. Çember ve kare şekillerinin çap ve genişlik değerleri üzerinde hem pirinç unu oranı hem de akış hızı istatistiksel olarak önemli etki ($p < 0,05$) göstermiştir.

Üçgen şeklinin genişliği ise akış hızından önemli ölçüde ($p > 0,05$) etkilenmemiştir. Tüm şekillerin yükseklik değerleri ise pirinç unu oranı ve akış hızına göre önemli farklar ($p > 0,05$) göstermemiştir. Genel olarak ise KP-10 örnekleri dışında çember şekli için akış hızı %5'ten %15'e çıkarıldığında çap ve yükseklikte artış gözlemlenirken kare şeklinin akış hızı %5'ten %15'e çıkarıldığında genişlikte çok küçük bir oranda azalma ve yükseklikte artış gözlemlenmiştir. Üçgen şeklinin artış hızı %5'ten %15'e çıkarıldığında ise hem çap hem de genişlikte artış görülmüştür. KP-10 örneği diğer örneklere göre akış hızının artmasıyla şekillerin boyutlarında daha yüksek oranda değişimler göstermiştir. Derossi vd. (2020) çalışmasında 70 mm/s'den 200 mm/s yazma hızı değerleri arasında yapılan yazma işlemleri için artan yazma hızına karşılık akış hızı değerinin de artırılması gerektiğini belirtmektedir. Aksi durumlarda yüksek hızlı yazma hareketleri sırasında yeterli malzemenin şırıngadan çıkışının sağlanamadığı ve basılan şekillerin kalitesinin düştüğü bildirilmiştir. Yumurta akı proteini, nişasta, jelatin ve şeker içeren formülasyondan oluşan örneklerin basımında 70 mm/s yazma hızına karşılık 0,004 cm³/s hacimsel akış hızı ile baskı kalitesi yüksek şekiller elde edilirken (Liu vd., 2019) yine yumurta akı proteini içeren örneklerden istenilen boyutlarda şekil elde edilmesi 10-13,33 mm/s yazma hızı aralığında 0,005 cm³/s baskı hızı ile sağlanabilmiştir (Anukiruthika vd., 2020).

Tablo 4

Çember şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri

Akış Hızı (%)	Pirinç Unu (%)	Çizgi Kalınlığı (mm)	Çap (mm)	Yükseklik (mm)
5	10	3,80 ± 0,54 ^{bc}	41,76 ± 0,05 ^b	3,06 ± 0,33 ^a
	30	2,24 ± 0,93 ^c	37,62 ± 0,31 ^c	3,32 ± 0,31 ^a
	50	1,86 ± 0,34 ^c	38,22 ± 0,90 ^c	3,40 ± 0,49 ^a
15	10	12,22 ± 0,29 ^a	48,47 ± 2,22 ^a	4,12 ± 0,40 ^a
	30	4,65 ± 0,87 ^b	38,42 ± 0,71 ^c	3,54 ± 0,33 ^a
	50	5,03 ± 0,80 ^b	39,31 ± 1,16 ^{bc}	3,73 ± 0,33 ^a

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Tablo 5

Kare şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri

Akış Hızı (%)	Pirinç Unu (%)	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
5	10	4,37 ± 0,14 ^b	61,64 ± 0,16 ^b	3,64 ± 0,03 ^a
	30	3,13 ± 0,82 ^{bc}	58,54 ± 1,40 ^c	3,22 ± 0,11 ^a
	50	2,19 ± 0,48 ^c	58,45 ± 0,50 ^c	3,45 ± 0,23 ^a
15	10	14,13 ± 0,43 ^a	71,70 ± 0,57 ^a	3,86 ± 0,15 ^a
	30	4,39 ± 0,86 ^b	57,92 ± 0,95 ^c	3,65 ± 0,46 ^a
	50	4,39 ± 0,99 ^b	58,01 ± 0,72 ^c	3,48 ± 0,31 ^a

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Tablo 6

Üçgen şekli boyutları üzerinde akış hızı ve pirinç unu oranının etkileri

Akış Hızı (%)	Pirinç Unu (%)	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
5	10	4,29 ± 0,04 ^{bc}	57,46 ± 1,07 ^{ab}	3,39 ± 0,60 ^{ab}
	30	2,73 ± 0,58 ^{cd}	49,40 ± 3,44 ^b	3,39 ± 0,04 ^{ab}
	50	2,27 ± 0,27 ^d	49,82 ± 4,53 ^b	3,60 ± 0,59 ^{ab}
15	10	11,80 ± 2,25 ^a	64,14 ± 1,99 ^a	5,00 ± 0,45 ^a
	30	5,54 ± 0,22 ^b	50,37 ± 4,28 ^b	3,32 ± 0,08 ^b
	50	5,42 ± 0,31 ^b	49,30 ± 3,24 ^b	3,63 ± 0,28 ^{ab}

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

4.3. Doluluk ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Tablo 7 ve 8’de düz ve dalgalı desen kullanılarak farklı doluluk oranlarında koni şeklinde basılmış örneklerin çap ve yükseklik değerleri verilmektedir. Düz ve dalgalı desen kullanılan örnekler için yükseklik pirinç unu oranından önemli ölçüde ($p > 0,05$) etkilenmezken çap değerleri her iki baskı deseninde de pirinç unu ve doluluk oranlarından istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) şekilde etkilenmiştir. Genel olarak azalan doluluk oranı ile çap ve yükseklik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. %75 ve 100 doluluk oranlarında çap değerlerinin olması gereken 36 mm değerinden büyük olmaları basılan örneklerin kendi ağırlıkları altında ve reolojik özelliklerine bağlı olarak ezilerek yayılma eğiliminde olduklarına işaret etmektedir. KP-10 örneğinde bu etkinin belirtileri diğer örnekler göre daha yüksek olan çap değerlerinde belirgin şekilde görülebilmektedir. %50 ve 25 doluluk oranlarında ise yükseklik değerlerindeki azalma istenilen koni şeklini oluşturamamış ve çökmüş haldeki örneklerin varlığını göstermektedir. Feng vd. (2020) çalışmasında patates yan ürünlerinden elde edilen örnekleri %20, 50 ve 80 doluluk oranlarında düz ve çapraz desenlerde basmıştır. Doluluk oranı ile üç boyutlu yazma işlemi ile elde edilebilecek örneklerin ulaşabileceği en yüksek nokta arasında doğrudan bir bağlantı olduğu bildirilmiştir. Artan doluluk oranı ile örneklerin daha yoğun bir iç yapıya ve sonrasında uygulanan pişirme işlemleri sonucunda sert bir tekstüre sahip oldukları belirlenmiştir. Tüm örneklerin ise iyi basılabilirlik özelliği ve istenilen boyutlara yakın değerlere sahip olduğu da gözlemlenmiştir. Benzer şekilde doluluk oranı ile örneklerin tekstürel özellikleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu farklı çalışmalarda da ortaya konarken (Huang vd., 2019) baskı deseninin doğrudan bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. 3BGY işlemi sonrası baskı kalitesi genellikle basılan şeklin boyutlarının bilgisayar modeli şekline ne kadar yakın olduğuna göre belirlenir. Nijdam vd. (2021) iyi bir baskı kalitesine sahip örneğin basımdan sonraki bir saat içerisinde boyutlarında en fazla %5 değişim olmasının gerektiğini belirtmektedir. Zamana bağlı olarak boyut değişimleri bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda ölçülmemiş olsa da KP-50 ve KP-30 örneklerinin iyi bir baskı kalitesine ulaşma potansiyellerinin olduğu anlaşılmıştır. Koni şeklinin boyut ölçüleri sadece taban çapı ve yüksekliğe göre alındığından olası şekil eğriliklerine ait ölçüm yapılmamıştır. Şekillerin ne kadar düzgün bir koniye benzedikleri görsel değerlendirme ile yapılarak baskı puanı metot bölümünde açıklandığı gibi yapılmıştır. Tablolar 9-14’te iki

farklı pirinç oranı içeren örnekler kullanılarak basılmış en iyi boyut değerlerine sahip koni şekillerinin üstten ve yandan görünüşleri örnek olarak verilirken basılan tüm koni şekillerinin boyutları ve görsel değerlendirilmeleri üzerinden hesaplanan baskı puanı yer almaktadır. Genel olarak tüm örneklerin tabanı olması gerektiği gibi düzgün bir çember şekline sahip olamamıştır. Yandan görünüşlere bakıldığında ise örneklerin kendi ağırlıkları altında ezilerek alt kısımlarda yayılmaların olduğu anlaşılmıştır. Yüksek baskı puanlarına genel olarak artan pirinç unu ve doluluk oranları ile ulaşılabilmektedir. KP-50 ve KP-30 örnekleri için en az %75 doluluk oranının başarılı koni şekli için gerekli olduğu görülmüştür. KP-10 örneği için %50 doluluk oranı ile de koni şekli oluşturulabilmiş olsa da boyut değerleri olması gerekenden daha fazla olduğu için baskı puanı düşük kalmıştır.

Tablo 7

Düz baskı deseni ile basılan koni şeklinin boyutları üzerinde doluluk ve pirinç unu oranının etkileri

Doluluk Oranı (%)	Pirinç Unu (%)	Çap (mm)	Yükseklik (mm)
100	10	70,70 ± 0,92 ^a	31,80 ± 0,32 ^a
	30	38,91 ± 1,61 ^e	33,77 ± 1,02 ^a
	50	37,00 ± 1,64 ^{ef}	36,11 ± 0,88 ^a
75	10	65,96 ± 1,80 ^b	30,10 ± 0,03 ^{ab}
	30	36,28 ± 2,13 ^{ef}	34,29 ± 4,30 ^a
	50	34,81 ± 0,52 ^f	34,96 ± 0,31 ^a
50	10	59,37 ± 0,47 ^c	31,11 ± 1,21 ^a
	30	35,98 ± 1,87 ^{ef}	22,56 ± 0,44 ^c
	50	34,60 ± 0,88 ^f	23,96 ± 1,92 ^{bc}
25	10	47,45 ± 0,53 ^d	19,67 ± 0,57 ^c
	30	34,07 ± 0,92 ^f	18,30 ± 3,01 ^c
	50	35,38 ± 0,74 ^f	19,77 ± 0,17 ^c

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Tablo 8


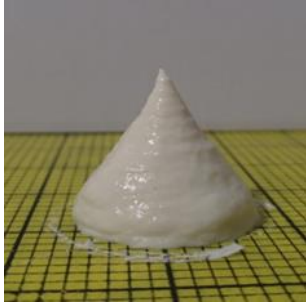



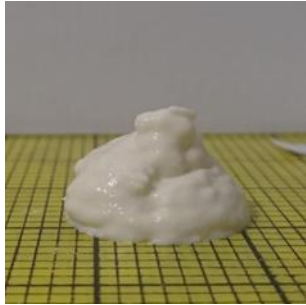

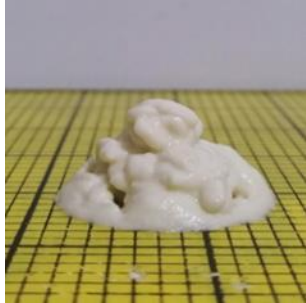
Dalgalı baskı deseni ile basılan koni şeklinin boyutları üzerinde doluluk ve pirinç unu oranının etkileri

Doluluk Oranı (%)	Pirinç Unu (%)	Çap (mm)	Yükseklik (mm)
100	10	72,74 ± 1,73 ^a	29,78 ± 1,68 ^{ab}
	30	39,44 ± 1,61 ^e	33,62 ± 0,03 ^a
	50	36,67 ± 1,42 ^{ef}	35,50 ± 0,04 ^a
75	10	67,86 ± 1,62 ^b	29,76 ± 0,18 ^{ab}
	30	37,02 ± 1,91 ^{ef}	36,52 ± 1,39 ^a
	50	35,47 ± 0,62 ^f	34,70 ± 0,76 ^a
50	10	63,47 ± 1,32 ^c	29,33 ± 0,81 ^{abc}
	30	37,11 ± 1,20 ^{ef}	22,80 ± 0,66 ^{bcd}
	50	35,41 ± 0,71 ^f	22,66 ± 1,09 ^{bcd}
25	10	54,98 ± 2,03 ^d	19,82 ± 1,07 ^d
	30	35,35 ± 0,57 ^f	20,99 ± 6,62 ^{cd}
	50	35,25 ± 0,87 ^f	22,38 ± 1,85 ^{bcd}

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

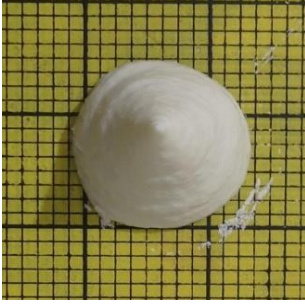
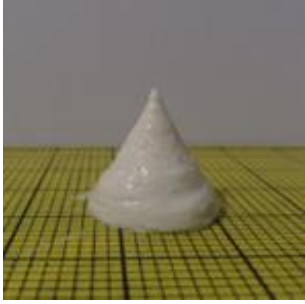

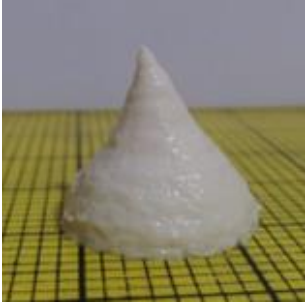

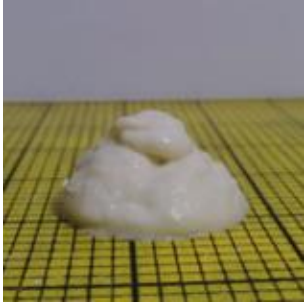


Tablo 9

Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-50 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			4,5
75			4
50			1
25			1


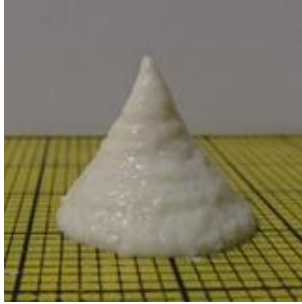
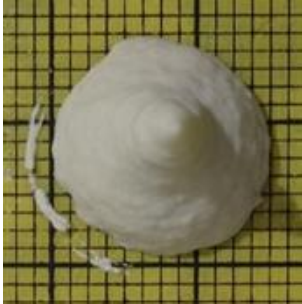

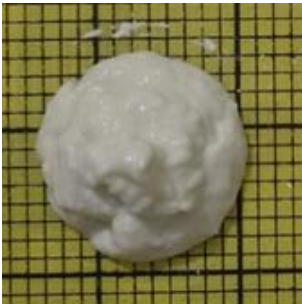


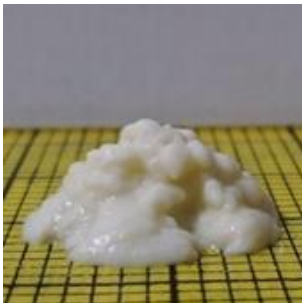
Tablo 10

Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-50 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümü ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			5
75			4,5
50			1
25			1




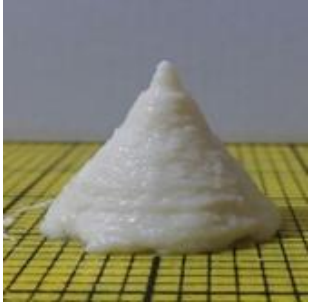



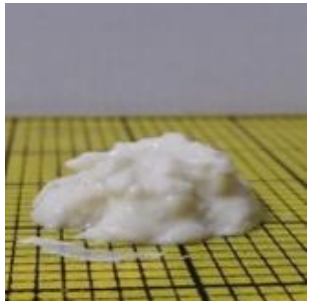
Tablo 11

Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-30 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			3
75			4,5
50			1
25			1









Tablo 12

Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-30 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümü ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			3
75			4,5
50			1
25			1









Tablo 13

Düz baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-10 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			3
75			4,5
50			2
25			1

Tablo 14

Dalgalı baskı deseni ile farklı doluluk oranlarında KP-10 örnekleri ile basılan koni şekillerinin üst ve yan görünümü ile baskı puanları

Doluluk Oranı	Basılan Şekil		Baskı Puanı
	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
100			3
75			4,5
50			2
25			1

4.4. Baskı Yüzeyi Sıcaklığının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Farklı doluluk oranının koni şekli üzerinde gösterdiği etkilerden yola çıkarak %100 doluluk oranında baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının etkilerinin belirlenebilmesi çalışmaları bu kısımda yapılmıştır. Baskı yüzeyi sıcaklıkları olarak 75 ve 85°C değerleri örneklerin reolojik özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Koni şekli dışında karmaşık detaylara sahip ev şeklinin basımı da gerçekleştirilmiştir. Tablo 15 ve 16'da sırasıyla ev ve koni şekillerinin genişlik ve yükseklik değerlerinin baskı yüzeyi sıcaklığı ve pirinç unu oranından nasıl etkilendikleri gösterilmektedir. Ev şeklinin yükseklik değeri baskı yüzeyi sıcaklığından önemli ölçüde ($p > 0,05$) etkilenmezken genişlik değeri hem pirinç unu oranı hem de baskı yüzeyi sıcaklığından önemli ölçüde ($p < 0,05$) etkilenmiştir. Koni şekli için sadece çap değeri pirinç unu oranına bağlı olarak önemli ölçüde ($p < 0,05$) değişmiştir. Baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının artması ile ev şeklinin boyutlarının olması gereken değerlere (genişlik ve uzunluk 55,73 mm, en yüksek nokta 12 mm) daha yakın sonuç elde edildiği belirlenmiştir. Koni şekli için de benzer sonuçlar gözlenmiş olmakla birlikte KP-50 dışındaki örneklerin boyutlarının olması gerekenden (36 mm çap ve 36 mm yükseklik) oldukça farklı oldukları ölçülmüştür.

Tablo 15

Baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının ev şeklinin boyutları üzerindeki etkileri

Sıcaklık (°C)	Pirinç Unu (%)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
75	10	80,39 ± 0,83 ^a	11,17 ± 0,23 ^b
	30	77,35 ± 0,04 ^{bc}	12,44 ± 0,08 ^a
	50	56,51 ± 1,23 ^d	12,08 ± 0,65 ^{ab}
85	10	79,09 ± 0,54 ^{ab}	11,84 ± 0,18 ^{ab}
	30	76,41 ± 0,25 ^{cd}	12,94 ± 0,01 ^a
	50	56,46 ± 0,83 ^d	11,97 ± 0,07 ^{ab}

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Tablo 16

Baskı yüzeyi sıcaklığının ve pirinç unu oranının koni şeklinin boyutları üzerindeki etkileri







Sıcaklık (°C)	Pirinç Unu (%)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
75	10	71,41 ± 1,46 ^a	31,03 ± 1,28 ^a
	30	55,43 ± 0,39 ^b	29,46 ± 5,71 ^a
	50	35,41 ± 1,25 ^c	35,49 ± 1,22 ^a
85	10	67,49 ± 1,33 ^a	30,75 ± 0,44 ^a
	30	55,93 ± 0,98 ^b	32,32 ± 0,39 ^a
	50	36,29 ± 2,32 ^c	36,00 ± 0,47 ^a

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Tablo 17-20’de basılan şekillerin üstten ve yandan görünüşleri ile baskı puanları verilmektedir. Ev şeklinde 85°C baskı yüzeyi sıcaklığında kapı ve pencere detaylarındaki açıklıkların daha belirgin olduğu 75°C baskı yüzeyi sıcaklığında bu açıklıkların korunmadığı belirlenmiştir. Koni şeklinde daha önceki gözlemlere benzer şekilde tabanda dairesellikten sapma ve alt katmanlarda ağırlık etkisiyle yayılmaların olduğu görülmüştür. Her ne kadar baskı yüzeyi sıcaklığı 75 veya 85°C’ye ayarlansa da basılan şekillerin üst katmanlarının baskı yüzeyi sıcaklığından daha düşük değerlerde kalmasından dolayı şekil bozukluklarının arttığı gözlenmiştir. Daha iyi baskı sonuçları için genel olarak KP-50 örneğinin 85°C’lik baskı yüzeyinde kullanılması gerektiği sonucu elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Jel yapısına sahip olan veya sıcaklık değişimi ile kontrollü bir şekilde jel yapısına sahip olması sağlanan gıdalar ile baskı kalitesinin artabileceği farklı hidrokolloid karışımlarından oluşan örneklerin 40°C (Kamlow vd., 2021), patates nişastası ve pektin karışımlarının 50°C (Wedamulla vd., 2023), mısır nişastası ve ksantan gam gibi hidrokolloid karışımlarının 15°C (Herrada-Manchón vd., 2020) ve çikolata örneklerinin 15-22°C (Mantihal vd., 2017) sıcaklığındaki baskı yüzeylerine yazılmaları ile gösterilmiştir.







Tablo 17

85°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının ev şekillerinin üst ve yan görünüşleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Baskı Yüzeyi Sıcaklığı (°C)	Pirinç Unu Oranı (%)	Basılan Şekil		Baskı Puanı
		Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
	10			1
85	30			2
	50			4







Tablo 18

75°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının ev şekillerinin üst ve yan görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Baskı Yüzeyi Sıcaklığı (°C)	Pirinç Unu Oranı (%)	Basılan Şekil		Baskı Puanı
		Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
75	10			1
	30			2
	50			4





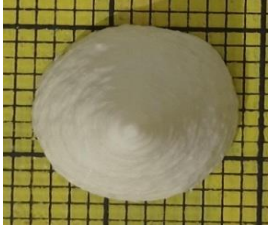
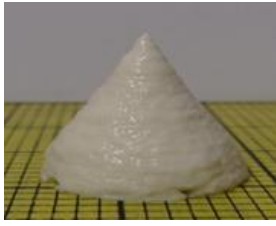
Tablo 19

85°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının koni şekillerinin üst ve yan görünüşleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Baskı Yüzeyi Sıcaklığı (°C)	Pirinç Unu Oranı (%)	Basılan Şekil		Baskı Puanı
		Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	
85	10			3
	30			4
	50			3

Tablo 20

75°C baskı yüzeyi sıcaklığında pirinç unu oranının koni şekillerinin üst ve yan görünüşleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Temperature (°C)	Rice Flour Ratio (%)	Top View	Side View	Print Score
75	10			3
	30			4
	50			4

4.5. Kabak Püresine Uygulanan İşlemlerin ve Pirinç Unu Oranının Baskı Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

3BGY işleminin yaygınlaşması ve tüketicilerin pratik olarak kullanmaya başlaması durumlarında hazırlanan gıdaların hemen basılmayıp dondurulması ve sonrasında çözdürülerek tekrar kullanımı gibi durumlarda baskı kalitesinde nasıl değişikliklerin olduğunun belirlenmesi için çalışmalar bu kısım altında yapılmıştır. Önceki kısımların sonuçlarına göre basım için koni şekli seçilirken doluluk oranı %100 ve baskı yüzeyi sıcaklığı 85°C olarak ayarlanmıştır. Farklı pirinç unu oranı içeren örneklerin basımı hazırlık sonrası hemen yapıldığı (bu örnekler taze örnek olarak adlandırılmıştır) gibi aynı örneklerin -18°C'de dondurulup çözdürülmesinden sonra tekrar basımları da yapılmıştır. Pirinç unu oranı ve dondurup çözdürme işlemi koni örneğinin çap değerleri üzerinde önemli etkisi ($p < 0,05$) bulunmuştur (Tablo 21). KP-50 örneği diğerlerinden daha küçük çap değerleri sağlarken taze örnekler dondurulup çözdürülmüş örneklerden (KP-50 hariç) daha düşük boyutlarda örnek oluşturmuştur. Dondurup çözdürme işlemi sonrasında örneklerin yapılarındaki olası değişikliklerin bu sonuca neden olduğu düşünülmektedir. Özellikle dondurup çözdürme işlemi ile yapının zayıflayarak daha çok su salmaya neden olduğu (KP-50 örneği 3000 devir/dk için $30,12 \pm 0,31$ ve 9000 devir/dk için $41,59 \pm 0,65$, KP-30 örneği 3000 devir/dk için $42,43 \pm 0,48$ ve 9000 devir/dk için $55,62 \pm 0,54$, KP-10 örneği 3000 devir/dk için $52,77 \pm 0,67$ ve 9000 devir/dk için $68,16 \pm 0,56$) bunun da basılan örneklerin daha fazla yayılmasına neden olduğu söylenebilir. 3BGY işlemi için hazırlanan örneklerde çiğ pirinç unu kullanılmış olması ve basım öncesi veya sırasında klasik anlamda pişirme işlemi uygulanmamış olması gıda güvenliği açısından risk oluşturabileceğinden basım sonrası örneklerin 170°C'de pişirilerek iç sıcaklıklarının 71°C'ye ulaşması sağlanmıştır. Bu işlemde sonra örneklerin boyutlarındaki yüzde değişim oranı hesaplanmıştır. Bu değişim oranı üzerinde pirinç unu oranı önemli etki ($p > 0,05$) göstermezken dondurup çözdürme işlemi boyut değerlerini önemli ölçüde ($p < 0,05$) etkilemiştir. Taze örneklerin pişirilmesi ile elde edilen şekillerdeki değişim oranı pirinç unu oranı artış eğilimindeyken dondurulup çözdürülmüş örneklerde tersi bir davranış gözlenmiştir (Tablo 21).

Tablo 21

Püre türü ve pirinç unu oranının koni şeklinin boyutları üzerindeki etkileri







Püre Türü	Pirinç Unu (%)	Değişim (%)
Taze	10	0,97 ± 0,77 ^a
	30	2,37 ± 2,13 ^a
	50	4,49 ± 0,74 ^a
Dondurulup Çözdürülmüş	10	21,94 ± 12,48 ^A
	30	7,37 ± 3,96 ^A
	50	5,49 ± 4,25 ^A

Aynı sütunda farklı küçük harfler ile verilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmektedir.

Taze ve dondurulup çözdürülmüş örneklerden elde edilen şekillerin görüntüleri ve baskı puanları sırasıyla Tablo 22 ve 23'te verilmektedir. Özellikle taze örneklerden elde edilen şekillerin yüzeylerinde pişirme işlemi sonrası çatlakların oluştuğu görülürken dondurulup çözdürülmüş örneklerde bu duruma rastlanmamıştır. Daha zayıf yapıya sahip olduğu düşünülen dondurulup çözdürülmüş örneklerin pişirme işlemi sırasında buhar çıkışına daha az direnç göstermesi ile yapıda çatlakların oluşmadığı kabul edilmiştir. Liu vd. (2018a) %100 doluluk oranına sahip patates püresi ve nişastası karışımından oluşan örneklerin pişirme sırasında iç yapıda oluşan aşırı buharlaşma sonucunda şekillerde bozulmalarının olduğunu belirtirken Liu vd. (2020) ise %30 doluluk oranına sahip patates içeren örneklerin pişirme işlemi sırasında yeterli dayanıklılığa sahip olamadıkları için çökmelerin olduğunu gözlemlemiştir. Guénard-Lampron vd. (2021) havuç püresi, buğday unu ve su karışımından oluşan örnekleri farklı doluluk oranında basıp farklı süre ve sıcaklıklarda pişirmiştir. Doluluk oranının kontrol edilmesi ile pişmiş ürünün tekstürel özelliklerinin kontrol edilebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca yüksek doluluk oranı kullanıldığında nozul çapının önemli ölçüde baskı kalitesini etkilediğini de belirtmektedirler. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda ise doluluk oranının basımı yapılacak örneğin taze veya dondurulup çözdürülmüş olmasına göre belirlenmesi gerektiği de ortaya çıkmaktadır. Taze basımda %100'den daha düşük doluluk oranı seçilmesi ile pişirme sonrasında yapıda oluşabilecek çatlakların önlenilebileceği düşünülmektedir.







Tablo 22

Pirinç unu oranının taze püre kullanılarak basılan koni şekillerinin pişirme öncesi ve sonrası görünümleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Pirinç Unu Oranı (%)	Piştirme Öncesi	Piştirme Sonrası	Baskı Puanı
10			2
30			3
50			3

Tablo 23

Pirinç unu oranının dondurulup çözdürülen püre kullanılarak basılan koni şekillerinin pişirme öncesi ve sonrası görünüşleri ile baskı puanları üzerine etkileri

Pirinç Unu Oranı (%)	Pişirme Öncesi	Pişirme Sonrası	Baskı Puanı
10			2
30			3,5
50			5

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında doğal hali ile üç boyutlu gıda yazma işlemi için uygun olmayan kabak püresi örneklerinin pirinç unu katkısı ile basılabilir hale getirilmeleri sağlanmış ve baskı kalitesi üzerine farklı yazıcı değişkenlerinin etkileri belirlenmiştir. Kabak püresi miktarının %50'si kadar pirinç unu eklenmesi ile hazırlanan örneklerin oda sıcaklığında Herschel-Bulkley modeline uygun şekilde akışkan davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan reolojik analizler ile de doğrusal viskoelastik bölge içerisinde depolama modülü değerlerinin kayıp modülü değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu özellikteki örneklerin üç boyutlu yazma işlemi için uygun özelliklere sahip olduğu kabul edilse de yapılan ön denemelerde oda sıcaklığındaki örneklerin istenilen baskı kalitesini sağlayamadığı ve oluşturulmak istenilen şekillerin kendi ağırlıklarını taşıyamayarak çöktükleri görülmüştür. Pirinç unu içerisindeki nişastanın jelatinizasyonuna neden olacak sıcaklıklara ulaşıldığında (65°C ve üstü) örneklerin görünür viskozite değerlerinin arttığı ve depolama modülü değerlerinde artış olduğu ölçülmüştür. Çember, kare ve üçgen temel geometrik şekillerinin tek bir çizgiden oluşan basma işlemleri 65°C baskı yüzeyi sıcaklığına sahip üç boyutlu gıda yazıcısı ile yapılmıştır. Pirinç unu oranına bağlı olarak 14,06, 14,50 ve 14,83 g/s kütleli akış hızı sağlayan ve yazıcı yazılımı üzerinde %5 akış hızına karşılık gelen değer ile istenilen boyutlara daha yakın şekillerin elde edilmesi sağlanabilmiştir. Pirinç unu oranının ise önemli bir etkisi olmamıştır. Koni şekline sahip örneklerin %50 ve daha az doluluk oranlarında çöktüğü görülürken baskı deseni olarak düz çizgilerin kullanımı dalgalı çizgilere göre daha iyi baskı kalitesi sağlayabilmiştir. Karmaşık yapıya ve ince detaylara sahip ev şeklinin basılması için baskı yüzeyi sıcaklığının 75 ve 85°C'ye çıkarılması da yine baskı kalitesini yükseltecek şekilde sonuç vermiştir. Ev tipi pratik uygulamalara benzer şekilde örnek hazırlığının hemen sonrasında ve örneklerin dondurulup çözdürülmesi sonrasında yapılan baskı işlemleri arasındaki farklarda belirlenmiştir. Baskı işlemi sonrasında yapılacak pişirme işlemi sonucunda baskı kalitesinin artması için taze örneklerin %100'den daha düşük doluluk oranı ile basılabileceği buna karşılık olarak dondurulup çözdürülen örneklerin %100 doluluk oranı ile birlikte diğer baskı değişkenlerinin de etkisi ile iyi kalitede basılabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında üç boyutlu gıda yazıcılarının genel

tüketicilerin ev ortamında kolaylıkla hazırlayabileceği ve erişimi olan malzemeler ile farklı boyut ve detaylardaki şekillerin hazırlanabilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- AACC. (2000). *Approved Method of American Association of Cereal Chemists (10th Ed.)*. American Association of Cereal Chemists. Minnesota, USA.
- Anukiruthika, T., Moses, J. A. ve Anandharamakrishnan, C. (2020). 3D printing of egg yolk and white with rice flour blends. *Journal of Food Engineering*, 265, 109691. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109691>
- Aydin, H. Y., Kiliç, A. ve Tekin, A. R. (2019). Lokum Ve Pestil Gibi Geleneksel Türk Gıdalarının Baskısı İçin 3-Boyutlu Yazıcılarda Uygun Ekstruder Tasarlanması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(1), 1-10.
- Brown, A. C., Conradie, P. ve De, B. D. (2014). Development of a stereolithography (STL) input and computer numerical control (CNC) output algorithm for an entry-level 3-D printer. *South African Journal of Industrial Engineering*, 25(2), 39-47. <https://doi.org/10.10520/EJC165149>
- Derossi, A., Paolillo, M., Caporizzi, R. ve Severini, C. (2020). Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. *Journal of Food Engineering*, 275, 109865. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109865>
- Dick, A., Bhandari, B. ve Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat Science*, 153, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
- Du, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Phuhongsung, P. ve Yang, C. (2022). Effect of addition of rice flour and yeast on improving 3D printing of fermented dough. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e17016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17016>
- Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. ve Ye, Y. (2020). Use of potato processing by-product: Effects on the 3D printing characteristics of the yam and the texture of air-fried

- yam snacks. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 125, 109265.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109265>
- Godoi, F. C., Prakash, S. ve Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
- Guénard-Lampron, V., Masson, M., Leichtnam, O. ve Blumenthal, D. (2021). Impact of 3D printing and post-processing parameters on shape, texture and microstructure of carrot appetizer cake. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72, 102738. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102738>
- Guo, C., Zhang, M. ve Bhandari, B. (2019). Model Building and Slicing in Food 3D Printing Processes: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1052-1069. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12443>
- Hao, L., Mellor, S., Seaman, O., Henderson, J., Sewell, N. ve Sloan, M. (2010). Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(2), 57-64.
<https://doi.org/10.1080/17452751003753212>
- Herrada-Manchón, H., Rodríguez-González, D., Alejandro Fernández, M., Suñé-Pou, M., Pérez-Lozano, P., García-Montoya, E. ve Aguilar, E. (2020). 3D printed gummies: Personalized drug dosage in a safe and appealing way. *International Journal of Pharmaceutics*, 587, 119687. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119687>
- Huang, M., Zhang, M. ve Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D Printing Precision and Texture Properties of Brown Rice Induced by Infill Levels and Printing Variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185-1196.
<https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>

- Ilhamto, N., Keller, H. H. ve Duizer, L. M. (2014). The Effect of Varying Ingredient Composition on the Sensory and Nutritional Properties of a Pureed Meat and Vegetable. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, 33(3), 229-248. <https://doi.org/10.1080/21551197.2014.927307>
- Kamlow, M.-A., Vadodaria, S., Gholamipour-Shirazi, A., Spyropoulos, F. ve Mills, T. (2021). 3D printing of edible hydrogels containing thiamine and their comparison to cast gels. *Food Hydrocolloids*, 116, 106550. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106550>
- Kim, H. W., Lee, I. J., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H. ve Park, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 101, 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
- Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S. ve Park, H. J. (2018). Effect of Hydrocolloids on Rheological Properties and Printability of Vegetable Inks for 3D Food Printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923-2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
- Lapčiková, B., Lapčík, L., Valenta, T., Majar, P. ve Ondroušková, K. (2021). Effect of the rice flour particle size and variety type on water holding capacity and water diffusivity in aqueous dispersions. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 142, 111082. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111082>
- Le Tohic, C., O'Sullivan, J. J., Drapala, K. P., Chartrin, V., Chan, T., Morrison, A. P., Kerry, J. P. ve Kelly, A. L. (2018). Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 220, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003>

- Lee, J. H., Won, D. J., Kim, H. W. ve Park, H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S. ve Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N. ve Lipson, H. (2010). *Multi-Material Food Printing with Complex Internal Structure Suitable for Conventional Post-Processing*. <https://doi.org/10.26153/tsw/15245>
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D. ve Lipson, H. (2015). Additive manufacturing for the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 43(1), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.004>
- Liu, L. ve Ciftci, O. N. (2021). Effects of high oil compositions and printing parameters on food paste properties and printability in a 3D printing food processing model. *Journal of Food Engineering*, 288, 110135. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110135>
- Liu, L., Meng, Y., Bhandari, B., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y. ve Prakash, S. (2019). Correction to: 3D Printing Complex Egg White Protein Objects: Properties and Optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 280-280. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2219-x>
- Liu, Y., Tang, T., Duan, S., Qin, Z., Li, C., Zhang, Z., Liu, A., Wu, D., Chen, H., Han, G., Lin, B., He, J. ve Wu, W. (2020). Effects of sodium alginate and rice variety on the physicochemical characteristics and 3D printing feasibility of rice paste.

- Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 127, 109360.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109360>
- Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S. ve Zhang, M. (2018a). Creation of internal structure of mashed potato construct by 3D printing and its textural properties. *Food Research International*, 111, 534-543. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.075>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. ve Yang, C. (2018b). Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 76-82.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017>
- Liu, Z., Zhang, M. ve Yang, C. (2018c). Dual extrusion 3D printing of mashed potatoes/strawberry juice gel. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 96, 589-596. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.014>
- Mantihal, S., Prakash, S., Godoi, F. C. ve 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.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.012>
- Martínez-Monzó, J., Cárdenas, J. ve García-Segovia, P. (2019). Effect of Temperature on 3D Printing of Commercial Potato Puree. *Food Biophysics*, 14(3), 225-234.
<https://doi.org/10.1007/s11483-019-09576-0>
- Nijdam, J. J., LeCorre-Bordes, D., Delvart, A. ve Schon, B. S. (2021). A rheological test to assess the ability of food inks to form dimensionally stable 3D food structures. *Journal of Food Engineering*, 291, 110235.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110235>
- Oyinloye, T. M. ve Yoon, W. B. (2022). Application of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the Deposition Process and Printability Assessment of 3D Printing Using Rice Paste. *Processes*, 10(1), 1-21. <https://doi.org/10.3390/pr10010068>

- Pant, A., Lee, A. Y., Karyappa, R., Lee, C. P., An, J., Hashimoto, M., Tan, U.-X., Wong, G., Chua, C. K. ve Zhang, Y. (2021). 3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients. *Food Hydrocolloids*, 114, 106546. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106546>
- Prithviraj, V., Thangalakshmi, S., Arora, V. K. ve Liu, Z. (2022). Characterization of rice flour and pastes with different sweeteners for extrusion-based 3D food printing. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 895-907. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12709>
- Raei, M., Rafe, A. ve Shahidi, F. (2018). Rheological and structural characteristics of whey protein-pectin complex coacervates. *Journal of Food Engineering*, 228, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.007>
- Ronkart, S. N., Paquot, M., Deroanne, C., Fougny, C., Besbes, S. ve Blecker, C. S. (2010). Development of gelling properties of inulin by microfluidization. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 318-324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.009>
- Severini, C., Derossi, A. ve Azzollini, D. (2016). Variables affecting the printability of foods: Preliminary tests on cereal-based products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 281-291. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.001>
- Sommer, M. R., Alison, L., Minas, C., Tervoort, E., Rühls, P. A. ve Studart, A. R. (2017). 3D printing of concentrated emulsions into multiphase biocompatible soft materials. *Soft Matter*, 13(9), 1794-1803. <https://doi.org/10.1039/C6SM02682F>
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J. Y. H. ve Hong, G. S. (2015). An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. *Food and Bioprocess Technology*, 8(8), 1605-1615. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1528-6>
- Thangalakshmi, S., Arora, V. K., Kaur, B. P. ve Malakar, S. (2021). Investigation on rice flour and jaggery paste as food material for extrusion-based 3D printing. *Journal of*

Food Processing and Preservation, 45(4), e15375.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.15375>

Voon, S. L., An, J., Wong, G., Zhang, Y. ve Chua, C. K. (2019). 3D food printing: A categorised review of inks and their development. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(3), 203-218. <https://doi.org/10.1080/17452759.2019.1603508>

Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y.-J. ve Kim, E.-K. (2023). Effect of pectin on printability and textural properties of potato starch 3D food printing gel during cold storage. *Food Hydrocolloids*, 137, 108362.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108362>

Yang, F., Guo, C., Zhang, M., Bhandari, B. ve Liu, Y. (2019). Improving 3D printing process of lemon juice gel based on fluid flow numerical simulation. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 102, 89-99.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.031>