



ÜÇ BOYUTLU (3D) BASKI TEKNİĞİYLE ELMA VE HAVUÇ SUYU BAZLI ÜRÜNLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Selçuk OK, Emin YILMAZ*

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Geliş/Received: 26.02.2024; Kabul /Accepted: 22.07.2024; Online baskı /Published online: 26.07.2024

Ok, S., Yılmaz, E. (2024). Üç boyutlu (3D) baskı tekniğiyle elma ve havuç suyu bazlı ürünlerin üretimi ve karakterizasyonu. GIDA (2024) 49 (4) 714-729 doi: 10.15237/ gida.GD24029

Ok, S., Yılmaz, E. (2024). Production of apple and carrot juice based products using three-dimensional (3D) printing technique and their characterization. GIDA (2024) 49 (4) 714-729 doi: 10.15237/ gida.GD24029

ÖZ

Bu çalışmada, 3D gıda yazıcısıyla elma ve havuç suyu bazlı sağlıklı, seçilen meyve ve sebzenin kendine has duyuşal özelliklerini taşıyan atıştırma ürünlerinin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu atıştırma ürünlerinin, meyve ve sebzeleri doğal formlarında tüketmeyi sevmeyen ve/veya tekstürlerinden dolayı tüketemeyen insanlar (yaşlılar, yutkunma zorluğu çekenler) için bir alternatif olacağı düşünülmüştür. Elma ve havuç suyunun jelleşmesi için gereken minimum nişasta konsantrasyonu %5 olarak belirlenmiştir. Parçalanmış jellerin reolojik özellikleri belirlenmiş ve bu parçalanmış jeller 3D yazıcıda işlenmiştir. %97 oranında basılabilirlik ve %98 oranında stabilite değerlerine sahip elma ve havuç suyu bazlı 3D ürünler elde edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre her iki örneğin genel kabul skorları orta değerinin altında kalmıştır. Ayrıca, ürünlerin fizikokimyasal ve termal özellikleri belirlenmiş, baskı hızı ve doluluk oranının baskı kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: 3D gıda yazıcısı, jel, elma suyu, havuç suyu, reoloji, duyuşal

PRODUCTION OF APPLE AND CARROT JUICE BASED PRODUCTS USING THREE-DIMENSIONAL (3D) PRINTING TECHNIQUE AND THEIR CHARACTERIZATION

ABSTRACT

This study aimed to produce apple and carrot juice-based healthy snacks with unique sensory properties of selected fruit and vegetable with a 3D food printer. It was thought that these snacks will be an alternative for those who do not like to consume fruits and vegetables in their natural form and/or for people who cannot consume fruits and vegetables due to their texture (elders, people with swallowing difficulty). Minimum starch concentration required for gelation of apple and carrot juice was determined as 5%. Rheological properties of disintegrated gels were determined and these disintegrated gels were processed in 3D printer. Apple and carrot juice-based 3D products with 97% printability and 98% stability were obtained. According to sensory analysis results, general acceptance scores remained below medium value. Moreover, physicochemical and thermal properties of the products were determined, and effects of printing speed and filling rate on printing quality were examined.

Keywords: 3D food printer, gel, apple juice, carrot juice, rheology, sensory

* Yazışmalardan sorumlu yazar/ Corresponding author

✉: eyilmaz@comu.edu.tr

☎: (+90) 286 218 0018/2148

☎: (+90) 286 218 0541

Selçuk Ok; ORCID no: 0000-0002-4257-6097

Emin Yılmaz; ORCID no: 0000-0003-1527-5042

GİRİŞ

Üç boyutlu (3D) baskı tekniği, malzemelerin katman katman biriktirilmesiyle üç boyutlu bir yapının üretildiği, gelişmekte olan bir teknolojidir. 3D gıda yazıcıları gıda sektöründe kompleks geometride, istenilen tekstürde ve belirli bir amaca uygun besinsel içerikte, istenilen duyuşal özelliklerde (tat, aroma, ağız hissi, dış görünüş vb.), kısacası kişinin kendi tercihlerine göre, gıda yapılarının oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır (Godoi vd., 2016). Bu yolla hazırlanan gıdaların çeşitli problemlere çözüm getirebileceği düşünülmektedir. Çocuklar için yüksek besin değerlerine sahip atıştırmalıkların hazırlandığı (Derossi vd., 2018), yutma güçlüğü çeken kişiler için uygun dokuya sahip yiyeceklerin hazırlandığı (Kouzani vd., 2017) ve öğütülmüş un kurdu gibi alternatif gıda kaynaklarının kullanıldığı (Severini vd., 2018) çalışmalar örnek olarak verilebilir.

Ekstrüzyon tekniğini baz alan 3D gıda yazıcıları ile işlenecek gıdaların kayma ile incelen akış davranış özelliği göstermesi ve önemli ölçüde kayma gerilimi ve depo modülü değerlerine sahip olması oldukça önemlidir. Kayma ile incelen akış davranış özelliği baskı işlemini (ekstrüzyon başlığından çıkış) kolaylaştırırken yeterli kayma gerilimi ve depo modülü değeri ile üretimden sonra ürün şeklini daha iyi korumaktadır (Sommer vd., 2017; Liu vd., 2019). Ekstrüzyon bazlı 3D gıda yazıcılarında işlemeye yönelik formülasyonlar geliştirilirken, genel olarak, ürünlerin formülasyonları modifiye edilmiş (Lipton vd., 2010) veya doğal olarak baskı işlemine uygun olmayan ürünler (meyve suları gibi) için çeşitli kıvam artırıcılar kullanılmıştır (Azam vd., 2018). Ayrıca, bir çalışmada, biyobaskı işleminde kullanılmak üzere mikrojel bazlı formülasyonlar geliştirilmiştir. Bahsedilen çalışmada, mikrojellerin kayma ile incelen akış davranışına ve yeterli kayma gerilimine sahip oldukları belirtilmiştir (Song vd., 2020).

Mikrojel üretiminde kullanılan yöntemlerden biri de makrojellerin küçük parçalara ayrıldığı parçalama yöntemidir (Ishii vd., 2018). Belirtilen yöntem, bu çalışmada parçalanmış jellerin üretilmesinde kullanılan yöntemle oldukça

benzerdir. Bu nedenle, parçalanmış jellerin 3D gıda yazıcılarında işlenmeye uygun olabileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada elma ve havuç suyu kullanılarak parçalanmış jeller üretilmiş ve elde edilen parçalanmış jellerin 3D gıda yazıcısında işlenmesiyle birlikte sağlıklı, meyve ve sebzelerin kendine has duyuşal özelliklerine sahip, katı formda atıştırmalıklar üretilmiştir. Bu atıştırmalıkların, meyve ve sebzeleri doğal formlarında tüketmeyi sevmeyenlerin yanı sıra, sert yapılarından dolayı belirtilen meyve ve sebzeleri tüketemeyen insanlar (yaşlılar ve yutkunma zorluğu çekenler) için de önemli bir alternatif olacağı düşünülmektedir. İlgi çekici bir dış görünüş ve şekilde üretilecek atıştırmalıklar ile elma ve havuç tüketmenin yeni yollarını arayan tüketiciler için alternatif ürünler geliştirilebileceği düşünülmüştür. Çalışmada meyve ve sebze suyu bazlı parçalanmış jellerin reolojik özellikleri ve baskı kalitesi belirlenmiş, bunun yanı sıra üretilen 3D gıda ürünlerinin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri de analiz edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyaller

Elma ve havuç suları Konfrut Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Denizli, Türkiye) isimli firmadan temin edilmiştir. Üretimde kullanılan mısır nişastası Alfasol (İstanbul, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan kimyasallar ise Sigma Chem. Co. (St. Louis, ABD) isimli firmadan satın alınmıştır.

Elma ve havuç sularından jel eldesi ve minimum jelleşme konsantrasyonunun belirlenmesi

Jel üretiminde %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında mısır nişastası kullanılmış ve nişasta için minimum jelleşme konsantrasyonu (C*) belirlenmiştir. Konsantrasyonlar belirlenirken yapılan ön denemeler ve literatürdeki çalışmalar baz alınmıştır. Jel hazırlanırken Farahnaky vd. (2014) çalışması baz alınmıştır. Bu amaçla, belirtilen oranlarda nişasta ayrı ayrı elma ve havuç sularına eklenmiş, karışım manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılıp ısıtılmıştır. Karışım sıcaklığı 80 °C'ye geldiğinde 10 dakika daha karıştırılmış ve

daha sonra 1 gece 4 °C'de jel oluşumu için bekletilmiştir.

Minimum jelleşme konsantrasyonu her bir örnek için ayrı ayrı belirlenmiş ve belirlenen konsantrasyon kullanılarak parçalanmış jeller üretilmiştir. 3D baskı işlemi 25°C'de gerçekleştirildiğinden, 25°C'deki minimum jelleşme konsantrasyonu belirlenmiştir. Minimum jelleşme konsantrasyonlarının belirlenmesi için yapılan görsel değerlendirmede tüpler ters çevrilerek, akışı olmayan ve katı görünümü olan numuneler jel olarak kabul edilmiştir (Yılmaz vd., 2021).

Parçalanmış jellerin üretimi

Yapılan ölçümler sonucunda hem elma hem de havuç suyunun jelleştirilmesinde kullanılan nişasta için minimum jelleşme konsantrasyonu %5 olarak belirlenmiş (sonuçlardan "Bulgular ve Tartışma" bölümünde detaylı bir şekilde bahsedilmiştir) ve parçalanmış elma ve havuç suyu jelleri üretilirken öncelikle yukarıda belirtildiği gibi belirtilen konsantrasyonda ayrı ayrı jeller üretilmiştir. Daha sonra, her bir jel distile su (1:1, ağırlık: hacim) ile karıştırılmış ve su içindeki jel parçaları blenderde (Russell Hobbs, RRH Small Electric Appliances Limited Company, İstanbul, Türkiye) 22000 rpm hızla 2 dk parçalanmıştır. Son olarak bu parçalanmış jeller, santrifüj (6800 xg, 20 dakika, 25 °C) (Sigma 2-16K, Postfach, Almanya) yardımıyla sulu fazdan ayrılmış ve ayrı ayrı parçalanmış elma ve havuç suyu jelleri elde edilmiştir. Uygulanan işlemlere ait parametreler yapılan ön denemeler ile belirlenmiştir.

Jellerin ve parçalanmış jellerin reolojik analizleri

Jellerin ve parçalanmış jellerin reolojik analizlerinde depo modülü (G'), kayıp modülü (G'') ve kayıp faktörü ($\tan \delta$) değerleri belirlenmiştir. Analizler paralel plakalı (40 mm çap ve 1000 μm boşluk) DHR 2 Reometre (TA Instruments, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler Yılmaz vd. (2021) çalışması baz alınarak seçilmiştir. İlk olarak, her bir örnek için doğrusal viskoelastik bölgeyi belirlemek amacıyla 25 °C'de ve 1 Hz frekansta genlik taraması (strain

= %0.1–100) yapılmıştır. Daha sonra, 25 °C'de ve doğrusal viskoelastik bölgede her bir örnek için frekans taraması (0.1-100 Hz) yapılmıştır. Her numune için depo modülü (G'), kayıp modülü (G'') ve kayıp faktörü ($\tan \delta$) değerleri belirlenmiştir.

Ek olarak, Azam vd. (2018) çalışması izlenerek, parçalanmış jeller için, viskozite ve kayma gerilimi ölçümleri de yapılmıştır. Analiz 25 °C'de 1 ile 100 1/s arasında değişen kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir.

3D baskı işlemi

Parçalanmış elma ve havuç suyu jellerini işlemek için CURA 15.02 yazılımına (Ultimaker B.V., Hollanda) sahip ekstrüzyon bazlı bir 3D yazıcı olan Wüibox Sweetin (Çin) (90mm x 90mm x 70 mm baskı boyutu, 1 adet ekstrüzyon başlığı, 15-70 mm/s baskı hızı) kullanılmıştır. Silindir şeklinde (çap: 30 mm, yükseklik: 30 mm) 3 boyutlu ürünler üretilmiştir. Kullanılan baskı işlemi parametreleri şunlardır; 25 °C baskı sıcaklığı, 40 mm/s baskı hızı, %100 doluluk oranı, %100 akış hızı, 0.84 mm çapında ekstrüzyon çıkış ucu ve 2 mm alt/üst kalınlık. Bu çalışmada kullanılan baskı parametreleri ön denemeler ve daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak seçilmiştir (Derossi vd., 2018, 2020; Ok vd. 2024). Üretim akış şeması ve çalışmada kullanılan 3D gıda yazıcısı, sırasıyla, Şekil 1 ve Şekil 2'de sunulmuştur.

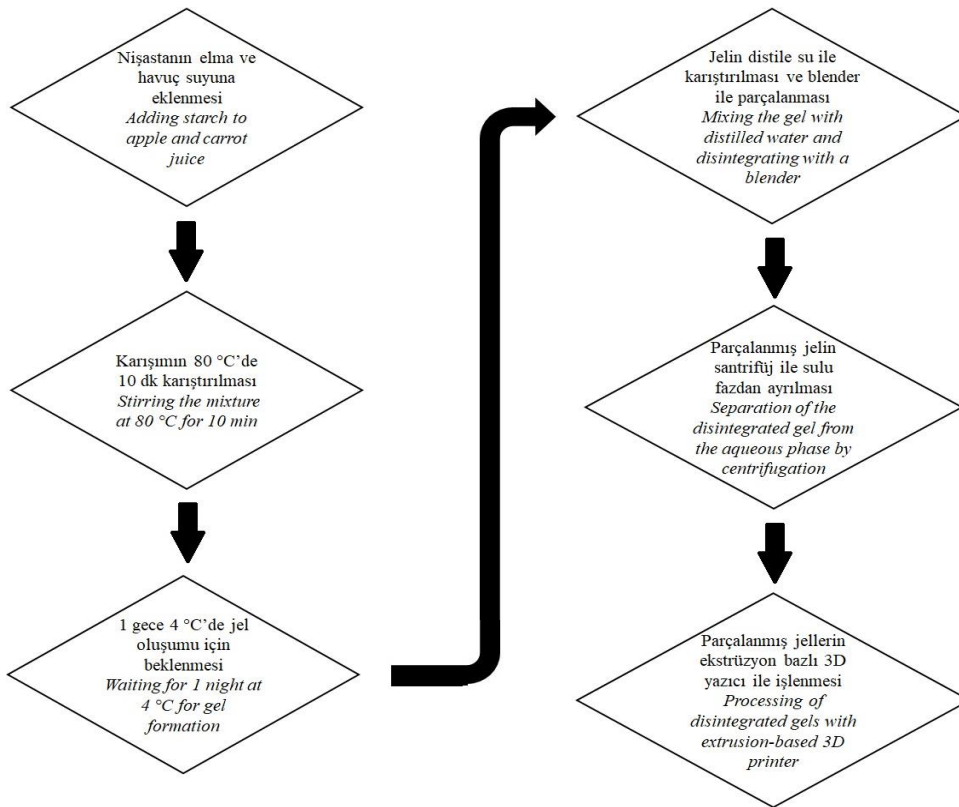
Çalışmada baskı işleminin parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla, yine silindir şeklinde (çap: 30 mm, yükseklik: 30 mm) ürünler üretilmiş ve üretim 25 °C baskı sıcaklığında, %100 akış hızında gerçekleştirilmiştir. 0.84 mm çapında ekstrüzyon çıkış ucu ve alt/üst kalınlık 2 mm olarak seçilmiştir. Düşük (15 mm/s), orta (40 mm/s) ve yüksek (70 mm/s) baskı hızları ve %50, 75 ve 100 doluluk oranları denenmiştir.

Parçalanmış jellerin 3D yazıcıda işlenmeye uygunluğunun belirlenmesi

Parçalanmış elma ve havuç suyu jellerinin 3D yazıcıda işlenmeye uygunluğu, basılabilirlik (elde edilen ürünlerin hedef geometriye uygunluğu) ve boyutsal stabilite (ürünlerin belirli bir süredeki dayanıklılığı) terimleri ile belirlenmiştir. Bu

analizlerde Azam vd. (2018) çalışmasındaki yöntemler kullanılmıştır. Basılabilirliğin (hedef geometriye uygunluğun) belirlenmesi için, basılan ürünün yüksekliği, baskı işleminden hemen sonra dijital kumpas yardımıyla ölçülmüş ve yazılımla belirlenen yükseklik ile karşılaştırılmıştır. Boyutsal stabilitenin belirlenmesinde 3 boyutlu ürünlerin boyutlarındaki bozulma oranları incelenmiştir. Bu amaçla baskı işleminden hemen sonra ürünün

yüksekliği dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Daha sonra basılan ürün 25 °C'de 1 saat bekletilmiş ve yükseklik tekrar ölçülmüştür. Son olarak yükseklikteki değişim hesaplanmıştır. Her bir üründe yükseklik ölçümü 8 farklı noktadan yapılmıştır. Basılabilirlik ve boyutsal stabilite değerleri sırasıyla (1) ve (2) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Üretim akış şeması
Figure 1. Production flow chart

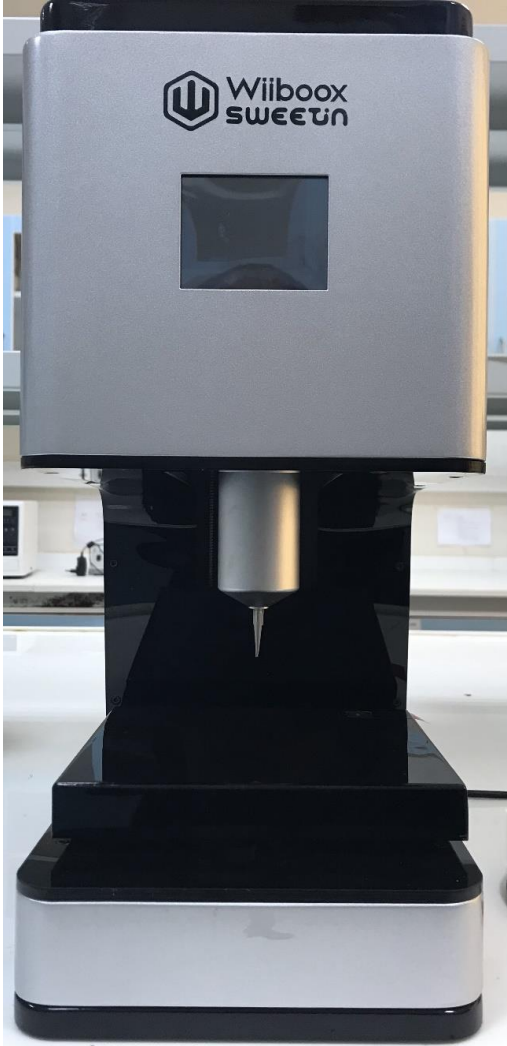
$$\text{Basılabilirlik} = \left[\frac{\text{Ürünün yüksekliği}}{\text{Ürünün hedeflenen yüksekliği}} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Boyutsal Stabilite} = \left[\frac{\text{Ürünün 1 saat sonraki yüksekliği}}{\text{Ürünün baskı işleminden hemen sonraki yüksekliği}} \right] \times 100 \quad (2)$$

Belirtilen ölçümler üretim parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkisi incelenirken de kullanılmıştır.

Ürünlerin fizikokimyasal ve termal özelliklerinin belirlenmesi

Elma ve havuç suyu bazlı ürünlerin nem, yağ, protein ve kül içerikleri Bchir vd. (2012) çalışmasındaki yöntemler ile belirlenmiştir. Ürünlerin renk değerleri Minolta CR 400 renk ölçer ile (Minolta Camera Co., Osaka, Japonya) ölçülmüştür. Termal özellikler Pyris 1 yazılımına sahip DSC (Perkin-Elmer DSC 4000, Waltham, MA) kullanılarak ve Yılmaz vd. (2015) çalışması baz alınarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan 3D gıda yazıcısı
Figure 2. 3D food printer used in the study

Ürünlerin duyuşsal analizi

Duyusal Tanımlama Testi (QDA) ve Tüketici Testi uygulanmıştır (Meilgaard vd., 1991). Duyusal Tanımlama Testi (QDA) için 6 erkek ve 6 kadın olmak üzere 12 panelist seçilmiş olup panelistlerin yaşı 24 ile 52 arasında değişmektedir. Panelistlere farklı gün ve oturumlarda en az 15 saat eğitim verilmiştir. Daha sonra, panel liderinin yönetiminde tanımlayıcı terimler geliştirilmiş ve bu terimler Çizelge 1'de sunulmuştur. Geliştirilen terimler belirlenen referanslar eşliğinde farklı oturumlarda 10'luk skala (1 minimum yoğunluk, 10 maksimum yoğunluk) üzerinden değerlendirilmiştir. Panelistlere numunelerin yanı

sıra su, tuzsuz kraker ve kuru kahve verilmiştir. Tüketici testi yaşları 21 ile 35 arasında değişen gönüllü katılımcılara uygulanmıştır. Değerlendirmede 5'lik hedonik skala (1= hiç beğenmedim, 5= çok beğendim) kullanılmış ve örnekler görünüş, koku/aroma, tat/lezzet, ağız hissi ve genel kabul bakımından değerlendirilmiştir. Tüketicilere numunelerin yanı sıra su, tuzsuz kraker ve kuru kahve verilmiştir.

İstatistiksel analizler

Elma ve havuç suyu bazlı ürünlerin üretimi 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve tüm analizler her tekerrür için minimum iki kez tekrarlanmıştır. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak ifade edilmiştir. Karşılaştırma yapılan bölümlerde, toplanan veriler ANOVA yöntemi ile analiz edilmiş ve deneme grupları Tukey testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler için Minitab Ver. 21.4.2 (Minitab, 2023) paket programı kullanılmıştır. Bu çalışma için güven düzeyi en az %95 olarak belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Minimum jelleşme konsantrasyonları

3D baskı işlemi 25 °C'de gerçekleştirildiğinden, elma ve havuç suyu bazlı jellerin üretiminde kullanılan nişasta için minimum jelleşme konsantrasyonu (C*) 25 °C sıcaklıkta belirlenmiştir.

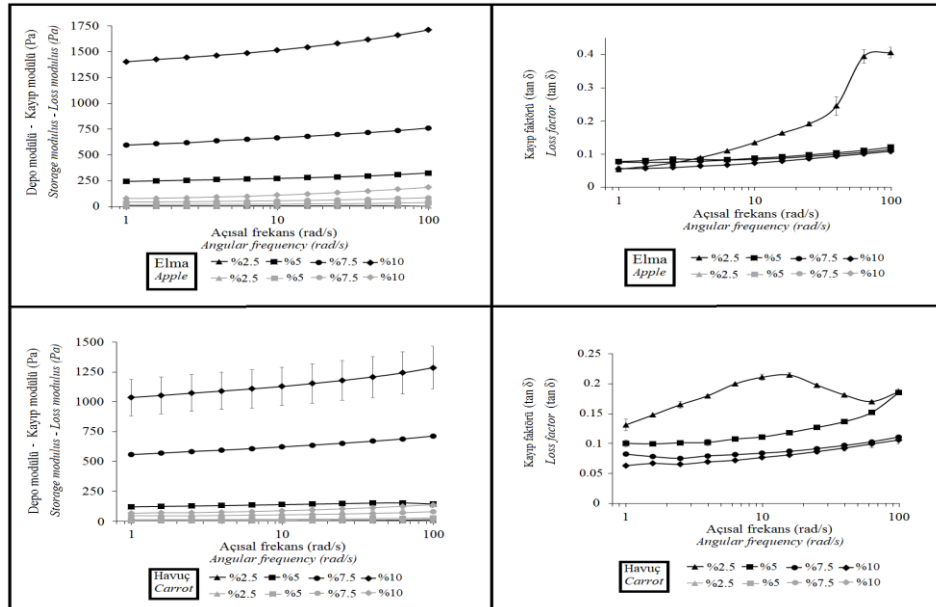
Numunelerin reolojik özellikleri olan depo modülü (G'), kayıp modülü (G'') ve kayıp faktörü ($\tan \delta$) Şekil 3'te sunulmuştur. Katı benzeri davranış, depo modülü (G') ile karakterize edilirken, sıvı benzeri davranış kayıp modülü (G'') değeri ile karakterize edilmektedir. Kayıp faktörü ($\tan \delta = G''/G'$) değeri ise malzemenin baskın davranışını gösteren bir parametredir. Yüksek $\tan \delta$ değeri daha akışkan benzeri davranış, düşük $\tan \delta$ değeri ise daha katı benzeri davranış gösterir (Barnes, 2000). Şekil 3'te görüldüğü gibi hem elma hem de havuç suyu jellerinde, nişasta konsantrasyonunun artmasıyla depo modülü değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür ($P < 0.05$). Ayrıca, nişasta konsantrasyonu arttıkça $\tan \delta$ değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Önceki çalışmalarda, jel kuvveti ve nişasta konsantrasyonu arasındaki ilişki, nişasta granülleri tarafından daha fazla su emilimi ile

ilişkilendirilmiştir (Göksel vd., 2013). Depo modülü ve kayıp faktörü değerleri dikkate alındığında hem elma hem de havuç suyu bazlı

örneklerde %2.5'lik nişasta konsantrasyonlarında sıvı benzeri davranışın daha baskın olduğu görülmektedir ($P < 0.05$).

Çizelge 1. 3D yazıcı ile elde edilen ürünlere ait duyu terimleri, tanımları ve referansları
Table 1. Sensory terms, definitions and references for products obtained with 3D printer

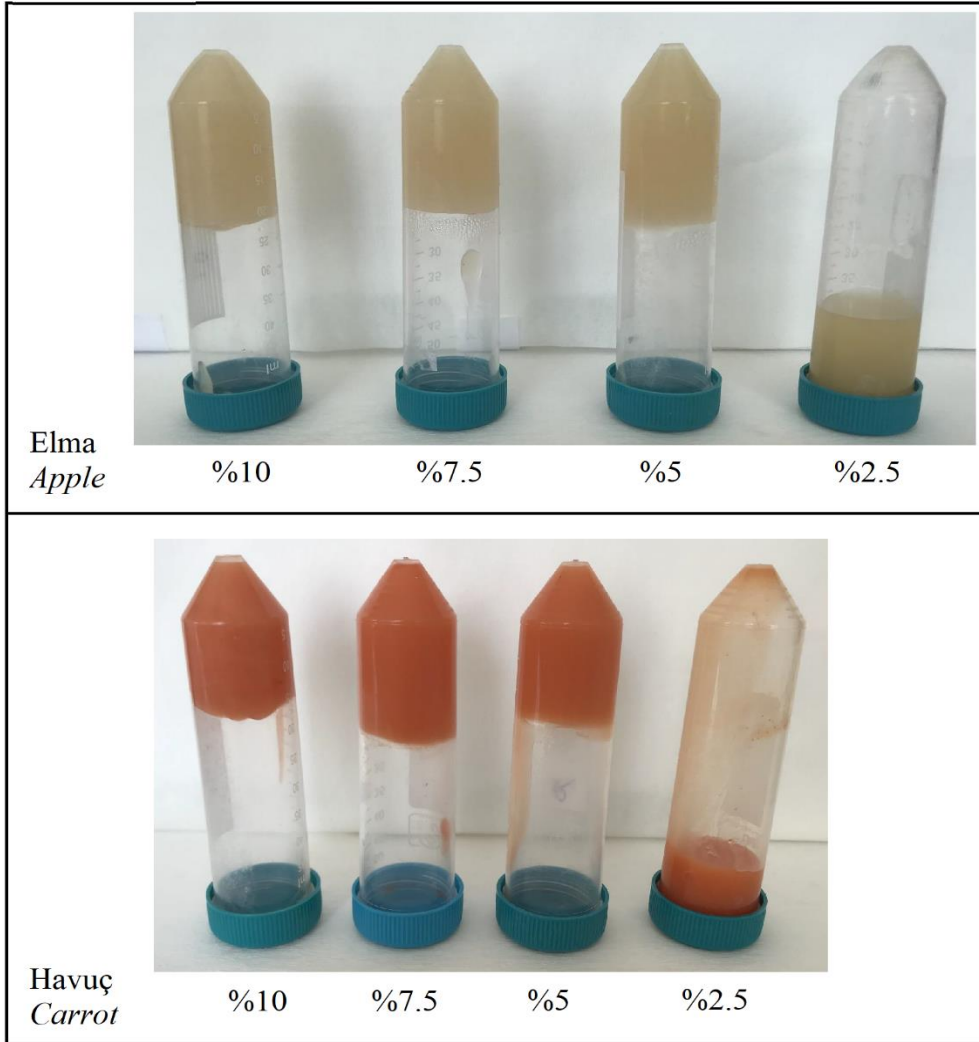
Duyusal terim <i>Sensory term</i>	Tanım <i>Definition</i>	Referans <i>Reference</i>
Şekilsel bütünlük <i>Shape integrity</i>	Silindir şeklinin mükemmelliği <i>Perfection of cylinder shape</i>	Silindir şişe <i>Cylinder bottle</i>
Sertlik <i>Hardness</i>	İlk ısırma dişlerde hissedilen direnç <i>The resistance felt in the teeth at the first bite</i>	Min: Yoğurt Max: Jelibon <i>Min: Yoghurt</i> <i>Max: Jelly bean</i>
Çiğnenabilirlik <i>Chewiness</i>	Ağızda dağılmadan çiğnenebilme durumu <i>Ability to chew without falling apart in the mouth</i>	Min: Yoğurt Max: Sakız <i>Min: Yoghurt</i> <i>Max: Gum</i>
Damağa yapışma <i>Adhesion to the palate,</i>	Ağız boşluğuna sıvanma ve çözünmeden kalma süresi <i>Adhesion to the oral cavity and the time it remains undissolved</i>	Min: Yoğurt Max: Sakız <i>Min: Yoghurt</i> <i>Max: Gum</i>
Tatlılık <i>Sweetness</i>	Şekerden alınan temel tat <i>Basic taste of sugar</i>	%5 sükröz çözeltisi <i>5% sucrose solution</i>
Ekşilik <i>Sourness</i>	Organik asitlerden alınan temel tat <i>Basic taste of organic acids</i>	Limon suyu <i>Lemon juice</i>
Meyve ve sebze lezzeti <i>Flavor of fruit and vegetable</i>	İlgili meyve ve sebzenin lezzeti <i>Flavor of respective fruit and vegetable</i>	Taze elma ve havuç <i>Fresh apple and carrot</i>



Şekil 3. Elma ve havuç suyu jellerinin reolojik özellikleri (Frekans tarama testi sonuçlarında depo modülü değerleri siyah ile, kayıp modülü değerleri ise gri ile gösterilmiştir) ($P < 0.05$)
Figure 3. Rheological properties of apple and carrot juice gels (Storage modulus values are shown in black and loss modulus values are shown in gray in frequency sweep test results) ($P < 0.05$)

Görsel değerlendirme için ters çevrilmiş tüpler Şekil 4'te gösterilmektedir. Hem elma suyu hem de havuç suyu bazlı örneklerde %2.5'lik nişasta konsantrasyonunda aşağı yöne doğru hareket eden, katı olmayan bir yapı gözlenmiştir. Bu anlamda, görsel değerlendirme sonuçlarının reolojik ölçüm sonuçlarını desteklediği görülmektedir. Sonuç olarak elma ve havuç suyu bazlı jellerin üretiminde kullanılan nişasta için minimum jelleşme konsantrasyonu (C*) %5 olarak belirlenmiş ve parçalanmış jellerin üretiminde bu konsantrasyon değeri kullanılmıştır. Rosalina ve Bhattacharya (2002),

nişasta modifikasyonunun ve konsantrasyonunun sudaki nişasta jellerinin reolojik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Nişasta konsantrasyonunun reolojik özellikleri önemli ölçüde etkilediği, konsantrasyon arttıkça depo modülü değerinin arttığı görülmüştür. Mısır nişastasası için minimum jelleşme konsantrasyonunu %4 olarak belirlemiştir. Elma ve havuç sularının fizikokimyasal özelliklerinin (pH, bileşim vb.) jel özelliklerini etkileyebileceği düşünülmekle birlikte, çalışmamızdaki sonuçların genel anlamda literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Elma ve havuç suyu jelleri
Figure 4. Apple and carrot juice gels

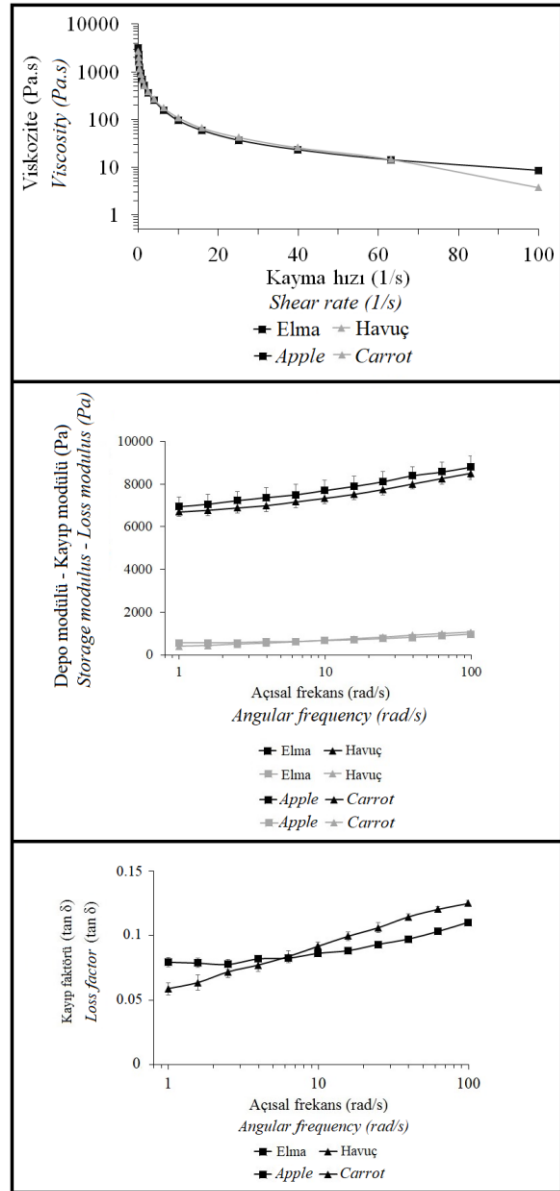
Yukarıda da belirtildiği gibi, minimum jelleşme konsantrasyonu (%5 nişasta) kullanılarak elma ve havuç suyu bazlı parçalanmış jeller üretilmiş ve elde edilen bu parçalanmış jeller 3D yazıcıda işlenmiştir. Elma ve havuç sularının temel özelliklerinin (tat, bileşim vb.) mümkün olduğu kadar korunması istenmiş, bu nedenle jelatörün mümkün olan en düşük konsantrasyonda eklenmesi gerektiği düşünülmüştür.

Parçalanmış jellerin reolojik özellikleri

3D baskı kalitesini etkileyen ana faktörün reolojik özellikler olduğu bilinmektedir. Kayma ile incelen akış davranışı baskı işlemini kolaylaştırırken, yeterli kayma gerilimi ve depo modülü değerleri ise baskı işlemi sonrasında şeklin daha iyi korunmasını sağlamaktadır (Sommer vd., 2017; Liu vd., 2019). Bu nedenle parçalanmış elma ve havuç suyu jellerinin depo modülü, kayıp modülü ve kayıp faktörü değerleri ile akış davranışları belirlenmiştir.

Parçalanmış elma ve havuç suyu jellerinin (%5'lik nişasta ile hazırlanmış) akış davranış özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Kayma hızının artmasıyla birlikte her iki örnekte de görünür viskozitesinin azaldığı ve sonuç olarak her iki örneğin de kayma ile incelen akış davranışına sahip olduğu görülmüştür. Kayma ile incelen akış davranışı, kayma gerilimi sırasında üretilen hidrodinamik kuvvetler nedeniyle yapısal birimlerin parçalanmasıyla ilişkilendirilmiştir (Azam vd., 2018).

Daha önce bahsedildiği gibi, katı ve sıvı benzeri davranışlar sırasıyla depo modülü (G') ve kayıp modülü (G'') ile karakterize edilmektedir. Ayrıca, yüksek kayıp faktörü ($\tan \delta$) değeri daha akışkan davranışı, düşük kayıp faktörü değeri ise daha katı benzeri davranışı göstermektedir (Barnes, 2000). Parçalanmış elma ve havuç suyu jellerinin depo modülü (G'), kayıp modülü (G'') ve kayıp faktörü ($\tan \delta$) değerleri Şekil 5'te sunulmuştur. Frekans tarama testi sonuçlarında görüldüğü gibi her iki modülün de frekansa bağlı olduğu görülmektedir.



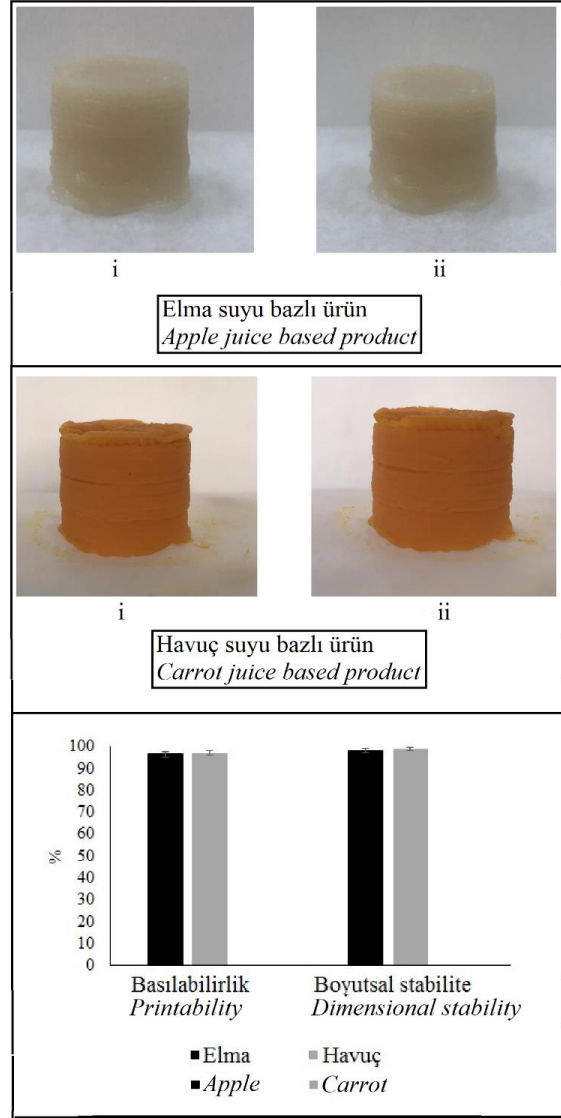
Şekil 5. Parçalanmış elma ve havuç suyu jellerinin akış davranışları (Viskoziteye karşı kayma hızı), depo modülü, kayıp modülü ve kayıp faktörü değerleri (Frekans tarama testi sonuçlarında depo modülü değerleri siyah ile, kayıp modülü değerleri ise gri ile gösterilmiştir)

Figure 5. Flow behaviors (shear rate versus viscosity), storage modulus, loss modulus and loss factor values of disintegrated apple and carrot juice gels (Storage modulus values are shown in black and loss modulus values are shown in gray in frequency sweep test results)

Bir çalışmada (Yang vd., 2018), nişasta kullanılarak limon suyu jelleri hazırlanmış ve nişasta konsantrasyonunun (%10, %12.5, %15, %17.5 ve %20) reolojik özelliklere etkisi belirlenmiştir. Bizim çalışmamıza benzer şekilde jellerin kayma ile incelen akış davranış özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Depo modülü ve kayıp faktörü değerlerinin nişasta konsantrasyonundan önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür ($P < 0.05$). Depo modülü değeri %10, %12.5 ve %15 konsantrasyon değerleri için sırasıyla yaklaşık 2000, 4000 ve 6000 Pa olarak ölçülmüştür. Çalışmamızda %5'lik nişasta konsantrasyonunda hazırlanan parçalanmış jeller için depo modülü değeri yaklaşık 7000 Pa olarak bulunmuştur. Sonuçların önemli ölçüde farklı olmasında jelleştirilen hammaddelerin farklı olmasının (pH, temel bileşim vs.) önemli bir etken olabileceği düşünülmüştür. Bunun yanı sıra parçalanmış jel yapısından kaynaklı olarak da böyle bir sonucun ortaya çıkmış olabileceği hem jel yapısının boyutunun küçülmesinin hem de parçalanmış jellerin üretimindeki santrifüj işlemi sırasında meyve ve sebze sularının yapısındaki serbest suyun bir kısmının da ortamdan uzaklaşmış olmasının reolojik özellikleri geliştirmiş olabileceği düşünülmüştür.

Parçalanmış jellerin 3D yazıcı ile baskı kalitesi

Elde edilen parçalanmış jellerin 3D yazıcıda işlenebilirliğinin en önemli iki ölçütü basılabilirlik (hedef geometriye uygunluk) ve boyutsal stabildir. Basılabilirlik belirlenen modele uyumu gösteren bir parametre iken boyutsal stabilite ürünün baskı sonrası şeklini koruyup koruyamadığının bir ölçüsüdür. Daha önce de belirtildiği gibi, ekstrüzyon bazlı 3D yazıcılar için uygun reolojik özelliklere sahip olan formülasyonların işlenmesiyle elde edilen ürünler belirlenen modelle önemli ölçüde eşleşirken boyutsal stabiliteleri de oldukça yüksektir. 3D yazıcı ile elde edilen ürünler ve örneklerin basılabilirlik ve boyutsal stabilite değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. 3D yazıcı ile üretilen elma ve havuç suyu bazlı ürünler (i: Baskıdan hemen sonra; ii: baskıdan 1 saat sonra) ve ürünlerin basılabilirlik ve boyutsal stabilite değerleri

Figure 6. Apple and carrot juice-based products produced with 3D printer (i: immediately after printing; ii: 1 hour after printing) and printability and dimensional stability values of the products

Yukarıda bahsedildiği gibi her iki örnek de kayma ile incelen akış davranışına sahiptir ve bu sayede her iki örnek için de baskı işlemi sırasında kesintisiz bir ekstrüzyon sağlanmış ve baskı işlemi kolaylıkla gerçekleştirilmiştir. Elma suyu bazlı örnekte %96 oranında hedef geometriye uyumlu

ürünler elde edilirken, havuç suyu bazlı üründe bu oran %97 olarak belirlenmiştir. Formülasyonların nispeten düşük kayıp faktörü değerlerine sahip olduğu görülmüş ve bunun sonucunda da daha katı benzeri bir davranış gösterdikleri düşünülmüştür. Sonuç olarak, daha katı benzeri davranışa sahip olan bu formülasyonlar için depo modülü değerlerinin baskı işlemi sırasındaki deformasyonu önleyecek düzeyde olduğu ve numunelerin hedef geometriyle yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Boyutsal stabilite değerleri incelendiğinde hem elma suyu hem de havuç suyu bazlı örnekte 1 saatin sonunda yapının yaklaşık %98 oranında korunduğu görülmüştür. Depo modülü değerinin boyutsal stabilite üzerinde büyük etkisi olduğu bilinmektedir. Her iki örnekte de depo modülü değerlerinin zamanla oluşan deformasyona karşı direnç göstermede yeterli olduğu ve bunun sonucunda da bu örneklerin yüksek boyutsal stabilite gösterdiği düşünülmüştür.

Bir çalışmada (Yang vd., 2018), nişasta kullanılarak limon suyu jelleri elde edilmiş ve bu jeller 3D yazıcıda işlenmiştir. Yüksek nişasta konsantrasyonunda daha katı benzeri bir davranış ve zayıf akışkanlık görülmüş ve bunun sonucunda ekstrüzyon doğru bir şekilde gerçekleştirilememiştir ($P < 0.05$). Düşük nişasta konsantrasyonlarında ise düşük viskozite ve daha sıvı benzeri davranış sebebiyle daha akışkan bir hammadde elde edilmiş ve bunun sonucunda da ürün şeklini koruyamamıştır ($P < 0.05$). En uygun nişasta konsantrasyonunun %15 olduğu görülmüş, bu konsantrasyonda hedef geometri ile daha uyumlu ve deformasyonun az olduğu ürünler elde edilmiştir. Bu konsantrasyon değerindeki formülasyonun 0.63 rad/s'deki depo modülü değeri 4924 Pa ve kayıp faktörü değeri 0.15 olarak ölçülmüştür. Bizim çalışmamızda, minimum jelleşme konsantrasyonu olan %5'lik konsantrasyonda bile yüksek basılabilirliğe ve stabiliteye sahip ürünler elde edilmiştir. Parçalanmış jellerin kullanılmasıyla uygun reolojik özelliklerin çok daha düşük konsantrasyonlarda bile elde edildiği ve böyle bir sonuca ulaşıldığı düşünülmüştür. Daha önceki bir çalışmamızda (Ok vd., 2024), nişasta kullanılarak parçalanmış kefir jelleri elde edilmiş ve 3D yazıcıda işlenmiştir.

Minimum jelleşme konsantrasyonu olan %5'lik nişasta konsantrasyonunda bile hedef geometriyle yaklaşık %98 oranında uyumlu ve %99 oranında boyutsal stabiliteye sahip ürün elde edilmiştir. Sonuç olarak jel parçalama ve fazla serbest suyun santrifüj ile uzaklaştırılmasının baskı işleminde avantaj sağladığı görülmektedir.

3D yazıcı ile elde edilen ürünlerin fizikokimyasal ve termal özellikleri

3D yazıcı ile elde edilen elma ve havuç suyu temelli ürünlerin renk değerleri ve temel bileşimleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Ürünlerin yüksek nem içeriklerine (%84-%79) sahip olduğu görülmektedir. Ürünlerin eldesinde kullanılan hammadde meyve ve sebze sularından elde edilmiş parçalanmış jel yapı olduğu için yüksek nem içeriği beklenen bir sonuçtur. Kuru madde bazında bakıldığında her iki üründe de oldukça düşük miktarlarda protein (%0.18-%1.20), yağ (%0.19-%1.75) ve kül (%0.39-%0.82) içeriği saptanmış ve kuru maddede geriye kalan kısmın yüksek oranda karbonhidrat olduğu düşünülmüştür. Bilindiği üzere, a^* değeri kırmızı-yeşil ($+a^*$ kırmızı, $-a^*$ yeşil) ve b^* değeri ise sarı-mavi ($+b^*$ sarı, $-b^*$ mavi) değerini göstermektedir. Şekil 6 incelendiğinde sunulan ürün görselleri ile renk ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir.

Her iki üründe de termal analiz sırasında uygulanan ısıtma işleminde iki, soğutma işleminde bir pik görülmüş ve görülen piklere ait bilgiler Çizelge 3'te verilmiştir. Görülen piklerin parçalanmış jel yapının içerdiği suya ait erime/donma ve buharlaşma pikleri olduğu düşünülmüştür. Termal analiz sonuçlarına göre, elde edilen ürünlerin sıcaklık etkisiyle yapısal olarak bozulmadığı görülmektedir.

3D yazıcı ile elde edilen ürünlerin duyuşsal özellikleri

Ürünlere uygulanan duyuşsal tanımlama testi ile ürünlerin temel duyuşsal özellikleri tanımlanmış, uygulanan tüketici testi ile de ürünlerin tüketici beğenisi tespit edilmiştir. Duyuşsal tanımlama testi ve tüketici testi sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 3D yazıcı ile elde edilen ürünlerin fizikokimyasal özellikleri
 Table 2. Physicochemical properties of the products obtained with 3D printer

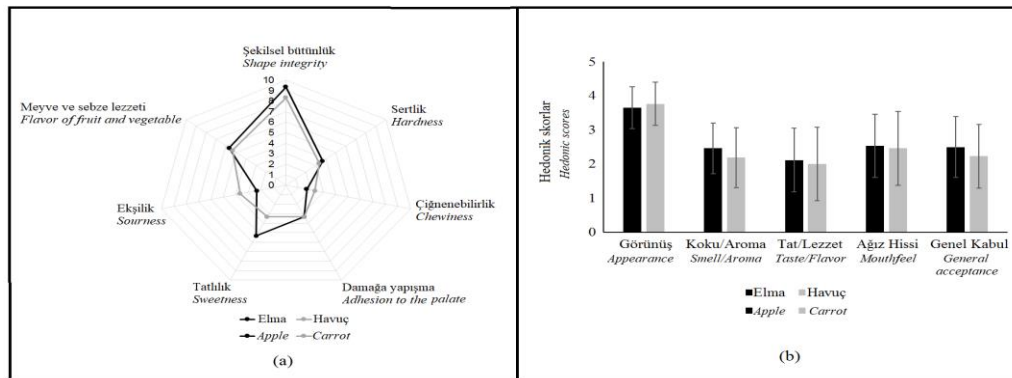
	Elma suyu bazlı ürün <i>Apple juice based product</i>	Havuç suyu bazlı ürün <i>Carrot juice based product</i>
Aletsel renk değerleri <i>Color values</i>		
L	55.53±2.21	53.95±0.03
a*	0.36±0.02	9.85±0.02
b*	10.84±0.11	31.24±0.25
Nem (%) <i>Moisture (%)</i>	84.31±2.63	79.95±1.98
Ham protein (%) (kuru maddede) <i>Crude protein (%) (dry basis)</i>	0.18±0.05	1.20±0.19
Kül (%) (kuru maddede) <i>Asb (%) (dry basis)</i>	0.39±0.11	0.82±0.27
Ham yağ (%) (kuru maddede) <i>Crude oil (%) (dry basis)</i>	0.19±0.03	1.75±0.36

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak gösterilmiştir
 Results are shown as mean±standard error

Çizelge 3. 3D yazıcı ile elde edilen ürünlerin termal özellikleri
 Table 3. Thermal properties of the products obtained with 3D printer

	Elma suyu bazlı ürün <i>Apple juice based product</i>	Havuç suyu bazlı ürün <i>Carrot juice based product</i>
Isıtma <i>Heating</i>		
Onset ₁ (°C)	-3.61±1.55	-5.36±1.52
Peak ₁ (°C)	2.96±1.38	1.63±0.92
ΔH ₁ (J/g)	219.89±8.71	178.82±5.17
Onset ₂ (°C)	36.69±1.25	41.62±1.85
Peak ₂ (°C)	76.64±1.97	87.49±1.93
ΔH ₂ (J/g)	1612.26±20.18	1397.93±19.49
Soğutma <i>Cooling</i>		
Onset ₁ (°C)	-19.31±1.49	-14.44±1.26
Peak ₁ (°C)	-16.97±1.13	-13.30±1.63
ΔH ₁ (J/g)	-223.82±7.04	-186.72±10.27

Sonuçlar ortalama±standart hata olarak gösterilmiştir
 Results are shown as mean±standard error



Şekil 7. a) 3D yazıcı ile üretilen elma ve havuç suyu bazlı ürünlerin duyu tanımlayıcı özellikleri ve (b) tüketici hedonik puanları

Figure 7. a) Sensory descriptive characteristics and (b) consumer hedonic scores of 3D printed apple and carrot juice-based products

Duyusal tanımlama testi sonuçlarına bakıldığında, her iki ürün grubunda da şekilsel bütünlük değeri oldukça yüksek çıkmış olup, basılabilirlik/boyutsal stabilite sonuçlarını destekler niteliktedir. Sertlik, çiğnenebilirlik ve damağa yapışma sonuçlarına bakıldığında, ürünlerin yumuşak ve ağızda dağılan bir yapıda olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu anlamda ürünlerin yaşlılar ve yutma güçlüğü çeken kişiler için oldukça uygun olduğu söylenebilir. Her iki üründe de meyve ve sebzenin kendine has lezzeti orta seviyede algılanabilmektedir. Havuç suyu bazlı üründe tatlılık değeri nispeten düşük çıkmıştır.

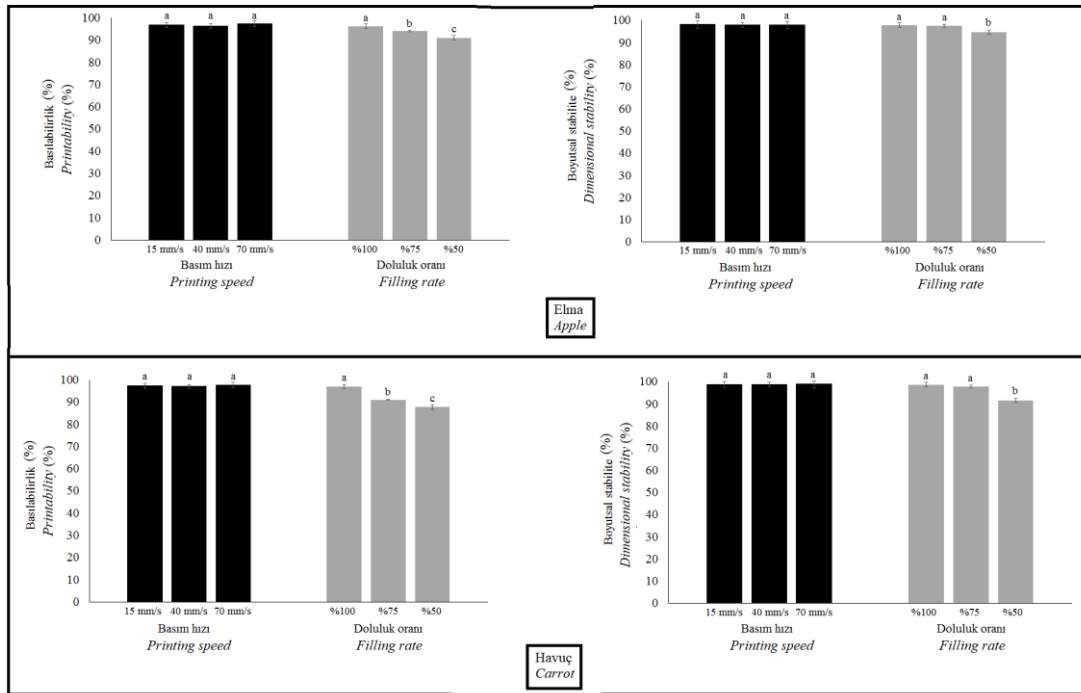
Tüketici testi sonuçları incelendiğinde, her iki üründe de görünüş özelliklerinin 5-puanlık hedonik skalanın orta değeri olan 3 puanın (nötr nokta) üzerinde olduğu görülmektedir. Tüketiciler görünüşü şekilsel bütünlük ve hedef geometriye uygunluk açısından değerlendirmişlerdir. Her iki üründe de bu özelliğe ait skorun orta değer üzerinde olması, geliştirilen formülasyonların cihazda işlenmeye uygun olduğunu göstermektedir. Koku/aroma ve tat/lezzet bakımından her iki ürün de ortalamanın altında skorlar almış bu sebeple de genel kabul skorları orta değer üzerinde kalmıştır. Jel oluşumu için kullanılan nişastanın meyve ve sebzelerin kendi lezzet ve aromalarını kısmen de olsa maskeleyiği düşünülmüştür. Her iki üründe de kullanılan meyve veya sebzenin lezzetinin daha belirgin hale getirilmesinin genel beğeniye artıracığı düşünülmektedir. Bu amaçla harici doğal aroma kullanımı mümkün olabilir.

Baskı işleminin parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkisi

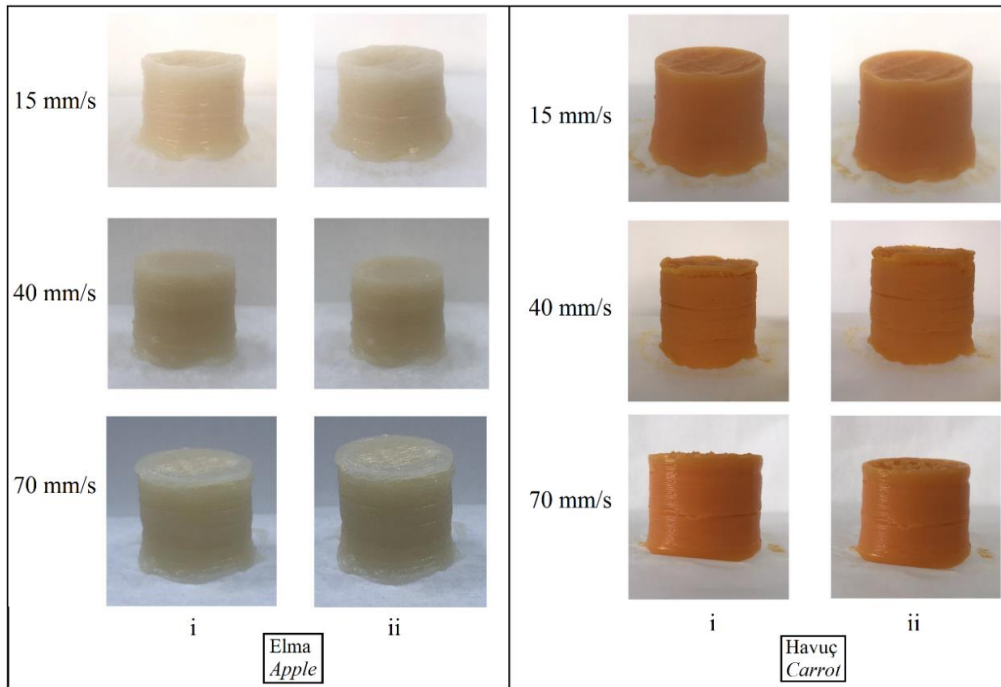
Baskı parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkisi Şekil 8'de verilmiştir. Hem elma hem de havuç suyu bazlı ürünler incelendiğinde, baskı hızlarının baskı kalitesi üzerinde bir etkisinin olmadığı, düşük, orta ve yüksek baskı hızları arasında basılabilirlik ve boyutsal stabilite bakımından önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. Şekil 9'da farklı baskı hızları ile elde edilen ürünlere ait görseller sunulmuştur. Görsellerde de görüleceği üzere, her iki üründe de baskı hızına bağlı olarak yapıda çökme vb. deformasyonlar görülmemiş,

baskı işleminden 1 saat sonra elde edilen görsellerde de yapının korunduğu görülmüştür. Şekil 8'de görüleceği üzere, her iki üründe de ürünlerin iç doluluk oranlarının basılabilirliği önemli ölçüde etkilediği, doluluk oranı azaldıkça üründe deformasyonlar olduğu ve hedef geometriye uyumun önemli ölçüde azaldığı görülmektedir ($P < 0.05$). Cihazda üretim katmanlar halinde gerçekleşmekte ve her bir katman altındaki katmanlara baskı uygulamaktadır. Doluluk oranı azaldıkça katmanlar üzerindeki baskıya dayanmamış, yapı çökmeye başlamış ve hedef geometriye daha az uyumlu olan ürünler elde edilmiştir. Elma suyu bazlı üründe doluluk oranının azalmasıyla basılabilirlik değeri %90 civarlarına kadar gerilemiştir. Havuç suyu bazlı üründe de benzer şekilde doluluk oranı azaldıkça hedef geometri ile uyum azalmış, %50 doluluk oranında bu değer yaklaşık %87 olarak hesaplanmıştır. Örneklerin boyutsal stabilitesi de önemli ölçüde azalmış, %50 doluluk oranında elma suyu bazlı örnekte bu değer %94 olarak hesaplanırken, havuç suyu bazlı üründe %91 olarak bulunmuştur ($P < 0.05$). Şekil 10'da farklı doluluk oranlarına sahip ürünlere ait görseller yer almakta, görsellerin yapılan ölçümleri destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, üretim hızının şekilsel bütünlüğü etkilemediği ancak doluluk oranı azaldıkça deformasyonların arttığı görülmüştür.

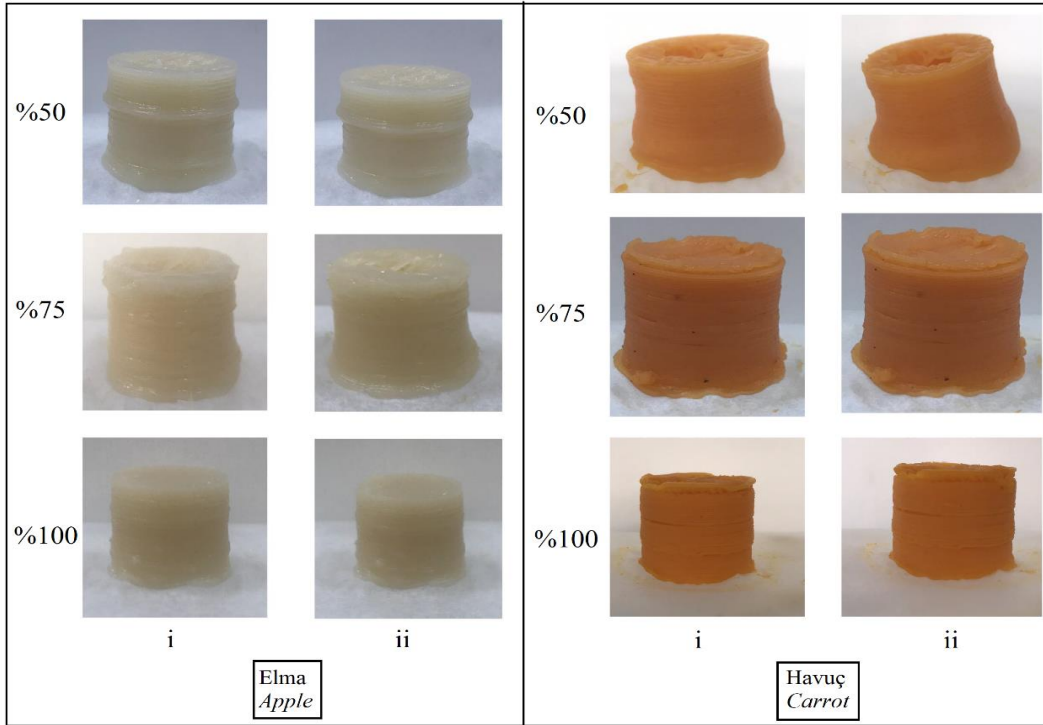
Derossi vd. (2020) buğday unu ile hazırladıkları bir hamuru 3D yazıcı ile işlemişler ve farklı baskı hızlarının (30 mm/s, 115 mm/s, 200 mm/s) baskı kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. 100 mm/s'den yüksek baskı hızlarında, basılan nesnelerin kalitesinin oldukça düşük olduğu ve istenen yapının elde edilemediği görülmüştür ($P < 0.05$). Bu çalışmada kullanılan 3D yazıcının maksimum baskı hızı 70 mm/s'dir. Bu baskı hızı değeri belirtilen çalışmada kalite düşüşünün başladığı değerden (100 mm/s) daha düşük olduğundan baskı hızının baskı kalitesi üzerindeki etkisinin tam olarak belirlenememiş olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 8. Baskı parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkisi ($P < 0.05$)
 Figure 8. Effect of printing parameters on printing quality ($P < 0.05$)



Şekil 9. Farklı baskı hızları ile üretilen elma ve havuç suyu bazlı ürünler (i: Baskıdan hemen sonra; ii: baskıdan 1 saat sonra)
 Figure 9. Apple and carrot juice based products produced with different printing speeds (i: immediately after printing; ii: 1 hour after printing)



Şekil 10. Farklı doluluk oranları ile üretilen elma ve havuç suyu bazlı ürünler (i: Baskıdan hemen sonra; ii: baskıdan 1 saat sonra)

Figure 10. Apple and carrot juice based products produced with different filling rates (i: immediately after printing; ii: 1 hour after printing)

SONUÇ

Bu çalışmada, 3D gıda yazıcısı ile parçalanmış jeller kullanılarak elma ve havuç suyu bazlı sağlıklı atıştırma ürünleri üretilmiştir. Hem elma hem de havuç suyu jellerinde nişasta için %5 konsantrasyon değeri minimum jelleşme konsantrasyonu (C^*) olarak belirlenmiş ve belirlenen bu konsantrasyon üzerinden parçalanmış jeller üretilmiştir. Elde edilen bu parçalanmış jeller 3D yazıcıda işlenmiştir. 3D yazıcıda elde edilen elma ve havuç suyu bazlı ürünlerin basılabilirlik değerleri, sırasıyla, %96 ve %97 olarak hesaplanmıştır. Her iki örneğin de yaklaşık %98 oranında boyutsal stabiliteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, her iki örnekte de meyve ve sebzenin kendine has lezzetinin orta seviyede algılandığı görülmüş, tat/lezzet ve koku/aroma bakımından her iki ürün de ortalamanın altında skorlar almıştır. Bunun sonucunda, genel kabul skorları orta değerlerin altında kalmıştır. Her iki üründe de meyve veya sebzenin lezzetinin daha

belirgin hale getirilmesinin genel beğeniyi artıracakları düşünülmektedir. Ayrıca, 3D yazıcının üretim parametrelerinin baskı kalitesi üzerine etkileri de incelenmiş ve baskı hızının baskı kalitesi üzerine bir etkisinin olmadığı ancak, doluluk oranının baskı kalitesini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Sonuç olarak, 3D tekniği kullanılarak meyve ve sebze sularından oda sıcaklığında katı ama yumuşak konsistensde, kolay çiğnenebilir özellikle, farklı şekil ve görsellerde, tüketici isteklerine göre ayarlanabilir yeni gıda ürünlerinin başarıyla hazırlanabileceği ortaya konulmuştur. Farklı jelleşme ajanları ve jelleştirme teknikleri ve diğer katkı maddeleri kullanılarak, kolay tüketilebilir, besin değeri artırılmış, görsel değeri yüksek müşteri odaklı yeni 3D ürünlerin hazırlanmasına yönelik yeni araştırma çalışmalarına ihtiyaç belirlenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu makale ile ilgili çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZARLARIN KATKISI

Yazarlar çalışma boyunca eşit düzeyde katkı sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FBA-2022-3971) tarafından desteklenmiştir. Sağlanan destek için yazarlar teşekkürlerini bildirmiştir.

KAYNAKÇA

Azam, R.S.M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13: 250-262, doi: 10.1007/s11483-018-9531-x.

Barnes, H.A. (2000). *A handbook of elementary rheology*. University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics., UK, 200 p.

Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Paquot, M., Attia, H., Blecker, C. (2012). Osmotic dehydration kinetics of pomegranate seeds using date juice as an immersion solution base. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 999-1009, doi: 10.1007/s11947-010-0442-1.

Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220: 65-75, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015.

Derossi, A., Paolilo, M., Caporizzi, R., 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: Article 109865, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109865.

Farahnaky, A., Alishahi, A., Majzoobi, M., Al-Hakkak, J. (2014). Effect of mixing speed and time on some textural and physicochemical properties of wheat starch gels. *Journal of Food Engineering*, 142: 138-145, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.06.009.

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, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025.

Goksel, M., Dogan, M., Toker, O.S., Ozgen, S., Sarioglu, K., Oral, R.A. (2013). The effect of starch concentration and temperature on grape molasses: rheological and textural properties. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 259-271, doi: 10.1007/s11947-011-0705-5.

Ishii, T., Matsumiya, K., Aoshima, M., Matsumura, Y. (2018). Microgelation imparts emulsifying ability to surface-inactive polysaccharides-bottom-up vs top-down approaches. *npj Science of Food*, 2: Article 15, doi:10.1038/s41538-018-0023-7.

Kouzani, A.Z., Adams, S., Whyte, D.J., Oliver, R., Hemsley, B., Palmer, S., Balandin, S. (2017). 3D printing of food for people with swallowing difficulties. DesTech Conference Proceedings, The International Conference on Design and Technology, February 2017, Australia. doi: 10.18502/keg.v2i2.591.

Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Noren, N., Lipson, H. (2010). Multimaterial food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - an Additive Manufacturing Conference, January 2010, USA.

Liu, L., Meng, Y., Bhandari, B., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y., Prakash, S. (2019). 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12: 267-279, doi: 10.1007/s11947-018-2209-z.

Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T. (1991). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press, USA, 416 p.

Minitab (2023). Minitab Statistical Software. Minitab, Inc., USA.

Ok, S., Yılmaz, E., Demirel Zorba, N.N. (2024). Preparation and characterization of 3D printed objects based on different kefir gels. *Food Biophysics*, doi: 10.1007/s11483-024-09839-5.

Rosalina, I., Bhattacharya, M. (2002). Dynamic rheological measurements and analysis of starch

- gels. *Carbohydrate Polymers*, 48: 191-202, doi: 10.1016/S0144-8617(01)00235-1.
- 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, doi: 10.1016/j.foodres.2018.01.034.
- Sommer, M.R., Alison, L., Minas, C., Tervoort, E., Rühls, P.A., Studart, A.R. (2017). 3D printing of concentrated emulsions into multiphase biocompatible soft materials. *Soft Matter*, 13: 1794-1803, doi: 10.1039/C6SM02682F.
- Song, K., Compaan, A.M., Chai, W., Huang, Y. (2020). Injectable gelatin microgel-based composite ink for 3D bioprinting in air. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12: 22453-22466, doi: 10.1021/acsaami.0c01497.
- Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B., Liu, Y. (2018). Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. *LWT – Food Science and Technology*, 87: 67-76, doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.054.
- Yılmaz, E., Arsunar, E.S., Aydeniz, B., Güneşer, O. (2015). Cold pressed capia pepperseed (*capsicum annum* l.) oils: composition, aroma and sensory properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117: 1016–1026, doi: 10.1002/ejlt.201400276.
- Yılmaz, E., Keskin Uslu, E., Öz, C. (2021). Oleogels of some plant waxes: characterization and comparison with sunflower wax oleogel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98: 643-655, doi: 10.1002/aocs.12490.