



## Karides Unlu Atıştırmalık Üretiminde 3D Gıda Yazıcısı Kullanımı: Yazdırma Parametreleri ve Formülasyonun Optimizasyonu

Hanife Aydan Yatmaz  

Akdeniz Üniversitesi, Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 12.10.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 15.10.2023

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): aydan@akdeniz.edu.tr (H.A. Yatmaz)

☎ 0242 227 2057 (2579) 📠 0242 310 6306

### ÖZ

Üç boyutlu (3D) yazıcıların son yıllarda gıda sektöründe kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. 3D gıda yazıcıları gıda ürünlerinin verimli kullanımını sağlamakta, karmaşık şekillerde, farklı tekstürel özellikte ve istenen içerikte ürünlerin geliştirilmesine imkân vermektedir. Bu çalışmanın amacı 3D gıda yazıcı ile karides unu katkılı tahıl bazlı üç boyutlu sağlıklı atıştırmalık üretimi ile karides tüketiminin artırılmasına katkı sağlanmasıdır. Ürünlerin yazdırılması için ilk olarak karides unu olmaksızın gıda yazıcısında yazdırılabilir en uygun özellikteki (referans) hamur içeriği belirlenmiştir. Daha sonra 3D gıda yazıcısında, hedeflenen şekilde 3D olarak yazdırılabilen ve yazdırma sonrası yapısını koruyabilen ürünlerin elde edilmesi amacıyla hamur yapısına etki eden parametreler Plackett-Burman deneysel tasarımı kullanılarak optimize edilmiştir. Bunun için karides unu, buğday unu/mısır unu oranı, su sıcaklığı, yağ miktarı, ürün yüksekliği ve şekil doluluk oranı bağımsız değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, karides unu oranı ve su sıcaklığının hamurun sertliği, kıvam ve iç yapışkanlık değeri üzerindeki etkisinin önemli olduğu, viskozite indeksi üzerine ise sadece karides unu oranının etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). 3D yapı analizleri sonucunda dış çap hata oranına söz konusu değişkenlerin etkisinin önemsiz olduğu, iç çap hata oranına ise buğday unu/mısır unu oranı, eklenen suyun sıcaklığı ve şekil doluluk oranının etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Karides unu miktarı, buğday unu/mısır unu oranı, su sıcaklığı ve şekil doluluk oranının, ürünlerin toplam hata oranına etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Anahtar Kelimeler:** 3D gıda yazıcısı, Optimizasyon, Tekstür, Atıştırmalık gıda, Karides

### Production of Snacks with Shrimp Flour by 3D Food Printers: Optimization of Printing Parameters and Formulation

#### ABSTRACT

The use of three-dimensional (3D) printers in the food industry is widespread in recent years. 3D food printers improve products with complex shapes, different textural properties, and desired compositions apart from providing efficient utilization of foods. This study aimed to contribute to an increase in shrimp consumption with the production of 3D healthy snacks with cereal-based shrimp flour with a 3D food printer. Firstly, the most printable (reference) dough composition was determined, which could be printed by a food printer without the addition of shrimp flour. Then, significant factors affecting dough structure were optimized using the Plackett-Burman experimental design to obtain products that could be 3D-printed in a targeted design and self-supporting ability after printing. Shrimp flour, corn flour/wheat flour ratio, water temperature, butter amount, product height, and infill rate were determined as independent variables. It was determined that the effect of shrimp flour ratio and water temperature on the firmness, consistency, and cohesiveness of the dough was statistically significant while the effect of shrimp flour ratio on the viscosity index was significant ( $p < 0.05$ ). Results of the 3D structure analysis showed that the effect of these variables on the outer diameter error rate was insignificant, while the effect of the wheat flour/corn flour ratio, the water

temperature, and the infill level were significant on the inner diameter error rate ( $p<0.05$ ). The influence of the amount of shrimp flour, wheat flour/corn flour ratio, water temperature, and infill level on the total error rates of the products were significant ( $p<0.05$ ).

**Keywords:** 3D food printer, Optimization, Texture, Snack food, Shrimp

## GİRİŞ

Yeterli ve dengeli beslenme, toplumun sağlıklı yaşamasının yanı sıra üretkenliğini de arttırmaktadır. Beslenmenin en önemli olgusu tüm besin öğelerinden doğru ve yeterli miktarda faydalanabilmektir. Bireylerin gıda seçiminde ise yaş, cinsiyet, genetik, yaşam biçimi, geleneklerin yanı sıra ekonomik, kültürel ve çevresel etmenler etkili olmaktadır [1]. Kaliteli protein kaynağına erişebilmek amacıyla tercih edilebilecek hayvansal ürünler kırmızı et, kümes hayvanları ve su ürünleri olmaktadır. Fazla miktarda protein, mikro-besinler ve *n-3* yağ asitleri (özellikle eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA)) içeren su ürünleri, diyetle yer verilmesi gereken, kaliteli ve kolay sindirilebilen bir gıda grubudur [2]. Besin değeri yüksek olmasına karşın ülkemizde su ürünlerinin tüketimi sınırlı olmakta ve kişi başına yıllık tüketim miktarı 6.8 kg ile dünya ortalaması olan 22 kg'ın oldukça altında kalmaktadır [3, 4]. Dünyada ve ülkemizde su ürünleri tüketiminin artırılması için gıda sektörü ve araştırmacılar yeni ürünler geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadırlar.

Son yıllarda hazır gıda ürünlerine olan ilginin sürekli olarak arttığı ve beslenmede önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Özellikle insanların beslenme bilgisindeki artışa paralel olarak ürün seçiminde de değişimler olmaktadır. Daha önce ürünlerin görşelliği tüketiciyi cezbeden ana unsur iken artık üretimde kullanılan ürünlerin içeriği, son ürünün besleyiciliği ve fonksiyonelliği, koruyucu içerip içermediği gibi özellikler genel algının önüne geçmiş ve sağlık açısından daha faydalı olduğu düşünülen ürünlere olan ilgi artmıştır. Hazır gıdalar arasında yer alan çerez tipi ürünler ise geniş anlamda atıştırmalık tüm ürünleri (cipsler, bisküviler, kuruyemişler ve krakerler vb.) kapsamaktadır [5]. Özellikle çocuklar arasında bu gıdaların tüketim pratikliği, rahatlığı ve kabul edilebilirliği nedeniyle [6] yüksek besinsel ve fonksiyonel özelliklere sahip sağlıklı atıştırmalıklara yönelik talepler de artmıştır [7].

Ticari olarak satışa sunulan, belirli kalıplarla veya ekstrüzyon yöntemiyle üretilen atıştırmalıklar genellikle düşük protein içeriğine ve besin değerine sahiptir [8, 9]. Bu yüzden, besin değerinin artırılması amacıyla tahıl bazlı atıştırmalıklara çeşitli katkıları eklenebilmektedir. Turna balığı eti eklenmiş cips [10], balık protein konsantrati eklenmiş bisküviler [11], Çin mersin balığı filetosu tozu eklenmiş bisküvi [12], sarı un kurdu larvası katkılı ekstrüdatlar [13], tapyoka nişastası ve balık eti eklenmiş ekstrüdatların [14, 15] yanı sıra *spirulina* [16], kitosan [17] ve karides unu [18] eklenmiş atıştırmalıklar besin değeri artırılmış ürünlere örnek olarak verilebilir. Atıştırmalıkların protein miktarının ve besin değerinin artırılması amacıyla su ürünlerinin kullanımı, bu konuda uygulanan yaklaşımlardan biridir.

Önemli su ürünlerinden biri olan karidesler, protein, vitamin (A ve D) ve mineral (kalsiyum ve demir) ve çoklu doymamış yağ asitleri (DHA ve EPA) içeriği ile zengin bir gıda ürünüdür. Karidesler, diğer su ürünlerine göre daha az avlanmakta ve tüketiciler açısından sınırlı düzeyde tercih edilebilmektedir [19, 20]. Karides mevcut üstün özellikleri nedeniyle taze, dondurulmuş, kurutulmuş, dumanlanmış ve salamura edilerek tüketilebilmekle birlikte atıştırmalıkların zenginleştirilmesinde de kullanılabilirliği, besinsel değeri yüksek atıştırmalıkların üretilmesi açısından önemlidir [19].

Gıda hazırlamanın bir diğer yolu ise 3D gıda yazıcılarından faydalanmaktır. 3D gıda yazıcıları, ürün hazırlanması sırasında özel alet-ekipman gerektirmemesi, ürün kalitesine etki etmemesi, ürünü şekil ve tekstürel olarak tasarlama imkânı sağlayabilmesi, üretilen materyalin içeriğinin kolayca ayarlanabilmesi ile besleyicilik, aroma ve renk tasarımı konusunda özgürlük sağlaması gibi avantajlarından dolayı gıda üretimleri alanında kullanımı yaygınlaşmaktadır [21, 22]. 3D gıda yazıcısında hazırlanan ürünlerin lezzetinin yanı sıra albenisi artırılarak sağlıklı beslenme adına besleyiciliği yüksek ürünlerin tercih edilebilirliği sağlanmakta ve kişiye özel ürünler geliştirilebilmektedir. 3D gıda yazıcılarında ürün hazırlamada farklı prensiplere göre çalışan cihazlar kullanılabilmektedir. Bunlar; seçici sinterleme teknolojisi, sıcak eriyik ekstrüzyon yöntemi, bağlayıcı püskürtme yöntemi ve püskürtmeli yazıcılarıdır [21]. Kullanılan teknolojiye göre hazırlanması gereken gıda formülasyonu değişmekle birlikte çikolata, hamur, püre, sos, şeker, toz vb. materyaller gıda yazıcılarında yazdırılabilmektedir [23]. Genellikle ekstrüzyon bazlı 3D gıda yazıcıları araştırmalarda ve endüstride kullanılmaktadır. Hidrojel yapı oluşturabilen nişasta ve protein gibi maddeler, peynir, çikolata ve humus gibi gıda ürünleri yazıcı şiringasından kolayca ekstrüde edilebilen ürünlerdendir [24]. Bununla beraber pirinç, et, meyve ve sebzeler gibi her insanın günlük tükettiği yiyecekler hiçbir işlem ya da katkı olmaksızın yazdırılabilen gıda ürünlerinden değillerdir [21]. Bu ürünlerin yazdırılabilir hale getirilmesinde, tekstürel özelliklerin doğru ayarlanabilmesi için ilave edilen bileşenlerin türü ve miktarı önemli olmaktadır. Bunu için akışkanlığı azaltıcı (viskoziteyi artırıcı) hidrokolloidlerden (jellan gam, keçiyoynuzu gamı, pektin, karragenan, ksantan gam vb.) sıklıkla yararlanılmakla birlikte [25], eklenen bileşenler (tuz, baharat, yağ vb.) esas gıdanın yapısında fizikokimyasal değişimlere de sebep olabilmektedir.

3D gıda yazıcısında üretilen, besin değeri artırılmış tahıl ürünleri üretiminde meyve sebze [26-28], mantar [29], mikroalg [30], bitki proteini [31, 28] ve böcek [32] katkısı kullanımı ve bu ürünlerin yazdırılabilirliği ile ilgili

çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Tüm çalışmaların ortak yönü geliştirilen ürünlerin, cihaz kapsüllerinden ekstrüde edilebilecek akışkanlığa sahipken baskı sonrası şeklini koruyabilecek kadar da viskoz olması ve ilerleyen işlemler süresince de bu şekli muhafaza edilebilen özelliğe sahip içeriklerin oluşturulmasıdır.

Klasik deneysel tasarımlarda bileşenlerin etkilerinin belirlenmesi için bir seferde yalnızca bir değişkenin değiştirilmesini gerektirmektedir. Yine bileşenlerin ortak etkilerinin belirlenmesi çok fazla sayıda üretim yapılması ile mümkün olmaktadır. Plackett-Burman deney tasarımı, çok sayıda değişken arasından önemli faktörleri taramak için etkili bir yöntemdir [33]. Plackett-Burman deney tasarımı, belirli işleme değişkenlerinin önemini tanımlamak ve sistem performansını optimize etmek ve bunların nasıl kontrol edileceğini incelemek için matematiksel araçları kullanan, sistematik bir yaklaşım olan bir tasarımıdır. Tek değişkenli yöntem ile kıyaslandığında Plackett-Burman tasarımı üretim ve deney gruplarının sayısını azaltabilmekte, çeşitli faktörlerin beraber olarak hamurun yapısına etkisinin araştırılmasında kullanılabilir [34, 35]. Yine deneysel tasarımlar farklı unların, içeriklerin, pişirme parametrelerinin etkilerinin, ekstrüzyon koşullarının belirlenmesinde [36-38] ve üç boyutlu gıda yazıcısında ürünlerin geliştirilmesinde [32] kullanılmaktadır.

Bu araştırmanın amacı tahıl bazlı atıştırmalıkların besin değeri yüksek bir su ürünü olan karides ile zenginleştirilip, fonksiyonel özelliklerinin artırılması ve kişiye özel üç boyutlu yazıcıda yazdırılabilir atıştırmalık ürün geliştirilmesidir. 3D gıda yazıcısında yazdırılabilen ve yazdırma sonrası hedeflenen şekli koruyan ürün oluşturulabilmesi için; karides unu, mısır ve buğday unu oranları, su sıcaklığı, yağ miktarı, ürün yüksekliği ve doluluk oranının hamur yapısı üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla Plackett-Burman tasarımı kullanılarak oluşturulan deneme desenine göre üretimler yapılmış ve analizler sonucu elde edilen veriler ışığında üretimlere en uygun hamur formülasyonunun yanı sıra şekil doğruluğu açısından en uygun ürün yüksekliği ve doluluk oranı da belirlenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Çalışmada kullanılan karidesler taze olarak Antalya'da faaliyet gösteren bir balıkçıdan (Başoğlu Balıkçılık Ltd. Şti.), buğday unu (%11.1 protein), mısır unu (%5.4 protein) ve tereyağı ise Antalya'da yerel bir marketten temin edilmiştir. Çalışmada ortalama 19.49±8.24 g ağırlık ve 15.80±2.22 cm boya sahip *Aristeus antennatus* türü karidesler kullanılmıştır. Karidesler strafor kutular içerisinde buzlanarak laboratuvara getirilmiş, laboratuvara getirilen karideslerin hızla baş kısmı ve kabukları ayrılmış ardından yıkama işlemine tabi tutulmuştur.

Karides unu elde edilmesi Shaviklo ve ark. [18]'in bildirmiş olduğu yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre karidesler 2 g/L tuz içeren kaynayan suda (95-100°C) (1:2, w/v) 10 dakika haşlanmıştır. Haşlanan

karideslerin fazla suyu drene edildikten sonra laboratuvar tipi blender kullanılarak parçalanmıştır. Daha sonra etüvde 50°C sıcaklıkta 7 saat süre ile kurutulmuştur (aw: 0.2). Ardından parçalayıcıda (Retsch GM200, Almanya) un haline getirilen karidesler 500 µm'lik elekten geçirilmiştir. Toz haline getirilen karides eti polipropilen ambalajlara aktararak vakum paketlenmiş ve kullanım anına kadar -18°C'de muhafaza edilmiştir. Elde edilen karides ununun nem içeriği %7.43±1.71, protein içeriği %92.42±1.64 ve yağ içeriği %1.61±0.69 olarak tespit edilmiştir.

### Üç Boyutlu Gıda Yazıcısı

Üç boyutlu ürünlerin yazdırılmasında ekstrüzyon bazlı Foodini 3D gıda yazıcısı (Natural Machines, Barselona, İspanya) kullanılmıştır. Ekstrüzyon işlemlerinde kullanılacak kapsülün başlık (nozül) çapı 1.5 mm olarak seçilmiştir.

Üç boyutlu atıştırmalıkların yazdırılmasında kullanılacak cihaz parametreleri ön denemeler sonucunda belirlenmiş olup bu parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Ön denemelerde, 3D gıda yazıcısında yazdırma parametreleri belirlenirken yazdırılan ürünlerin hedeflenen şekle uygun yazdırılması amaçlanmış olup, yazdırılan ürünlerin şekil doğrulukları hesaplanmış ve en yüksek şekil doğruluğu sağlayan parametreler seçilmiştir.

Tablo 1. 3D gıda yazıcısı yazdırma parametreleri

**Table 1. Printing parameters of 3D food printer**

Yazdırma parametresi	Değer
Nozzle çapı	1.5 mm
Yazdırma hızı	2500 mm/dakika
Katmanlar arası uzaklık	1.4 mm
Baskı başlama akışı	6 mm
Nozzle başlangıç yüksekliği	1.4 mm
Damlama önleme	3 mm
Yazdırma atlama mesafesi	10 mm
Çizgi kalınlığı	1.4 mm
Ürün akış hızı	1.7
Baskı arası boşluk	%1
İlk katman hızı	%100
Yazdırma geçiş yüksekliği	3 mm

### Kontrol Şekilleri ve Plackett-Burman Deney Tasarımı ile Üç Boyutlu Atıştırmalıkların Üretimi

Hamur formülasyonunda yer alacak bileşenler ve oranları, üç boyutlu yazıcıda yazdırılabilirliği ve yazdırılan şeklin doğruluğunu etkileyen önemli unsurlardır. En az hata ile en yüksek şekil doğruluğuna sahip ürün elde edilmesini sağlayacak hamur bileşiminin ortaya konması amacıyla önemli parametrelerin belirlenmesi için Plackett-Burman deney tasarımı kullanılmıştır.

Üç boyutlu gıda yazıcısında bir gıda ürünü yazdırmak veya hazırlamak geleneksel ekstrüder sistemlerinden biraz daha farklı bir yaklaşım gerektirmektedir. Artık gelenekselleşmiş diyebileceğimiz ekstrüder cihazlar gıda ürünlerini rahatlıkla önceden ayarlanmış bir uçtan

ekstrüde edebilmektedirler. Ancak genel amaçlı üretilmiş 3D gıda yazıcılarında mevcut olan ekstrüzyon gücü geleneksel ekstrüderler kadar yüksek değildir. Bu nedenle de üç boyutlu gıda yazıcılarında kullanılacak gıda formülasyonu hedeflenen şeklin yazdırılabilirliğini etkileyen en önemli unsur olmaktadır. Hazırlanan gıda ürünün doğru akışkanlığa sahip olmasının yanı sıra katmanlar halinde yazdırıldığında da şeklini koruyabilecek kadar viskoz olması gerekmektedir [24]. Bunun dışında formülasyonlarda yer alan bazı bileşenler ve uygulamalar esas gıdanın yapısında fizikokimyasal değişimlere sebep olabilmektedir. Bu çalışmada da öncelikle genel bir kraker ya da bisküvi formülasyonları ile ürün yazdırma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemelerde kraker ve bisküvi tarzı sert hamur formülasyonlarının yazdırmaya uygun olmadığı ve mevcut ekstrüder bazı (FDM) 3D gıda yazıcısı tarafından ekstrüde edilemediği belirlenmiştir. Farklı denemeler ile 3D gıda yazıcısında yazdırılabilir bir formülasyon oluşturulmaya çalışılmıştır. Denemelerde yine sadece buğday ununun kullanıldığı durumlarda glutenin oluşturmuş olduğu yapının yazdırılabilirliği direkt olarak etkilediği, bu yüzden ürünlerin istenen boyutlarda yazdırılmasını imkânsız kıldığı tespit

edilmiştir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için daha akışkan hamurlar hazırlanmış olsa da bu kez de kartuştan ekstrüde edilen hamur kopma davranışının olmadığı veya düşük viskozitesinden dolayı kontrolsüz olarak aktığı için yine yazdırılabilirliği olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bu yüzden hamur yapısının yazdırılmaya uygun olabilmesi için mısır unu ilavesi yapılmış ve farklı yağ-su oranları denenerek kontrol hamuru belirlenmiştir. Yine mısır unu : buğday unu oranı da Plackett-Burman tasarımında parametre olarak yer almıştır.

Bununla birlikte bütün parametreler; karides unu oranı, mısır unu: buğday unu oranı, su sıcaklığı, yağ miktarı, ürün yüksekliği ve katman sayısı olarak belirlenmiştir. Deneysel tasarımda kullanılan değişkenler ve minimum-maksimum noktaları -1 ve +1 olarak Tablo 2'de verilmiştir. Bu noktaların belirlenmesinde ön deneme sonuçları ve literatür bilgisi esas alınmıştır. Daha sonra Minitab (Version 19.2020.1, LLC, ABD) programı kullanılarak, belirlenmiş parametrelere ait değerler ile Plackett-Burman deneme deseni oluşturulmuştur. Buna göre Tablo 3'te gösterilmiş olan 12 deneme iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Plackett-Burman deney tasarımı parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri

*Table 2. Minimum and maximum values of Plackett-Burman design parameters*

Parametre	-1	+1
Un formülasyonunda karides unu oranı (%)	10	20
Mısır unu/Buğday unu oranı (g/g)	1	3
Su sıcaklığı (°C)	20	100
Yağ miktarı (g)	4	12
Ürün yüksekliği (Katman)	3	5
Doluluk oranı (Katman)	3	5

Plackett-Burman deney tasarımına göre üç boyutlu gıda yazıcısında üretilen ürünlerin analiz sonuçlarına bağlı çeşitli faktörlerin etkilerini belirlemek için Denklem 1 kullanılmaktadır.

Denklem 1'de verilen Y cevap değişkeni,  $\beta_0$  sabit,  $\beta_1$ - $\beta_i$  faktörlerin katsayılarını,  $X_1$ - $X_i$  seçilen faktör derecelerini göstermektedir [39, 40].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_i X_i \quad (1)$$

Tablo 3. Atıştırmalıkların üretimi için Plackett-Burman deney tasarımı

*Table 3. Plackett-Burman experimental design for snacks production*

Üretim No	Karides unu oranı (%)	Mısır unu: Buğday unu (g:g)	Su sıcaklığı (°C)	Yağ miktarı (g)	Ürün yüksekliği (katman)	Doluluk oranı (katman)
1	20 (+)	1 (-)	100 (+)	4 (-)	3 (-)	3 (-)
2	20 (+)	3 (+)	20 (-)	12 (+)	3 (-)	3 (-)
3	10 (-)	3 (+)	100 (+)	4 (-)	5 (+)	3 (-)
4	20 (+)	1 (-)	100 (+)	12 (+)	3 (-)	5 (+)
5	20 (+)	3 (+)	20 (-)	12 (+)	5 (+)	3 (-)
6	20 (+)	3 (+)	100 (+)	4 (-)	5 (+)	5 (+)
7	10 (-)	3 (+)	100 (+)	12 (+)	3 (-)	5 (+)
8	10 (-)	1 (-)	100 (+)	12 (+)	5 (+)	3 (-)
9	10 (-)	1 (-)	20 (-)	12 (+)	5 (+)	5 (+)
10	20 (+)	1 (-)	20 (-)	4 (-)	5 (+)	5 (+)
11	10 (-)	3 (+)	20 (-)	4 (-)	3 (-)	5 (+)
12	10 (-)	1 (-)	20 (-)	4 (-)	3 (-)	3 (-)

Analizler sonucu elde edilen veriler Minitab programında analiz edilerek ANOVA sonuçları ve regresyon analizleri ile istatistiksel olarak önemli parametreler belirlenmiştir.

Bu aşamada özellikle üç boyutlu yapı analizi ve ürünlerin yazdırma sonrası hata oranı hesaplamalarının doğru olarak yapılabilmesi adına ön denemeler

sonucunda belirlenmiş olan kontrol hamuru ile ürünler yazdırılmıştır. Kontrol hamuru karides unu olmaksızın hazırlanmış olup, literatürdeki atıştırmalık, bisküvi ve kraker formülasyonları [37, 41, 42] esas alınarak oluşturulmuş ve üç boyutlu gıda yazıcısında yazdırmaya uygun yapı elde edilmesi amacıyla modifiye edilmiştir. 3D gıda yazıcısında 1.5 mm çapa sahip nozuldan yazdırmaya uygun sertlikteki kontrol hamur, 50 g mısır unu, 50 g buğday unu, 92 mL su (100°C) ve 8 g tereyağı kullanılarak elde edilmiştir. Kontrol ürünleri iki farklı doluluk (3, 5 katman) ve ürün yüksekliği (3, 5 katman) oranında yazdırılmıştır. Kontrol hamurunun üretimlerinin ardından Plackett-Burman deney tasarımının vermiş olduğu deneme üretimleri yapılmıştır. Bütün denemelerde un formülasyonu ve su/yağ oranı olmak üzere iki unsur ayrı olarak değerlendirilmiş ve her iki unsurun toplam miktarı ayrı 100 g olacak şekilde miktarlar belirlenmiştir. Deneme desenine göre hazırlanan hamurlar 20 dk dinlendirilmiş ve ardından 3D gıda yazıcısında üretimleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ürünlerin analizleri gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm denemeler tamamlandıktan sonra desenin optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve optimum veriler belirlenerek en uygun hamur formülasyonu, ürün yüksekliği ve doluluk oranında yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

### Analizler

Elde edilen hamurlara ve üç boyutlu gıda yazıcısı ile gerçekleştirilen üretimler sonucunda elde edilen ürünlere dair özelliklerin belirlenmesi için gerçekleştirilen analizlerin tümü üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\text{İç çap hata oranı (\%)} = \pm \left[ \frac{\text{İç çap}_{\text{örnek}} - \text{İç çap}_{\text{kontrol}}}{\text{İç çap}_{\text{kontrol}}} \right] * 100 \quad (2)$$

$$\text{Dış çap hata oranı (\%)} = \pm \left[ \frac{\text{Dış çap}_{\text{örnek}} - \text{Dış çap}_{\text{kontrol}}}{\text{Dış çap}_{\text{kontrol}}} \right] * 100 \quad (3)$$

$$\text{Toplam hata oranı (\%)} = \text{İç çap hata oranı} + \text{Dış çap hata oranı} \quad (4)$$

Optimizasyon aşamasından sonra belirlenen optimum ürünler konveksiyonel fırında (Unox XBC 405E, İtalya) 200°C'de 10 dk pişirme işlemine tabi tutulmuştur. Pişirilen ürünlerin belirlenmiş olan tasarıma uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yine Denklem 2, Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak 3D yapı analizi gerçekleştirilmiştir. 3D yapı analizi ile örneklerin pişirme sonucu üç boyutlu şekillerinde olan değişimler belirlenmiştir.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

#### Kontrol Şekillerinin Üç Boyutlu Olarak Yazdırılması

Birinci aşama olarak; üretilen üç boyutlu ürünlerin katman sayısı ve doluluk oranının hesaplanarak şekil doğruluklarının (hata oranlarının) belirlenebilmesi amacıyla referans olarak kullanılacak olan kontrol üretimleri gerçekleştirilmiştir. İki farklı doluluk oranı ve

#### Hamurun Tekstürel Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen hamurların tekstürel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla TA.XT ExpressC Tekstür Analiz cihazı (Stable Micro Systems, Godalming, Birleşik Krallık) kullanılmıştır. Sıkıştırma (kompresyon) kuvveti prensibine göre belirli bir hızda ve belirli bir derinliğe probun iki kez daldırılması ile geri ekstrüzyon testi gerçekleştirilmiştir. Buna göre 5 kg'lık yük hücrelerine ve 35 mm çapındaki silindirik proba sahip TA.XT ExpressC cihazı ürüne temas ettiği andan itibaren 1mm/sn hız ile 25 mm derinliğe daldırılarak iki ayrı sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Analizler her bir hamur için 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş olup elde edilen verilerden örneklerin sertlik, kıvam, iç yapışkanlık ve viskozite indeksi değerleri belirlenmiştir.

#### Su Aktivitesi ve Kimyasal Kompozisyon Analizleri

Örneklerin su aktivite değerleri ( $a_w$ ) Decagon, Aqualab 4TE cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Üretilen karides ununun nem, protein, yağ miktarı ise AOAC [43]'nin belirttiği yöntemle göre belirlenmiştir.

#### Üç Boyutlu Yapı Analizi ve Ürünlerin Yazdırma Sonrası Hata Oranının Hesaplanması

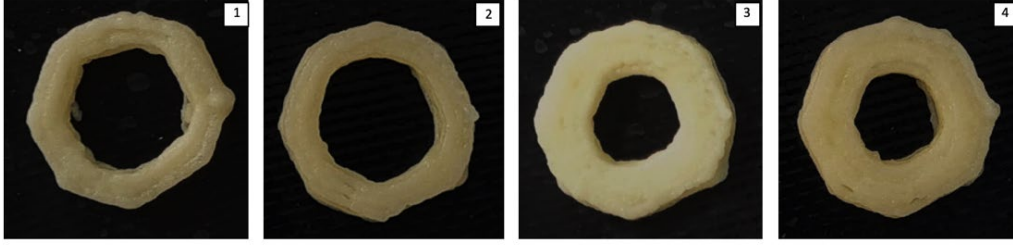
Yazdırılan üç boyutlu ürünlerden elde edilen görüntüler ImageJ programı ile analiz edilerek iç ve dış çap değerleri sırasıyla Denklem 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Analizler sonucu elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak kontrol değerlerine göre toplam sapma oranları ise Denklem 4 ile hesaplanmıştır.

ürün yüksekliğinde yazdırılan ürünlere ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.

Kontrol ürünlerine ait iç ve dış çap değerleri ImageJ programı ile hesaplanmış ve ortalama değerler Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen bu değerler karidesli atıştırmalık üretimleri sonucunda elde edilen ürünlerin yazım doğruluğunun (hata oranlarının) analiz edilmesinde kullanılmıştır.

#### Plackett-Burman Deney Tasarımı ile Üretime Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi

Ön denemeler sonucunda üç boyutlu gıda yazıcısında gerçekleştirilecek karidesli atıştırmalık üretime etki edebilecek parametreler derlenerek Plackett-Burman tasarımında bir deneme deseni oluşturulmuştur. Minitab programında oluşturulan deneme deseni sonucu üretilen ürünlere ait veriler ve görüntüler sırasıyla Tablo 5'te ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı yükseklik ve doluluk oranlarında yazdırılan kontrol örnekleri (Y3:D3 (1), Y5:D3 (2), Y3:D5 (3), Y5:D5 (4); Y: Ürün yüksekliği, D: Doluluk oranı)  
 Figure 1. Control samples which was printed with different height and infill levels (H3:I3 (1), H5:I3 (2), H3:I5 (3), H5:I5 (4); H: Height, I: Infill level)

Tablo 4. Kontrol üretimlerine ait çap değerleri

Örnek	Dış çap (mm)	İç çap (mm)
Kontrol 1	28.50±0.99	17.84±0.63
Kontrol 2	28.40±1.03	17.71±0.82
Kontrol 3	26.88±0.97	11.66±0.92
Kontrol 4	28.28±0.98	12.20±0.64

Değerler "ortalama±standart hata" olarak verilmiştir.

Tablo 5. 3D atıştırılabilir ürünlerine ait tekstür ve 3D yapı analiz sonuçları

Table 5. Textural and 3D structure analysis results of 3D snacks

Deneme	Sertlik [Firmness (g)]	Kıvam [Consistency (g.sn)]	İç yapışkanlık [Cohesiveness (g)]	Viskozite indeksi [Work of Cohesion (g.sn)]	Dış çap hata oranı (%)	İç çap hata oranı (%)	Toplam hata oranı (%)
1	2655.77±45.82	41694.12±1740.60	-3209.97±117.63	-1766.67±458.46	3.65±0.58	3.51±0.99	7.16±0.94
2	899.86±36.18	16224.83±252.91	-767.79±117.63	-1500.57±32.39	4.38±0.59	3.15±0.67	7.53±0.84
3	1795.38±58.31	31323.59±772.49	-2051.58±124.59	-477.75±50.66	4.69±0.95	5.40±1.34	10.09±1.89
4	2046.19±35.97	32690±1135.94	-2526.69±88.02	-3039.77±1191.69	9.03±1.28	8.34±2.55	17.38±3.35
5	884.77±17.19	16195.70±183.93	-792.68±5.99	-1576.69±42.47	6.99±1.31	5.33±1.05	12.32±1.69
6	2881.91±35.40	50864.22±605.23	-2959.76±47.62	-3793.21±1669.60	5.74±1.04	6.64±1.15	12.38±1.83
7	1218.16±26.82	21188.85±428.59	-1541.76±51.32	-315.96±36.75	7.39±1.37	9.64±2.67	17.03±3.18
8	1239.96±12.88	19629.89±117.19	-1231.96±516.61	-490.42±244.42	4.19±0.87	4.08±1.03	8.28±1.45
9	404.26±15.32	6477.64±258.02	-562.29±4.68	-238.58±14.16	4.40±0.99	31.90±2.15	36.30±2.35
10	539.76±42.81	8992.87±692.98	-753.23±9.77	-637.73±363.70	7.12±1.39	20.70±1.97	27.81±2.73
11	174.88±5.57	3042.37±117.51	-258.05±23.97	-444.87±52.63	18.62±3.77	11.96±2.99	30.58±5.47
12	200.38±9.64	3333.66±180.61	-237.37±25.17	-138.72±64.48	5.03±1.16	21.11±1.91	26.13±2.44

Değerler "ortalama±standart hata" olarak verilmiştir.

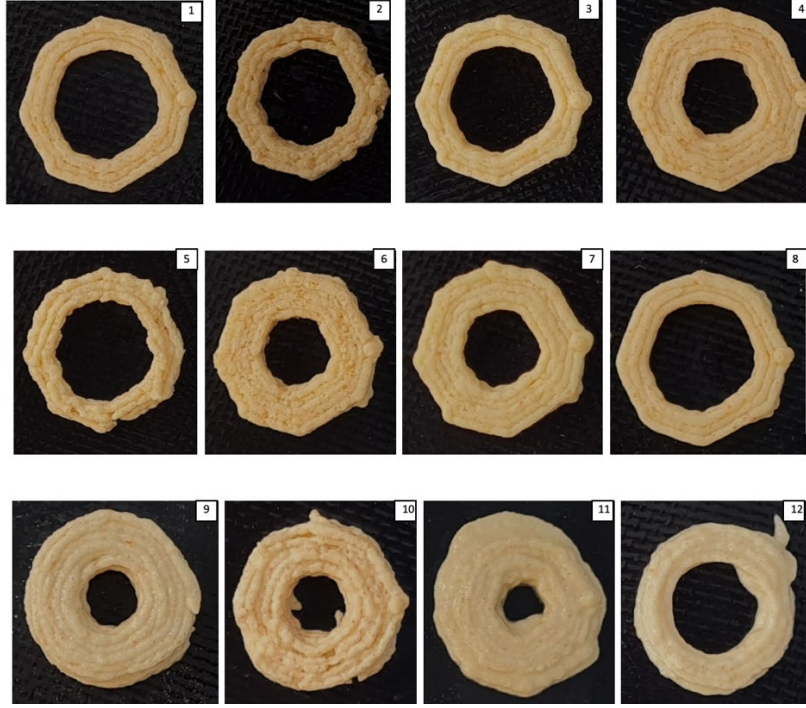
Farklı üretim şekilleri ve farklı formülasyonlar hamurun tekstürel özelliklerini değiştirmektedir (Tablo 5). Özellikle sertlik değerleri incelendiğinde hamur hazırlamada kullanılan suyun sıcaklığının 20°C olduğu denemelerde (2, 5, 9, 10, 11 ve 12 numaralı denemeler) daha yumuşak hamurlar elde edildiği görülmektedir. Daha yumuşak hamurların elde edilmiş olması yazdırılabilirlik açısından iyi gibi görünse de yeterince sert olmayan hamur belirli yüksekliklerde yazdırılan 3D ürünlerde olumsuz etki göstermiş ve istenen şekil elde edilememiştir. Özellikle 9, 10, 11 ve 12 numaralı denemelerde en yüksek hata oranları tespit edilmiştir (Tablo 5). Yine toplam hata oranları yüksek olan üretimlerin sertlik değerleri daha düşük tespit edilmiş, özellikle 9, 11 ve 12 numaralı denemelerin iç yapışkanlık ve viskozite indeksi değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu da hamurun yazdırıldıktan sonra yayılmasını ve yazıcıda verilen şekli koruyamamasına sebep olabilmektedir. Yine Şekil 2 incelendiğinde, kontrol üretimlerine kıyasla şekil farklılıkları ve yazdırılan hamurlardaki yayılma belirgin olarak görülmektedir. 3D ürünler yazdırılırken istenen kalitede son ürün elde edilebilmesi için hazırlanan hamurun yine belirli tekstürel özelliklere de sahip olması gerekmektedir [42].

Bunun dışında kıvam, iç yapışkanlık ve viskozite indeksi değerleri de 3D karidesli atıştırılabilir üretiminde yazdırılabilirliği etkilemekte iken dış çap hata oranlarının deneme parametrelerinden etkilenmediği görülmektedir. Karşılaştırmaların daha doğru yapılabilmesi için elde edilen veriler analiz edilmiş ve ANOVA verileri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde üretim parametrelerinin dış çap hata oranları üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ). Yazdırılabilirlik, tasarlanmış olan üç boyutlu yapının oluşturulması ve korunması için hamurun tekstürel özellikleri önemli parametrelerden biridir. Buğday unu, hamurda daha yapışkan, yazdırma esnasında kopma özelliği olmayan ve böylece tasarlanan üç boyutlu şeklin elde edilmesini imkânsız kılan bir yapı oluşturmaktadır. Bununla birlikte mısır unu eklenmesi yazdırılabilirliği sağlamakta iken, yine karides unu eklenmesi hem yazdırılabilirliği hem de hamur yapısına etki etmektedir. Zhang ve ark. [41] yüksek protein içerikli un kullanımının gıda yazıcısında iyi ekstrüde edilebilen hamur oluşturduğunu fakat hamurda, basılan ürünün yapısını önemli oranda bozan elastik iplik oluşumundan dolayı baskı işleminde olumsuzluk yarattığını bildirmişlerdir. Sertlik değerleri için karides unu oranı ve su sıcaklığı; kıvam değeri için

karides unu oranı ve su sıcaklığı; iç yapışkanlık için karides unu oranı ve su sıcaklığı; viskozite indeksi için karides unu oranı; iç çap hata oranı için mısır unu:buğday unu oranı, su sıcaklığı ve doluluk oranı; toplam hata oranı için ise karides unu oranı, mısır unu:buğday unu oranı, su sıcaklığı ve doluluk oranı değerlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0.05$ ). Vukušić Pavičić ve ark. [44] üç boyutlu kurabiye üretiminde kullanılan un çeşidinin son ürün şekline ve kalitesi üzerine önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Buna göre tasarlanan şekle en uygun üç

boyutlu ürünlerin elde edilmesini yulaf, çavdar ve keçiyoynuzu unu karışımının sağladığı bildirilmiştir. Başka bir çalışmada sıcaklığın baskı doğruluğunu etkilediğini ve balmumu bazlı oleojel karışımının 30°C sıcaklıkla en yüksek baskı doğruluğuna sahip ürünlerin yazdırılmasını sağlandığını bildirilmiştir [45]. Tüm veriler ışığında karides unu oranı ve su sıcaklığının birçok sonucu istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilediği görülmüş olup, soğuk su kullanılan denemelerde daha yumuşak yapıda bir hamur oluşumunun gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 2. 3D gıda yazıcısında üretilen 3D karides katkılı atıştırmalıklar  
Figure 2. 3D shrimp added snacks produced by 3D food printer

Tablo 6. Karides katkılı atıştırmalıklara ait ANOVA sonuçları (kodlu verilere göre)

Table 6. Analysis of variance for the model of shrimp added snacks with coded units

	Sertlik [Firmness]		Kıvam [Consistency]		İç yapışkanlık [Cohesiveness]		Viskozite indeksi [Work of Cohesion]		Dış çap hata oranı		İç çap hata oranı		Toplam hata oranı	
	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri
Sabit	1245	0.000*	20972	0.000*	-1408	0.000*	-1202	0.004*	6.77	0.002*	10.98	0.001*	17.749	0.000*
Karides unu oranı (%)	406	0.012*	6806	0.014*	-427	0.016*	-851	0.017*	-0.62	0.612	-3.03	0.083	-3.653	0.005*
Mısır unu : Buğday unu oranı (g : g)	64	0.573	2168	0.288	12	0.921	-150	0.565	1.20	0.342	-3.96	0.037*	-2.759	0.016*
Su sıcaklığı (°C)	728	0.001*	11927	0.001*	-846	0.001*	-446	0.126	-0.99	0.428	-4.71	0.020*	-5.697	0.001*
Yağ miktarı (g)	-130	0.277	-2237	0.275	171	0.213	8	0.975	-0.70	0.565	-0.57	0.701	-1.277	0.158
Ürün yüksekliği	46	0.684	1276	0.516	16	0.900	-1	0.998	-1.25	0.325	1.36	0.378	0.114	0.888
Doluluk oranı	-34	0.760	-429	0.824	-26	0.0837	-210	0.427	1.95	0.149	3.88	0.040*	5.832	0.001*
	R <sup>2</sup> = 0.93		R <sup>2</sup> = 0.92		R <sup>2</sup> = 0.93		R <sup>2</sup> = 0.77		R <sup>2</sup> = 0.57		R <sup>2</sup> = 0.87		R <sup>2</sup> = 0.97	

\* İstatistiksel olarak  $p<0.05$  düzeyinde önemlidir.

### Üç Boyutlu Karidesli Atıştırmalık Üretiminin Optimizasyonu

Elde edilen veriler ışığında minimum hata ile üç boyutlu karides unu eklenmiş atıştırmalıkların yazdırılabilmesi için farklı veriler baz alınarak optimum üretilere ait

deneme parametreleri belirlenmiştir. Optimum parametrelerin belirlenmesinde temel yaklaşım yazdırılan üç boyutlu şeklin korunabilmesi için sertlik değerinin yüksek ancak hata oranlarının (iç çap, dış çap ve toplam hata) sifira en yakın olduğu üretimin ortaya

konulmasıdır. Bu amaçla farklı sonuçlar hedeflenerek 3 farklı optimum belirlenmiş ve denenmiştir (Tablo 7).

Tablo 7 kapsamında elde edilen parametreler baz alınarak optimum üretim denemeleri gerçekleştirilmiş ve analizler sonucu elde edilen veriler beklenen değerler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 8).

Tablo 7. 3D karides katkılı atıştırmalıklara ait optimum üretim denemeleri

*Table 7. Optimum assays for 3D printed shrimp added snacks*

Optimum denemeler için hedeflenen sonuçlar	Optimum 1	Optimum 2	Optimum 3
• İç çap hata oranı (%)	-	Minimum	-
• Dış çap hata oranı (%)	-	Minimum	-
• Toplam hata oranı (%)	Minimum	Minimum	Minimum
• Sertlik (g)	-	Maksimum	Maksimum
Optimum denemelere ait parametreler	Optimum 1	Optimum 2	Optimum 3
• Karides unu oranı (%)	20	20	20
• Mısır unu:buğday unu oranı	3	2.80	3
• Su sıcaklığı (°C)	100	100	100
• Yağ miktarı (g)	12	4	4
• Ürün yüksekliği (Katman)	3	5	5
• Doluluk oranı (Katman)	3	3	3
• İstenilirlik faktörü (Desirability)	1	0.98	0.96

Tablo 8. 3D Karides katkılı atıştırmalıklar için optimum denemeler sonucu tahmin edilen ve hesaplanan değerler\*

*Table 8. Predicted and calculated values of optimum assays for 3D printed shrimp added snacks*

		Optimum 1	Optimum 2	Optimum 3
Toplam hata	Tahmin edilen değer	1.58	1.75	1.20
oranı (%)	Hesaplanan değer	1.36±0.35	1.90±0.54	1.25±0.17
Sertlik (g)	Tahmin edilen değer	2302.00	2641.20	2654.00
	Hesaplanan değer	2470.52±51.93	2590.49±11.62	2791±31.99

\*: Değerler "ortalama±standart hata" olarak verilmiştir.

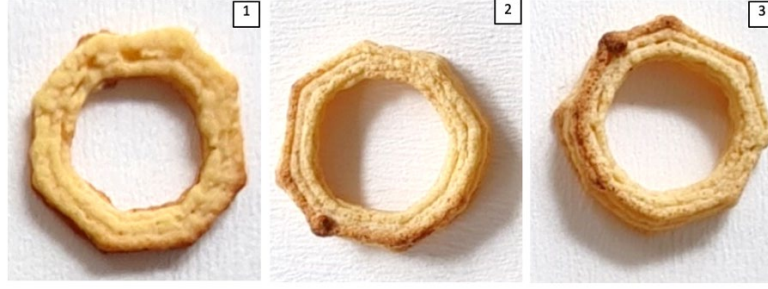
Tablo 8 incelendiğinde denklemler kullanılarak hesaplanan değerler ile optimum üretimleri sonrası gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen veriler birbirini destekleyici niteliktedir. İlgili verilerin, standart hata değerleri baz alındığında hesaplanan veri aralığında yer alması sayesinde modelin karidesli atıştırmalık üretiminde kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler sonucunda karides eti içeren 3D atıştırmalık üretiminde esasen birbirine yakın olan 3 farklı kompozisyonun rahatlıkla kullanılabilmesi ve benzer toplam hata oranları ile üretimlerin gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur. Optimum denemeler sonucu üretilen 3D ürünler 200±5°C'de 10 dk pişirilmiş ve ürünlerde şekil özellikleri incelenmiştir. Pişirilen ürünlerin su aktivitesi değerleri sırasıyla 0.82±0.02, 0.85±0.008, 0.85±0.002, nem içerikleri ise %14.18±0.04, %16.60±0.28, %16.81±0.60 olarak belirlenmiştir. İç çap değerleri 19.46± 0.39, 19.47±0.52, 19.33±1.88 mm, dış çap değerleri ise 27.74±0.28, 28.19±1.06, 28.95±0.24 mm olarak tespit edilmiştir. Üretimler sonrası pişirilen ürünlere ait görseller Şekil 3'te verilmiştir.

Bir çalışmada buğday unu, dondurularak kurutulmuş mango tozu, zeytinyağı ve su kullanılarak hazırlanan karışımda oranların yazdırma kalitesini direkt olarak etkilediği bildirilmiştir [42]. Farklı bir çalışmada da su oranı, un türü ve eklenen katkıların (kalsiyum kazeinat vb.) hamurun yazdırılabilirliğine etki ettiği ortaya konmuştur [41]. Farklı hamur formülasyonlarının yazdırılabilirliğe etkisinin ortaya konduğu bir çalışmada

en iyi hamur formülasyonunun 29 g su, 6.6 g sakaroz, 6 g tereyağ, 48 g düşük gluten içerikli un ve 10.4 g yumurtadan oluştuğu belirlenmiştir [46]. Karides tozu ve karides protein hidrolizatı katkılı ekstrüde atıştırmalık üretimi optimizasyonu çalışmasında duyuşal olarak en beğenilen kombinasyon %47.75 pirinç unu, %38.64 mısır unu, %5.95 karides protein hidrolizatı ve %7.67 karides tozundan oluştuğu bildirilmiştir [47]. Çalışmamızda da optimizasyon sonucu istenen şekle en uygun ürün elde edilmesi için karides unu oranı %20 belirlenmiş olup, mısır unu : buğday unu oranının ise 3:1 ve 2.8:1 olduğu üretimlerin yine optimum ürün üretimi için uygun değerler olduğu tespit edilmiştir.

3D yazıcı teknolojisi kullanılarak gıda üretimlerinde üretim sonrası işlemlerin spesifikasyonu (pişirme yöntemi, depolama, vb.) son ürün üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Pişirme esnasında hacim değişimi, kabuk oluşumu, protein denatürasyonu, lezzet bileşiklerinin oluşumu, renk değişimi, tekstür ve nem gibi farklı özelliklerde (kimyasal, fiziksel ve yapısal) değişimler olmaktadır [32]. Çalışma kapsamında optimum şartlarda üretilen karidesli atıştırmalıkların pişirme sonrasında da üç boyutlu yapılarını koruduğu belirlenmiş olup hamurun yazdırmaya izin verecek kadar yumuşak ancak üç boyutlu şekli koruyacak kadar da sert olduğu tespit edilmiştir. Özellikle 9-12 numaralı ürünlerin pişirilmesi durumunda şeklin tamamen kaybolacağı hamurun akışkanlığından açıkça anlaşılmaktadır.





Şekil 3. Optimum ürünlerin pişirme sonrası görüntüleri (Optimum 1-3)  
 Figure 3. Images of optimum samples's after cooking (Optimum: 1-3)

## SONUÇ

Çalışma kapsamında ülkemizde bol miktarda bulunan kabuklu deniz ürünlerinden karideslerin taze tüketimi dışında 3D gıda yazıcısı kullanılarak tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde kullanılarak tüketime hazır alternatif yeni bir ürün üretilmiştir. 3D gıda yazıcısında üretilen ürünlerin tekstürel özellikleri yazdırma ve yazdırma sonrası olası pişirme süreçlerinde şeklin korunumu açısından en önemli unsur oluşturmaktadır. Bu yüzden 3D gıda yazıcısında yazdırılabilen, şekilsel ve tekstürel yapısını koruyabilen hamur eldesi için söz konusu yapıya etki eden parametrelerin ve optimum koşulların belirlenmesi için Plackett-Burman tasarımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda un türü ve oranları, su ve yağ oranı gibi değerlerin ürünlerin yazdırılmasını direkt olarak etkilediği, hamurun tekstürel parametreleri üzerine karides unu oranı ve su sıcaklığının etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Üç boyutlu yapı ile ilgili olarak toplam hata için karides unu katkısı, buğday unu oranı, sıcaklık ve şekil doluluğunun etkisi önemli bulunmuştur. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında da karides unu eklenmiş sağlıklı atıştırmalık üretiminde 3D gıda yazıcısında ürün yazdırmayı sağlayacak en uygun formülasyon belirlenmiş olup elde edilen optimum ürünlerin yazdırma sonrası pişirme uygulandığında da üç boyutlu yapısını korunduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber hamur yapısına ve ürünlerin yazdırılmasına etki eden parametreler de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, benzer yaklaşımlar ile 3D gıda yazıcısında yazdırılabilecek formülasyonların oluşturulabileceğini göstermiştir. Yine sonuçlar değerlendirildiğinde su ürünlerinin tüketiminin artırılmasına yönelik alternatif yeni ürünlerinin geliştirilmesine ve özellikle 3D gıda yazıcısında geliştirilecek ürünlerin üretim parametrelerinin ortaya koyulmasına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sofi, F., Dinu, M.R. (2016). Nutrition and prevention of chronic-degenerative diseases. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 713-717.
- [2] Kris-Etherton, P.M., Harris, W.S., Appel, L.J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circularion*, 106, 2747-2757.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). (2021). Su Ürünleri İstatistikleri. *Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü*.

<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>,  
 Erişim tarihi: 24.08.2022.

- [4] T.C. Tarım Orman Bakanlığı. (2021). Tarım Ürünleri Piyasaları, Su Ürünleri. *Tarım Ekonomisi ve Politika Geliştirme Enstitüsü*. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Ürün%20Raporları/2021%20Ürün%20Raporları/Su%20Ürünleri%20Ürün%20Raporu%202021-338%20TEPGE.pdf>. Erişim tarihi: 24.08.2022.
- [5] Ertop, M.H., Kutluk, K., Coşkun, K., Canlı, S. (2016). Gıda endüstrisi yan ürünleri kullanımıyla cips üretimine yeni bir yaklaşım: Zenginleştirilmiş gluten cipsi. *Akademik Gıda*, 14(4), 398-406.
- [6] Potter, R., Stojceska, V., Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. *LWT-Food Science and Technology*, 51, 537-544.
- [7] Rathod, R.P., Annapure, U.S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 114-123.
- [8] Anton, A.A., Fulcher, R.G., Arntfield, S.D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effect of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113, 989-996.
- [9] Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S.A., Clarke, J., Rose, D.J. (2016). Effects of processing moisture on the physical properties and *in vitro* digestibility of starch and protein in extruded Brown rice and pinto bean composite flours. *Food Chemistry*, 211, 726-733.
- [10] Karaton Kuzgun, N. (2017). *Luciobarbus esocinus*, (Heckel 1843)'den elde edilen balık cipslerinin besin kompozisyonu ve duyu özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 13(2), 153-162.
- [11] Mohamed, G.F., Sulieman, A.M., Soliman, N.G. (2014). Fortification of biscuits with fish protein concentrate. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 9(2), 242-249.
- [12] Abraha, B., Mahmud, A., Admassu, H., Habte-Tsion, H.M., Xia, W., Yang, F. (2018). Production of biscuit from Chinese sturgeon fish fillet powder (*Acipenser sinensis*): A snack food for children. *Journal of Aquatic Food Production Technology*, 27(10), 1048-1062.
- [13] Azzollini, D., Derossi, A., Fogliano, V., Lakemond, C.M.M., Severini, C. (2018). Effects of formulation

- and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-enriched snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 344-353.
- [14] Suknark, K., McMatters, K.H., Phillips, R.D. (1998). Acceptance by American and Asian consumers of extruded fish and peanut snack products. *Journal of Food Science*, 63(4), 721-725.
- [15] Kong, J., Dougherty, M.P., Perkins, L.B., Camire, M.E. (2008). Composition and consumer acceptability of a novel extrusion-cooked salmon snack. *Journal of Food Science*, 73(3), 118-123.
- [16] Lucas, B.F., De Morais, M.G., Santos, T.D. (2018). Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. *LWT-Food Science and Technology*, 90, 270-276.
- [17] Kumar, R., Martin Xavier, K.A., Lekshmi, M., Balange, A. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194, 267-273.
- [18] Shaviklo, R.A., Azaribeh, M., Moradi, Y., Zangeneh, P. (2015). Formula optimisation and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 307-314.
- [19] Erkan, N., Özden, Ö., Üçok Alakavuk, D, Tosun, Ş.Y., Varlık, C., Baygar, T. (2007). İstanbul'da satılan karideslerin sodyum metabisülfid düzeyinin tespiti, *Journal of Fisheries Sciences*, 1(1), 26-33.
- [20] Yerlikaya, P., Topuz, O.K., Buyukbenli, H.A., Gokoglu, N. (2013). Fatty acid profiles of different shrimp species: Effects of depth of catching. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22:290-297.
- [21] Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S., Chiu, A. (2015). A review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manufacturing*, 1,308-319.
- [22] Godoi, F.C., Prakash, S., Bhandari, B.R. (2016). 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54.
- [23] Liu, Z., Bhandari, B., Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 83-94.
- [24] Cohen, D.L., Lipton, J.I., Cutler, M., Coulter, D., Vesco, A., Lipson, H. (2009). Hydrocolloid Printing: A Novel Platform for Customized Food Production. *Solid Freeform Fabrication Symposium*, September 18, 2009, Austin, Texas, USA, Book of Proceedings.
- [25] Dick, A., Bhandari, B., Dong, X., Sangeeta, P. (2020). Feasibility study of hydrocolloid incorporated 3D printed pork as dysphagia food. *Food Hydrocolloids*, 107, 105940.
- [26] Guo, C., Zhang, M., Devahastin, S. (2021). Color/aroma changes of 3D-printed buckwheat dough with yellow flesh peach as triggered by microwave heating of gelatin-gum Arabic complex coacervates. *Food Hydrocolloids*, 112, 106358.
- [27] Jagadishwaran, B., Alagarasan, V., Anandharamakrishnan, C. (2021). Valorization of food industry waste and by-products using 3D printing: A study on the development of value-added functional cookies. *Future Foods*.
- [28] Phuhongsung, P., Zhang, M., Devahastin, S. (2020). Influence of surface pH on color, texture and flavor of 3D printed composite mixture of soy protein isolate, pumpkin, and beetroot. *Food and Bioprocess Technology*, 13(9), 1600-1610.
- [29] Keerthana, K., Anukiruthika, T., Moses, J.A., Anandharam-akrishnan, C. (2020). Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *Journal of Food Engineering*, 287, 110116.
- [30] Uribe-Wandurraga, Z.N., Zhang, L., Noort, M.W.J., Schutyser, M.A.I., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. (2020). Printability and physicochemical properties of microalgae-enriched 3D-Printed snacks. *Food and Bioprocess Technology*, 13(11), 2029-2042.
- [31] Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20-27.
- [32] Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., Derossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*, 106, 666-676.
- [33] Ahuja, S.K., Ferreira, G.M., Moreira, A.R. (2004). Application of Plackett-Burman Design and Response Surface Methodology to Achieve Exponential Growth for Aggregated Shipworm Bacterium. *Biotechnology and Bioengineering*, 85(6), 666-675.
- [34] Li, X., Xu, H., Liu, F., Peng, Q., Chen, F., Guo, Y. (2021). Utilizing Plackett-Burman design and response surface analysis to optimize ultrasonic cleaning of pesticide residues from rape. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 2061-2069.
- [35] Pacularu-Burada, B., Turturica, M., Rorcha, J.M., Bahrim, G.E. (2021). Statistical approach to potentially enhance the postbiotication of gluten-free sourdough. *Applied Sciences*, 11(11), 2-25.
- [36] Valmorida, J.S., Castillo-Israel, K.A.T. (2018). Application of Plackett-Burman experimentals design in the development of muffin using adlay flour. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 102, 012081.
- [37] Singh, R.K.R., Majumdar, R.K., Venkateshwarlu, G. (2014). Optimum extrusion conditions for improving physical properties of fish cereal-based snacks by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1827-1836.
- [38] Majumdar, R.K., Singh, R.K.R. (2014). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of fish-based expanded snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 864-879.
- [39] Vanaja, K., Rani, R.H.S. (2007). Design of experiments: Concept and applications of Plackett-

- Burman design. *Clinical Research and Regulatory Affairs*, 24(1),1-23.
- [40] Khan, M.A., Sastry, S.V., Vaithiyalingam, S.R., Agarwal, V., Nazzal, S., Reddy, I.K. (2000). Captopril gastrointestinal therapeutic system coated with cellulose acetate pseudolatex: evaluation of main effects of several formulation variables. *International Journal of Pharmaceutics*, 193, 147-156.
- [41] Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M.A.I. 2018. 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14-22.
- [42] Liu, Y., Liang, X., Saeed, A., L. W., Quin, W. (2019). Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54, 9-18.
- [43] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th edition. Washington, DC.
- [44] Vukušić Pavičić, T., Grgić, T., Ivanov, M., Novotni, D., & Herceg, Z. (2021). Influence of flour and fat type on dough rheology and technological characteristics of 3D-printed cookies. *Foods*, 10(1), 193.
- [45] Shi, Y., Zhang, M., Bhandari, B. (2021). Effect of addition of beeswax based oleogel on 3D printing of potato starch-protein system. *Food Structure*, 27, 100176.
- [46] Yang, F., Zhang, M., Prakash, S., Liu, Y. (2018). Physical properties of 3D printed baking dough as affected by different compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 202-210.
- [47] Jeyakumari, A., Das, M.S.R., Bindu, J., Joshy, C.G., Zynudheen, A.A. (2016). Optimisation and comparative study on the addition of shrimp protein hydrolysate and shrimp powder on physicochemical properties of extruded snack. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 1578-1585.
-