



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DEĞİRMENCİLİK YAN ÜRÜNLERİNDEN
BONKALİTE UN VE RUŞEYMİN EKSTRÜDE
ÇEREZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Nazlı ŞAHİN

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Nazlı ŞAHİN tarafından hazırlanan “Değirmencilik Yan Ürünlerinden Bonkalite Un ve Ruşeymin Ekstrüde Çerez Üretiminde Kullanımı” adlı tez çalışması 22/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. M. Kürşat DEMİR

.....

Danışman

Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

.....

Üye

Prof. Dr. Selman TÜRKER

.....

Üye

Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KOYUNCU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

*Bu tez çalışması Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 02-M-20 nolu proje ile desteklenmiştir.

** Doç. Dr. Abdulvahit SAYASLAN bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Nazlı ŞAHİN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DEĞİRMENCİLİK YAN ÜRÜNLERİNDEN BONKALİTE UN VE RUŞEYMİN EKSTRÜDE ÇEREZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Nazlı ŞAHİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ
İkinci Danışman: Doç. Dr. Abdulvahit SAYASLAN

2021, 139 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

Prof. Dr. Selman TÜRKER

Doç. Dr. M. Kürşat DEMİR

Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KOYUNCU

Bu çalışmanın amacı, besleyici ve fonksiyonel bileşenler açısından zengin olan değirmencilik yan ürünlerinden bonkalite un ve ruşeyme yeni kullanım alanı açarak katma değer kazandırmaktır. Bu kapsamda, çalışmanın ilk aşamasında yenilikçi bir gıda üretim yöntemi olan ekstrüzyon teknolojisi kullanılmış olup, mısır çerezi üretiminde yaygın olarak kullanılan mısır irmiğine ayrı ayrı olmak üzere farklı oranlarda bonkalite un ve ruşeym ilave edilmiş ve iki farklı ürün için proses şartları optimize edilmiştir. Bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi (BUKEMÇ) üretimi için nem içeriği, bonkalite un oranı ve vida hızı değişkenleri Box-Behnken Yanıt Yüzey Metodu (Box-Behnken-YYM); ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi (RKEMÇ) üretimi için ise nem içeriği, ruşeym oranı, vida hızı ve nişasta katkılama oranı değişkenleri Merkezi Kompozit Tasarımı Yanıt Yüzey Yöntemi (MKT-YYM) kullanılarak optimize edilmiştir. BUKEMÇ için YYM ile optimize edilen şartlarda (vida hızı 468 dev/dk, nem içeriği %13.5, bonkalite un oranı %20 ve kalıp sıcaklığı 110 °C) üretim denemesi yürütülmüş ve doğrulamaları yapılmıştır. RKEMÇ için YYM ile optimize edilen şartlarda (kalıp sıcaklığı 140 °C, nem içeriği %14.97, ruşeym oranı %16 ve mısır nişastası oranı %30) deneme yürütülmüş ve doğrulamaları yapılmıştır. BUKEMÇ ve RKEMÇ için YYM’de tahminlenen tekstür analizi sonuçları ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçları ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$) çıkmıştır. Daha sonra çalışmanın ikinci aşamasında bonkalite un ve ruşeym katkı oranı kademeli olarak artırılarak ayrı ayrı 4 farklı ürün daha elde edilmiştir. Optimum şartlarda üretilen, bonkalite un ve ruşeym oranı kademeli olarak artırılarak üretilen bonkalite un için 5 ürün (%20, 25, 30, 35 ve 40) ve ruşeym için 5 ürün (%16, 18, 20, 22 ve 24) olmak üzere toplamda 10 ürünün kimyasal bileşimleri (nem, protein, yağ, kül, fitik asit, diyet lifi, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite) ve duyu özellikleri belirlenmiştir. Optimize edilen oranlarda bonkalite un (%20) ve ruşeym ilavesi (%16) ekstrüde çerezlerin fiziksel özelliklerini olumlu etkilerken, oranların artırılması ürünlerin fiziksel özelliklerini kısmen zayıflatmıştır. Bonkalite un ve ruşeym oranı arttıkça ekstrüde mısır çerezlerinin besleyicilik ve fonksiyonel özellikleri ise önemli düzeyde artmıştır.

Anahtar Kelimeler: besleyici, bonkalite un, ekstrüzyon teknolojisi, fonksiyonel, ruşeym.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

UTILIZATION OF WHEAT MILLING BY-PRODUCTS RED-DOG FLOUR AND WHEAT GERM IN EXTRUDED SNACK PRODUCTION

Nazlı ŞAHİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN FOOD ENGINEERING**

**Advisor: Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Abdulvahit SAYASLAN**

2021, 139 Pages

Jury

**Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ
Prof. Dr. Selman TÜRKER
Assoc. Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR
Assoc. Prof. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL
Asst. Prof. Mehmet KOYUNCU**

The aim of the study is to add value to red dog flour and wheat germ that are rich in nutritionally important components. In this context, extrusion technology, an innovative food production method, was utilized and the process conditions were optimized by incorporating different amounts of red dog flour and wheat germ to the corn grit mostly used in conventional snack production. Process conditions of the extruded corn snacks containing red dog flour (ECSRF) and wheat germ (ECSWG) were separately studied and optimized. Moisture content, ratio of red dog flour and extruder screw speed were optimized by utilizing Response Surface Methodology with Box-Behnken Design. Moisture content, ratio of wheat germ, starch addition rate and extruder die temperature were also optimized using RSM with Central Composite Design (CCD). In the RSM studies, the extrusion conditions were optimized based on the physical properties of the products (hardness, crispness, brittleness, expansion rate, apparent density and porosity). Upon optimization, the best ECSRF production conditions were determined (screw speed: 468 rpm, moisture content of the mixture: 13.5%, die temperature: 110 °C) and the results were verified via experimental studies. Similarly, the best ECSWG production conditions were determined (die temperature: 140 °C, moisture content: 14.97%, germ ratio: 16% and starch ratio: 30%) and the results were also verified via experimental studies. For ECSRF and ECSWG, the RSM-predicted values of the textural and physical properties of the products were found to be indifferent from the results of the verification trials ($p > 0.05$). In the second stage of the study, 4 different products were obtained by gradually increasing the ratio of red dog flour and wheat germ. In total, 5 products for red dog flour (20, 25, 30, 35 and 40%) and 5 products for wheat germ (16, 18, 20, 22 and 24%) were produced under optimized conditions. Chemical compositions (moisture, protein, fat, ash, phytic acid, dietary fiber, total phenolic content and antioxidant capacity) and sensory properties of the 10 products were determined. While the addition of red dog flour (20%) and wheat germ (16%) at the optimized ratios positively affected the physical properties of the extruded corn snacks, the increase in the ratios of both red dog flour and wheat germ partially weakened the physical properties of the products. However, as the red dog flour and wheat germ ratio increased, the nutritional and functional properties of extruded corn snacks improved significantly.

Keywords: nutritional, red dog flour, extrusion technology, functional, germ.

ÖNSÖZ

Doktora çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, tezimin hazırlanmasına yardım ve yönlendirmeleriyle büyük katkı sağlayan değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ ve Doç. Dr. Abdulvahit SAYASLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışması sırasında karşılaştığım zorluklarda çözümü benimle birlikte arayan ve yol göstererek her zaman destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KOYUNCU ve çalışma arkadaşım Arş. Gör. Fuat GÖKBEL'e, doktora eğitimim boyunca beni destekleyen, yanımda olan ve sabreden eşim Hacı Süleyman'a, oğlum Ömer Taha'ya ve kızım Zeynep'e

Dualarıyla her zaman yanımda olan annem Bahriye YILDIZ'a ve son anında bile beni düşünen canım babam Ramazan YILDIZ'a özellikle teşekkür ederim.

Tez çalışmama KMÜ-BAP/02-M-20 nolu proje ile maddi destek sağlayan Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ayrıca teşekkür ediyorum.

Nazlı ŞAHİN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Buğday Öğütme Yan Ürünleri	4
2.1.1. Kepek	5
2.1.2. Bonkalite un	7
2.1.3. Ruşeym	8
2.2. Ekstrüzyon Teknolojisi ve Gıda Sanayiinde Kullanımı	11
2.2.1. Ekstrüzyon teknolojisi ve ekstrüderler	11
2.2.2. Ekstrüzyon teknolojisinde kullanılan hammaddeler ve diğer bileşenler	14
2.2.3. Ekstrüzyon prosesinde gerçekleşen değişimler ve ürün kalitesine etkileri... ..	15
2.3. Ekstrüde Çerez Gıda Üretimi ve Öğütme Yan Ürünlerinin Kullanımı	17
2.3.1. Ekstrüde çerez gıda üretimi	17
2.3.2. Ekstrüde çerez üretiminde buğday öğütme yan ürünlerinin kullanımı	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal	22
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Denemelerin tasarımları.....	22
3.2.2. Ekstrüzyon prosesi	25
3.2.3. Ekstrüde ürünlerin fiziksel analizleri	26
3.2.3.1. Sertlik, kırılabilirlik ve gevreklik	26
3.2.3.2. Genleşme oranı	26
3.2.3.3. Gerçek yoğunluk	26
3.2.3.4. Görünür yoğunluk	27
3.2.3.5. Gözeneklilik	27
3.2.4. Hammaddeler ve ekstrüde ürünlerin kimyasal bileşen analizleri	27
3.2.4.1. Nem tayini.....	27
3.2.4.2. Kül tayini	27
3.2.4.3. Yağ tayini.....	28
3.2.4.4. Protein tayini	28
3.2.4.5. Fitik asit tayini	28
3.2.4.6. Toplam fenolik madde tayini	28
3.2.4.7. DPPH radikali engelleme gücü tayini.....	29
3.2.4.8. Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) tayini	29
3.2.4.9. Diyet lifi tayini	30
3.2.4.10. Mineral madde tayini	31

3.2.5. Ekstrüde ürünlerin duyu analizleri	31
3.2.6. Ekstrüde ürünlerin depolanması ve duyu analizleri	31
3.2.7. İstatistiksel analizler	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Bonkalite Un Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezi Çalışması.....	33
4.1.1. Bonkalite un katkı ekstrede mısır çerezi üretiminin optimizasyonu	33
4.1.2. Bonkalite un katkı ekstrede mısır çerezi üretiminin doğrulanması	50
4.1.3. Optimize edilen şartlarda üretilen bonkalite un katkı ekstrede mısır çerezlerinin kimyasal bileşimi	54
4.1.4. Bonkalite un katkı oranının optimum şartların üzerine çıkarılmasının ekstrede ürün özelliklerine etkileri	59
4.2. Ruşeym Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezi Çalışması	68
4.2.1. Ruşeym katkı ekstrede mısır çerezi üretiminin optimizasyonu.....	68
4.2.2. Ruşeym katkı ekstrede mısır çerezi üretiminin doğrulanması	83
4.2.3. Optimize edilen şartlarda üretilen ruşeym katkı ekstrede mısır çerezlerini kimyasal bileşimi	87
4.2.4. Ruşeym katkı oranının optimum şartların üzerine çıkarılmasının ekstrede ürün özelliklerine etkileri.....	91
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
5.1. Sonuçlar	99
5.2. Öneriler	103
6. KAYNAKLAR	104
EKLER	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Santigrat derece
a*	: [(+) kırmızı, (-) yeşil]
b*	: [(+) sarı, (-) mavi]
mM	: mili molar
Ca	: kalsiyum
Fe	: demir
g	: gram
N	: newton
K	: potasyum
kg	: kilogram
kJ	: kilojul
L*	: [(0) siyah-(100) beyaz]
mg	: miligram
Mg	: magnezyum
Cu	: bakır
P	: fosfor
Se	: selenyum
Zn	: çinko
α	: alfa
β	: beta
γ	: gama

Kısaltmalar

RTE	: tüketime hazır gıdalar
AR-GE	: araştırma- geliştirme
dk	: dakika
DPPH	: 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl
TEAC	: Trolox eşdeğeri antioksidan kapasite
GAE	: gallik asit eşdeğeri
km	: kuru madde
HT: ST	: yüksek sıcaklıkta kısa süre
YYM	: Yanıt Yüzey Metodu
MKT	: merkezi kompozit tasarımı
h	: saat
L/D	: length/diameter
rpm	: revolutions per minute
s	: second / saniye
RKEMÇ	: ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi
BUKEMÇ	: bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi
Trolox	: 6-Hydroxy - 2, 5, 7, 8 - tetramethylchroman - 2 - carboxylic acid
ABTS	: 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt

1. GİRİŞ

Buğday ve ürünleri insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Dünyada yıllık 650-700 milyon ton, Türkiye’de ise 18-21 milyon ton civarında buğday üretilmektedir (Anonim, 2020). Ekmeklik ve bisküvilik buğdaylardan öğütme yoluyla çoğunlukla un (beyaz un, paçal un) elde edilirken makarnalık buğdaylardan irmik üretilmektedir. Beyaz un ekmek başta olmak üzere noodle, bisküvi, kraker, gofret ve kek gibi unlu mamullerde, irmik ise makarna üretiminde kullanılmaktadır. Öğütme işlemiyle ekmeklik buğdaylardan %75-85 oranında un elde edilirken %15-25 oranında öğütme yan ürünleri oluşmaktadır. Öğütme yan ürünleri arasında kaba kepek, ince kepek, ruşeym ve düşük kaliteli un (bonkalite un, bonkalit, red dog) yer almakta olup çoğunlukla yem sanayiinde kullanılmaktadır. Son yıllarda tüketicilerin sağlıklı gıda ve beslenme taleplerinin artmasına bağlı olarak besleyicilik değeri ve fonksiyonel özellikleri yüksek olan öğütme yan ürünlerinin gıdalarda kullanımı da artmaya başlamıştır (Schultz, 1984; Sing ve ark., 2000; Yaseen ve Shouk, 2005; Gajula ve ark., 2008; Makowska ve ark., 2015; Dar ve ark., 2016).

Öğütme yan ürünü olan bonkalite un, buğdayın una öğütülmesi sürecinde prosesin en sonunda arta kalan, dolayısıyla aleuron tabakası başta olmak üzere ince kepek, endosperm ve ruşeym parçacıkları içeren bir öğütme fraksiyonudur. Un fabrikalarının öğütme diyagramlarına bağlı olarak %0.5-3.0 verimle elde edilen bu fraksiyon %10-14 nem, %35-60 nişasta, %15-20 protein, %3-6 yağ, %3-6 kül ve %5-15 lif içermektedir (Hill ve ark., 1960; Shurpalekar ve Rao, 1977; Pomeranz, 1987; Al-Kahtani, 1989; Elgün ve Ertugay, 1995; Elliott ve ark., 2002; Kim ve ark., 2003; Ünalı, 2012; Hemdane ve ark., 2015; Sarfaraz ve ark., 2017; Casas ve ark., 2018). Bonkalite un; lif, bazı vitaminler ve mineraller, fenolik bileşenler ve antioksidan kapasite bakımından zengin olduğu için beslenme açısından değerlidir; ancak ekmeklik kalitesi oldukça düşüktür (Hoseney, 1986; Delcour ve Hoseney, 2010). Çoğunlukla hayvan yemi olarak kullanılan bonkalite un, sınırlı düzeyde de olsa hazır çorba karışımları, yöresel ekmekler, kuruyemiş kaplama formülasyonları, yapıştırıcı/tutkal üretimi ve biyoetanol sanayiinde kullanılmaktadır (Pomeranz, 1988; Neves ve ark., 2006; Anonim, 2012).

Bir diğer buğday öğütme yan ürünü olan ruşeym (embriyo) buğday tanesinin ağırlıkça %2-3'lük kısmını oluşturmaktadır (Çetinyürek, 2012). Un fabrikalarında öğütme diyagramlarına bağlı olarak %0.5-2.0 oranında ruşeym fraksiyonu elde

edilmekte ve saflık derecesi %50-75 arasında değişmektedir. Geçmişte ruşeym fraksiyonu genellikle kepek ile karıştırlarak yem sanayiinde kullanılırken günümüzde ayrı bir ürün olarak piyasaya sürülmektedir. Ticari ruşeym %6-14 nem, %25-45 nişasta, %25-30 protein, %8-15 yağ, %3-5 kül ve %2-4 lif içermektedir (Hill ve ark., 1960; Shurpalekar ve Rao, 1977; Barnes, 1982; Pomeranz, 1987; Al-Kahtani, 1989; Elgün ve Ertugay, 1995; Elliott ve ark., 2002; Kim ve ark., 2003; Ünaldı, 2012; Hemdane ve ark., 2015; Sarfaraz ve ark., 2017; Casas ve ark., 2018). Ruşeym özellikle tokoferoller (300-740 mg/kg), fenolik maddeler (14-17 mg GAE/g) ve karotenoidler (2-4 mg/kg) gibi fonksiyonel bileşenler bakımından zengindir (Pomeranz, 1987; Dunford ve Zhang, 2003; Güven ve Kara, 2015). Ruşeym yüksek antioksidan kapasitesiyle vücutta oksidatif stresi düşürmeye katkı sağlamaktadır (Zhu ve ark., 2011; Brandolini ve Hidalgo, 2012). Ayrıca ruşeym proteinlerinin biyolojik değeri hayvansal kaynaklı proteinlere oldukça yakındır (Ge ve ark., 2001). Ancak ruşeymin doymamış yağ asitleri bakımından zengin olması, oksidatif stabilitesini düşürerek gıda sanayiinde kullanımını sınırlandırmaktadır. Son yıllarda geliştirilen farklı stabilizasyon teknikleri sayesinde gıda sanayiinde ruşeym kullanımı artmaya başlamıştır (Matucci ve ark., 2004; Marti ve ark., 2014; Demir ve ark., 2019). Ruşeymin ekmek, makarna, kek, bisküvi ve tarhana gibi buğday ürünleri ile süt ve fermente ürünlerde fonksiyonel katkı maddesi olarak kullanılabilceği bildirilmiştir (Shurpalekar ve Rao, 1977; Bilgiçli ve ark., 2006; Bilgiçli ve Ibanoglu, 2007; Aravind ve ark., 2012; Gomez ve ark., 2012; Majzoobi ve ark., 2012; Bilgiçli ve Levent 2013; Samir ve ark., 2016).

Dünya genelinde ready-to-eat (RTE) olarak adlandırılan çerez gıdalar, kahvaltılık tahıllar, kekler, krakerler ve bisküviler gibi tüketime hazır gıdalara olan talep artmaktadır. RTE grubu içinde yer alan çerez gıda sanayii, yıllık ortalama %10 oranında büyüyen ve katma değeri yüksek olan bir sektördür. Global erez gıda pazarının yıllık 30 milyar dolarlık bir değere sahip olduğu tahmin edilmektedir (Anonim, 2017). Değişik erez gıdalar farklı üretim teknikleriyle üretilerek piyasaya sunulmaktadır. Bunlar arasında özellikle ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak geliştirilen cips türü çerezler her yaş grubu tarafından sevilerek tüketilen popüler gıdalardır (Anonim, 2017). Ekstrüzyon teknolojisinde tek bir cihaz (ekstrüder) sayesinde kısa süre (1-2 dk) içinde karıştırma/yoğurma, homojenizasyon, stabilizasyon, pişirme, genleştirme, şekil verme ve kısmen kurutma gibi birçok işlem gerçekleştirilebilmektedir (Masatcıoğlu, 2013). Ekstrüzyon prosesinin etkinliği ve kalitesinde bileşenlerin özellikleri ve ekstrüzyon proses parametreleri (vida konfigürasyonu, tek/çift vida tasarımı, besleme hızı, kovan ve

kalıp sıcaklıkları, vida devir hızı vb.) belirleyici olmaktadır. Bu değişkenlerin hassas şekilde optimizasyonu son ürünlerin hem duyuşsal hem de besinsel değerlerini geliştirilebilmektedir (Harper, 1989; Hauck, 1994; Riaz, 2000; Thakur ve Saxena, 2000; Masatcıoğlu, 2013).

Ekstrüde erezlerin üretiminde yaygın olarak mısır irmiği kullanılmaktadır. Mısır irmiği üretiminde mısır tanesinin kabuk ve ruşeym kısımları uzaklaştırıldığı için besleyicilik değeri de düşmektedir. Diğer bir ifadeyle, duyuşsal olarak mükemmel olan ekstrüde mısır erezleri besleyicilik yönünden zayıftır (Szterk ve ark., 2016). Daha sağlıklı beslenme bilinci artan tüketiciler, yağ içeriği ve enerji yoğunluğu düşük, lif ve diğer fonksiyonel gıda bileşenlerince zenginleştirilmiş gıdalara yönelmektedirler. Söz konusu eğilimin ekstrüde mısır erezleri için de geçerli olması bu tez çalışmasının tasarlanmasında etkili olmuştur.

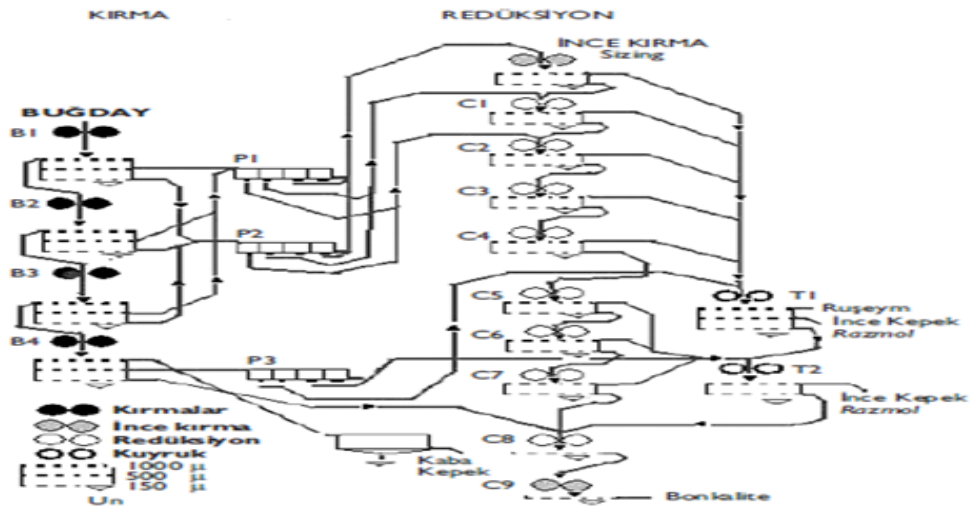
Bu çalışmada besinsel ve fonksiyonel özellikleri yüksek olan buğday öğütme yan ürünlerinden bonkalite un ve ruşeymin ekstrüde mısır çerezi üretiminde kullanım olanakları araştırılmıştır. Böylece hem sağlıklı bir ürün geliştirilmesi hem de buğday öğütme yan ürünlerine katma değer kazandırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında birbirinden bağımsız iki araştırma yürütölmüştür. İlk araştırmanın merkezinde ekstrüde mısır çerezi üretiminde bonkalite un ilave oranı, ikinci araştırmada ise ruşeym katkı oranı yer almıştır. Bonkalite un katkı oranı ve ekstrüzyon parametreleri dört bağımsız değişkenli ve üç seviyeli Box-Behnken Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılarak, ruşeym katkı oranı ve ekstrüzyon parametreleri ise dört bağımsız değişkenli ve beş seviyeli Merkezi Kompozit Tasarımı (MKT) YYM kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyonlarda bonkalite un ve ruşeym katkılı ekstrüde mısır erezlerinin tekstürel özellikleri (sertlik, kırılgnalık, gevreklik, genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik) dikkate alınmıştır. Optimize edilen şartlarda üretilen bonkalite un ve ruşeym katkılı ekstrüde mısır erezlerinin fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca optimizasyonla belirlenen katkılama oranları değirmen yan ürünlerinden daha fazla faydalanmak için kademeli olarak artırılarak yeni ürünler elde edilmiş ve katkılama oranlarındaki artışların ürünlerin fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özelliklerine etkileri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Buğday Öğütme Yan Ürünleri

Buğday, Türkiye’de üretim alanı ve miktarı bakımından ilk sırada yer alan önemli bir tahıldır. Türkiye’de her yıl yaklaşık 20 milyon ton buğday üretimi gerçekleşmektedir (Anonim, 2020). Üretilen buğdayın %80-85’lik kısmını ekmeklik buğdaylar, %10-15’lik kısmını makarnalık buğdaylar oluşturmaktadır. Ekmeklik buğdaylar öğütüldüğünde ana ürün olarak %75-85 oranında un elde edilirken, %15-25 oranında yan ürünler ortaya çıkmaktadır. Yan ürünler içinde kaba kepek, ince kepek, ruşeym ve bonkalite un yer almaktadır. Türkiye’de her yıl 3-5 milyon ton civarında öğütme yan ürünü oluştuğu tahmin edilmektedir.

Un fabrikaları oldukça kompleks bir tasarıma sahiptir. Tipik bir un fabrikasında hammadde depolama siloları, temizleme alet-ekipmanları, tavlama ve paçal yapma sistemleri ve siloları, öğütme ünitesi, ambalajlama, paketleme ve depolama bölümleri bulunmaktadır. Öğütme ünitesi sıralı bir şekilde konumlandırılmış çok sayıda öğütücü sistem (4-6 çift kırma valsi ve 10-15 çift inceltme/redüksiyon valsi), birkaç adet elek sistemi (plansifter) ve irmik sasörü (purifyer) içermektedir (Şekil 2.1). Bu sistemlerin optimum tasarımı, fabrikadaki organizasyonu ve etkin bir şekilde çalıştırılması mükemmel bir mühendislik ve ustalık gerektirmektedir (Elgün ve Ertugay, 1995; Elgün, 2004a; Özkaya ve Özkaya, 2005).



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş öğütme diyagramı (Elgün, 2004b)

Buğdayın öğütülmesi sürecinde ana ürün ve yan ürünlerin oluşumlarını anlamak için öğütme prosesini kabaca özetlemekte yarar vardır. Temizlendikten sonra tavlanan ve gerekirse paçal yapılan buğday önce kırma sistemine gelir. Yivli yüzeylere sahip kırma valslerinde kademeli ancak eşzamanlı olarak tanenin kabuğu kazınarak ayrılır ve endospermi kabaca kırılır. Herbir kırma valsinden sonra oluşan materyal elek sisteminde sınıflandırılarak kaba kepek, iri endosperm parçacıkları (irmik) ve bir miktar un elde edilir. İrmik fraksiyonu irmik sasörlerinde daha detaylı sınıflandırıldıktan sonra uygun kırma veya inceltme valslerine gönderilir. Düz yüzeyli inceltme valslerine gelen irmik kademeli bir şekilde ezilerek inceltir ve elek sisteminde sınıflandırıldıktan sonra ruşeym, ince kepek ve un fraksiyonları elde edilir. Öğütme sisteminin en sonunda ise bir miktar düşük saflıkta materyal kalır. Bu fraksiyon “bonkalite un” olarak adlandırılır. Herbir kırma ve inceltme valsinden elde edilen un fraksiyonları birleştirilerek ticari anlamda ‘ekmeklik un’ (beyaz un, paçal un) elde edilir. Farklı kırma valslerinden elde edilen kaba kepek fraksiyonları birleştirilerek ‘kaba kepek’, inceltme valslerinden elde edilen ince kepek fraksiyonları birleştirilerek ‘ince kepek’ elde edilir. Kullanım amacına göre kaba ve ince kepek fraksiyonları karıştırılarak kısaca ‘kepek’ adıyla da satışa sunulabilir (Özkaya ve Özkaya, 2005; Williams ve Rosentrater, 2007; Elgün ve ark., 2010).

2.1.1. Kepek

Ağırlıkça buğday tanesinin %13-19’una tekabül eden ve öğütme sanayiinin kullandığı bir kavram olan kepek; meyve kabuğu (perikarp), tohum kabuğu (testa), hiyalin tabakası ve aleuron hücrelerini içermektedir (Hossain ve ark., 2013). Buğday öğütülürken kırma valslerinden ayrılan büyük partiküllü kepeğe kaba kepek (bran, coarse bran) adı verilirken inceltme valslerinden sonra ayrılan ince partiküllü kepeğe ise ince kepek (razmol, shorts, fine bran) adı verilmektedir. Kaba ve ince kepek için sırasıyla kırmızı ve beyaz kepek terimleri de kullanılmaktadır (Bartnik ve Jakubczyk, 1989). Bu kepekler ayrı ayrı veya birleştirilerek piyasaya sunulabilmektedir.

Öğütülen buğday çeşidi ve öğütme diyagramına bağlı olarak değişmekle birlikte ticari buğday kepeği %8-13 nem, %9-19 protein, %2-5 yağ, %4-8 kül, %33-63 lif, %9-39 nişasta ve %60-75 oranında toplam karbonhidrat içermektedir (Javed ve ark., 2012; Kuar ve ark., 2012; Curti ve ark., 2013; Sobota ve ark., 2015; Yan ve ark., 2015). Buğday kepeği bazı vitaminler (E vitamini 0.13-9.5 mg/100g, tiamin 0.51-1.6 mg/100g,

riboflavin 0.20-0.80 mg/100g, pridoksin 0.30-1.30 mg/100g ve folat 0.088-0.80 mg/100g), mineral maddeler (Fe 1.9-34.0 mg/100g, Mg 530-1030 mg/100g, P 900-1500 mg/100g, Zn 8.3-14.0 mg/100g ve Mn 0.9-10.1 mg/100 g) ve biyoaktif fitokimyasallar (alkil rezorsinoller 489-1429 µg/g, fitosteroller 344-2050 µg/g, ferulik asit 1376-1918 µg/g, flavonoidler 3000-4300 µg/g ve bağılı fenolik bileşikler 4.73-2020 µg/g) bakımından oldukça zengindir (Kim ve ark., 2006; Fardet, 2010; Brouns ve ark., 2012; Brewer ve ark., 2014; Luthria ve ark., 2015).

Ticari buğday kepeği selüloz, hemiselülozlar ve nişasta gibi farklı polisakkaritler içermektedir. Kepekte %36.5-52.4 oranında toplam lif, %1.5-4 çözünebilir lif ve %35-48.4 çözünmez lif bulunmaktadır (Vitaglione ve ark., 2008). Kepekte bulunan karbonhidratların %46'sını nişasta olmayan polisakkaritler veya lifler (%74'ü hemiselüloz/arabinoksilan, %24'ü selüloz ve %6'sı beta glukan) oluşturmaktadır (Maes ve Delcour 2002). Buğday kepeği polisakkaritleri ağırlıklı olarak ksiloz, arabinoz, glikoz ve üronik asit polimerleri olup az miktarda ramnoz ve galaktoz ile eser miktarda fukoz ve mannoz içermektedir (Baladrán-Quintana, 2015). Diğer taraftan kepekte az miktarda bulunan sakkaroz ve rafinoz ise sırasıyla kepeğin en önemli şeker ve oligosakkaritidir (Delcour ve Hosney, 2010).

Buğday kepeğinin protein içeriği buğday ununa göre daha yüksek olup besleyicilik açısından da daha üstün bir amino asit profiline sahiptir (Baladrán-Quintana ve ark., 2015). Kepek proteinleri endosperm proteinlerine göre üç kat daha fazla arginin, iki kat daha fazla alanin, asparagin, glisin, histidin ve lizin, yarısı kadar da glutamin ve prolin amino asitleri içermektedir (Cornell, 2003).

Buğday kepeğinde besleyicilik değerini artıran fonksiyonel bileşenlerin yanında olumsuz etkileyen bazı antibesinsel bileşenler de (fitik asit, tripsin inhibitörleri vb.) bulunmaktadır. Fitik asit tanede en yüksek oranda kabukta, dolayısıyla da kepekte bulunmaktadır (Liyana-Pathirana ve Shahidi, 2007). Fitik asit divalent minerallerle (Ca⁺⁺ ve Fe⁺⁺ gibi) fitat kompleksleri oluşturarak minerallerin emilimlerini kısıtlamaktadır (Rickard ve Thompson, 1997). Fitik asit içeriği yüksek diyetlerden kalsiyum, magnezyum, çinko ve demir emilimlerinin düşük olduğu bilinmektedir (Kies 1985; Sandstrom ve Lonnerdal, 1989; Heaney ve ark., 1991; Larsson ve ark., 1996; Sandberg ve ark., 1999). Tripsin inhibitörleri ise ince bağırsakta proteaz enzimlerini inaktive ederek ve/veya proteinlerle kompleks yapılar oluşturarak protein sindirimini ve besleyicilik kalitesini düşürmektedir (Janickı ve ark., 1970).

Çoğunlukla yem sanayiinde kullanılan kepek, beslenme bakımından değerli bir yan ürün olduğu için son zamanlarda farklı alanlarda kullanım imkânı bulmuştur. Kepek; ekmek, makarna, kek, bisküvi, köfte ve tarhana gibi çeşitli ürünlerde kullanılarak ürünlerin besleyicilik ve fonksiyonel özellikleri artırılmıştır (Yaşarlar, 2004; Bilgiçli ve İbanoğlu, 2007; Tekin, 2009; Akbaş, 2010; Sá ve ark., 2013; Çakır, 2018; Cankurtaran ve Bilgiçli, 2019). Buğday kepeği içerdiği nişasta ve nişasta olmayan polisakkaritlerin uygun yöntemlerle hidrolizi ve fermantasyonuyla etanol üretiminde kullanılabilir (Palmarola-Adrados ve ark., 2005). Besinsel kalitesi yüksek olan kepek proteinlerinin izole edilerek çeşitli gıda formülasyonlarında ya da özel besinlerde kullanılabilirliği önerilmiştir (Hossain ve ark., 2013). Kepek katkılı gıdaların genel olarak duyu kaliteleri düşmekle birlikte besleyici ve fonksiyonel özellikleri artmaktadır. Kepeğin içerdiği besinsel lifler ve antioksidan fenolik maddeler kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser gibi kronik hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Zoran ve ark., 1997; Vaher ve ark., 2010).

2.1.2. Bonkalite un

Bonkalite un, buğdayın una öğütülmesinde prosesin sonunda arta kalan, dolayısıyla aleuron tabakası başta olmak üzere ince kepek, endosperm ve ruşeym parçacıkları içeren bir öğütme fraksiyonudur. Un fabrikalarında %0.5-3.0 verimle elde edilen bonkalite un, beyaz una göre protein, yağ, lif ve kül miktarları bakımından daha zengin bir yan üründür (Hoseney, 1986; Delcour ve Hoseney, 2010). Yapılan çalışmalar bonkalite unun genel olarak %10-14 nem, %15-20 protein, %35-60 nişasta, %3-6 yağ, %3-6 kül ve %5-15 lif içerdiğini göstermektedir (Hill ve ark., 1960; Elgün ve Ertugay, 1995; Elliott ve ark., 2002; Kim ve ark., 2003; Hemdane ve ark., 2015; Sarfaraz ve ark., 2017; Casas ve ark., 2018). Bonkalite unun yığın yoğunluğu 498.5 g/l, ortalama partikül boyutu 146 µm ve su tutma kapasitesi 1.83 g/g olarak bildirilmiştir (Casas ve ark., 2018). Farklı bölgelerden toplanan ve yem hammaddesi olarak kullanılan bonkalite unların protein, yağ, ham selüloz, kül, kuru madde ve metabolik enerji miktarları sırasıyla %14.63-15.23, %2.51-3.22, %3.51-4.14, %2.32-2.55, %87.79-88.16 ve 2971-3063 kcal/kg olarak bildirilmiştir (Çelik ve ark., 2003). Başka bir çalışmada, bonkalite unun kimyasal bileşimi klasik yöntemler ve NIR yaklaşımıyla ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bonkalite unun ölçüm yöntemi sırasına göre %12.99-13.26 nem, %9.98-10.22 protein, %0.483-0.556 selüloz, %1.39-1.89 yağ, %0.83-1.51 kül, %62.99-

66.54 nişasta, %0.563-1.786 asit deterjan lif ve %2.17-11.69 nötral deterjan lif içerdiği saptamıştır (Karaman ve Erdemir, 2018).

Bonkalite un çorba karışımları, kuruyemiş kaplamaları, tutkal üretimi ve yöresel ekmek formülasyonlarında kullanılmakla birlikte hala çoğunlukla hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir (Pomeranz, 1988; Neves ve ark., 2006; Anonim, 2012). Bonkalite unun toplam protein içeriği beyaz undan daha yüksektir. Ancak bonkalite unun normal una göre albümin ve globülin proteinlerini daha yüksek oranda, buna karşılık gluten proteinlerini daha düşük oranda içermesi, bonkalite un proteinin teknolojik kalitesinin beyaz undan daha düşük olmasına sebep olmaktadır (Snyder ve Woods, 1904).

Neves ve ark. (2006), iki farklı bonkalite unu aynı enzimatik hidroliz ve fermantasyon işlemlerine tabi tutarak etil alkol üretiminde kullanmışlar; etil alkol veriminin bonkalite una göre farklılık gösterdiğini saptamışlardır.

Dong ve ark. (2012), ince kepek ve bonkalite unun hamur reolojisi ve ekmek kalitesine etkilerini çalışmışlardır. İnce kepek ve bonkalite un ilavesi unun su tutma kapasitesi, hamur gelişim süresi ve gluten verimini yükseltmiş ancak yoğurma tolerans indeksi, hamur stabilitesi ve gluten indeksini düşürmüştür.

Hemdane ve ark. (2015), öğütme yan ürünlerini ekmek yapımında kullanmışlardır. Yan ürünlerden elde edilen karışımların nişasta içerikleri sabit tutulmuş; buna rağmen bonkalite un içeren ekmeklerin spesifik hacimleri ince kepek içeren ekmeklerden daha düşük bulunmuştur. Bu farklılığa yan ürünlerin zedelenmiş nişasta ve yağ içerikleri ile partikül boyut farklılıklarının neden olabileceği ifade edilmiştir.

Sarfaraz ve ark. (2017), bonkalite unun protein içeriği ve antioksidan kapasitesini kaba ve ince kepeğe göre daha yüksek bulmuşlardır. Besleyicilik açısından buğdayın çok değerli bir anatomik tabakası olan aleuron tabakasının öğütme işleminde bonkalite unda yoğunlaşmış olması, bonkalite unun besleyicilik değerinin kepekten daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

Erim Köse (2020), geleneksel bir ürün olan kavut unu formülasyonuna bonkalite un ilavesinin, unun besleyicilik değerini artırdığı bildirmiştir.

2.1.3. Ruşeym

Buğday öğütme yan ürünü olan ruşeym, tanenin ağırlıkça %2-3'lük kısmını oluşturmaktadır (Çetinyürek, 2012). Embriyonik eksen (ilkel kök ve filiz) ve depolama

organı (skutellum) olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Buğday tanesinin alt kısmında yer alan ruşeym, canlı için gerekli tüm hayati faaliyetlerin gerçekleştiği anatomik kısımdır. Ruşeym; lipitler, vitaminler, enzimler ve mineral maddeler bakımından zengindir (Delcour ve Hosney, 2010).

Yapılan çalışmalar ticari ruşeymin %10-15 yağ, %26-35 protein, %17 şeker, %1.5-4.5 lif, %4 mineral madde (özellikle K, Mg, Ca, P, Zn ve Mn) ve yüksek oranlarda biyoaktif bileşenler (tokoferol 300-740 mg/kg, fitosterol 24-50 mg/kg, flavonoid (3.5 g/kg rutin eşdeğeri), polikosanol 10 mg/kg, karetonoid 4-38 mg/kg, tiamin 15-23 mg/kg ve riboflavin 6-10 mg/kg) içerdiğini göstermektedir (Panfili ve ark., 2003; Bilgiçli ve ark., 2006; Zhu ve ark., 2006; Brandolini ve Hidalgo, 2012). Likes ve ark. (2007), kepeğe kıyasla ruşeyimde iki kat daha fazla betain ve kolin olduğunu bildirmişlerdir. Ruşeym, E ve B vitaminleri bakımından zengin olup iyi bir α -tokoferol kaynağıdır (Pomeranz, 1987; Dunford ve Zhang, 2003; Güven ve Kara, 2015). Antioksidan içeriği yüksek olan ruşeymin oksidatif stres seviyesini azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2011; Brandolini ve Hidalgo, 2012).

Brandolini ve Hidalgo (2012), yağı alınmış ruşeym posasının %35 protein içerdiğini, bunun %34.5'ini albuminler ve %15.6'sını globülinlerin oluşturduğunu bildirmişlerdir. Ruşeym proteinlerinin biyolojik değeri, hayvansal kaynaklı proteinlere eşdeğer kabul edilmektedir (Ge ve ark., 2001). Zhu ve ark. (2006), ruşeym proteinlerinde sistein hariç yüksek miktarda glutamik asit, arginin, lösin, glisin, aspartik asit ve lizin bulunduğunu bildirmişlerdir. Yağı alınmış ruşeymin iyi bir bitkisel protein kaynağı ve doğal gıda takviyesi olabileceği önerilmiştir (Brandolini ve Hidalgo, 2012). Yağı alınmış ruşeym sükröz, rafinoz ve pentozanlar gibi karbonhidratların da iyi bir kaynağıdır (Dubois ve ark., 1960).

Ruşeym yağı özellikle linoleik (18:2), palmitik (16:0) ve oleik (18:1) asitler bakımından zengindir. Ruşeym yağı tokollerini (288 mg/100 g), α -tokoferol (%57), γ -tokoferol (%30) ve tokotrienoller (%11) oluşturmaktadır (Kumar ve Krishna, 2015). Ruşeym yağı fosfor (1.4 g/kg) bakımından da zengindir (Wang ve Johnson, 2001). Ruşeym mono ve digliseritleri içinde fosfolipitler (%14-17), polikosanoller (dokosanol, heksakosanol, oktakosanol ve triakontanol) ve fitosteroller (%60-70 sitosterol ve %20-30 kampesterol) bulunmaktadır (Dapčević-Hadnađev ve ark., 2018).

Ruşeym yağının tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri ile α -tokoferol gibi antioksidanlar bakımından zengin olması insan sağlığı için önem taşımaktadır. Ruşeym yağında bol bulunan linoleik ve linolenik asitler vücutta sentezlenemeyen ve dışarıdan

alınması gereken (elzem) yağ asitleridir. Yaklaşık 5 g ruşeym yağı insan metabolizması için gerekli olan 7-10 mg α -tokoferol ihtiyacını tek başına karşılamaktadır (Güven ve Kara, 2015). Ruşeym yağında yüksek oranda bulunan biyoaktif maddelerin kolesterol düşürücü ve yaşlanma geciktirici gibi önemli sağlık etkileri bulunmaktadır (Kahlon, 1989; Güven ve Kara, 2015).

Antioksidan aktivitelerini biyolojik reaksiyonlar yoluyla gerçekleştiren fenolik karakterli fitokimyasallar, buğday tanesinin kepek ve ruşeym kısmında yoğunlaşmıştır (Thompson, 1994; Meyer ve ark., 2000; Kasum, 2002; Menga ve ark., 2010). Yapılan çalışmalarda buğday kepeği ve ruşeyminde ferulik, diferulik, vanilik, sinapik, *p*-kumarik ve 4-hidroksibenzoik asit gibi fenolik maddelerin bulunduğu belirlenmiştir (Alvarez ve ark., 2006; Gallardo ve ark., 2006).

Ruşeym yağının içerdiği oleik, linoleik ve linolenik asit gibi doymamış yağ asitleri beslenme açısından avantaj sağlarken lipaz ve lipoksigenaz enzimleri tarafından kolayca okside edilerek acılaşmaya (ransidite) neden olmaktadır (Brandolini ve Hidalgo, 2012; Mahmoud ve ark., 2015). Bu problem ruşeym ve ruşeym katkılı ürünlerin raf ömürlerini kısaltmaktadır. Enzimatik oksidasyonu engellemek amacıyla ruşeym farklı yöntemlerle stabilize edilmektedir. Uygulanan yöntemler ya doğrudan enzim aktivitesini durdurarak ya da ortam koşullarını değiştirerek (asitlendirme, oksijensiz ortam gibi) oksidatif acılaşmayı engellemektedir (Marti ve ark., 2014). Isıl işlemler (kızartma, sıcak hava uygulamaları ve basınçlı ekstrüzyon) oksidatif ransidite gelişimini yavaşlatmak için kullanılan klasik yöntemlerdir (Haridas Rao ve ark., 1980). Kuru kavurma, otoklavlama, infrared ve ultraviyole-C ışınları ve ekşi hamur fermantasyonu da ruşeymin stabilizasyonunda kullanılmaktadır (Marti ve ark., 2014; Demir ve ark., 2019). Gıda sanayiinde yaygınlaşan ekstrüzyon ve mikrodalga pişirme uygulamaları ise hızlı ve etkili enzim inaktivasyonu sağlayan yöntemler haline gelmiştir (Matucci ve ark., 2004). Bu tez çalışmasında ruşeymin stabilizasyonunun ekstrüzyon işlemi sırasında sağlanması hedeflenmiştir.

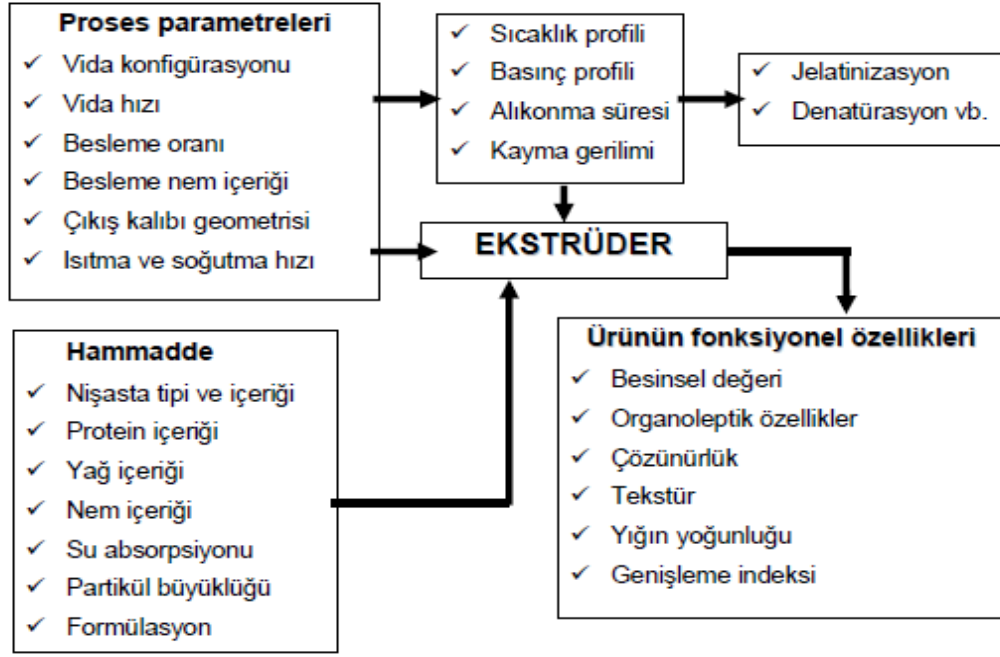
Besin değeri yüksek olan ruşeymin ekmek, makarna, kek, bisküvi gibi fırın ürünleri (Aravind ve ark., 2012; Gomez ve ark., 2012; Majzoobi ve ark. 2012; Bilgiçli ve Levent 2013; Çakır, 2018; Cankurtaran ve Bilgiçli, 2019), süt ürünleri (Yalçınkaya, 2003; Samir ve ark., 2016), fermente ürünler (Shurpalekar ve Rao., 1977) ile tarhana ve kavut gibi geleneksel ürünlerde (Bilgiçli ve ark., 2006; İbanoğlu ve ark., 2006; Bilgiçli ve İbanoğlu, 2007; Erim Köse, 2020) katkı maddesi olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir. Ayrıca, ruşeym yağının kozmetik ürünler ve gıda takviyelerinde

kullanılmak üzere fito-nano-emülsiyon tasarımında (Gümüş ve ark., 2015), yağı alınmış ruşeymin ise sakızın besleyicilik değerini artırmada kullanılabileceği önerilmiştir (Özdoğan, 2018).

2.2. Ekstrüzyon Teknolojisi ve Gıda Sanayiinde Kullanımı

2.2.1. Ekstrüzyon teknolojisi ve ekstrüderler

Gelişen tarım ve gıda işleme teknolojileri sekiz milyara yaklaşan dünya nüfusunun gıda güvenliği ve güvencesi sorunlarına çözümler üretmektedir. Gıda işleme teknolojileri arasında yer alan ekstrüzyon teknolojisi, göreceli olarak yeni ve yenilikçi bir teknolojidir (Tiwari ve Jha, 2017). Genel hatlarıyla ekstrüzyon teknolojisi, tahıl ve baklagil unları veya irmikleri gibi nişasta ağırlıklı hammaddelerin uygun yardımcı maddelerle birlikte düşük nem düzeyinde (%15-25) ekstrüder adı verilen hidrotermomekanik bir sistemde oldukça kısa sürede (1-2 dk) karıştırılması/yoğrulması, pişirilmesi ve şekillendirilmesi işlemlerini kapsamaktadır (Pomeranz, 1987; Hauck, 1994; Choton ve ark., 2020). Ekstrüzyon işleminde tek bir cihazda yukarıda sıralanan çok sayıda temel işlem eşzamanlı olarak gerçekleştirilmektedir (Leonard ve ark., 2019). Bu nedenle bileşenler ve/veya ekstrüder parametrelerinde yapılan küçük modifikasyonlar farklı şekilsel ve tekstürel özelliklere sahip gıdaların üretilmesine imkan tanımaktadır (Bhattacharya, 2011; Alam ve ark., 2015; Offiah ve ark., 2019). Ekstrüzyon teknolojisinin en yaygın kullanıldığı gıda sanayi kollarını cips türü geliştirilmiş çerez gıdalar, kahvaltılık gevrekler, hazır çorba karışımları, et taklitleri veya analogları, şekerlemeler, bebek mamaları, evcil hayvan yemleri ve içecek tozları oluşturmaktadır (Riaz, 2000; Bhattacharya, 2011; Offiah ve ark., 2019; Choton ve ark., 2020). Ekstrüzyon prosesiyle üretilen gıdaların özellikleri (Şekil 2.2), hammadde ve diğer bileşenlerin fiziksel ve kimyasal yapıları ile ekstrüder parametreleri (besleme hızı, uzunluk-çap oranı, tek/çift vida tipi, vida konfigürasyonu ve devri, ekstrüder kovan ve kalıp sıcaklıkları vb.) tarafından belirlenmektedir (Riaz, 2000; Chessari ve Sellahewa, 2001; Tiwari ve Jha, 2017). Bu değişkenlerin optimizasyonu sayesinde istenilen duyuşsal ve besleyicilik özelliklere sahip çok farklı ürünler elde edilebilmektedir (Masatcıoğlu, 2013; Leonard ve ark., 2019; Menis-Henrique ve ark., 2020).



Şekil 2.2. Ekstrüzyon teknolojisinde hammadde özellikleri, proses parametreleri ve ürün karakteristiklerinin etkileşimi (Chessari ve Sellahewa, 2001; Masatcioğlu, 2013).

Ekstrüzyon teknolojisinin diğer gıda işleme teknolojilerine göre pek çok avantajı bulunmaktadır. Ekstrüderlerin üretim kapasiteleri yüksek, buna karşılık işçilik maliyetleri, işgal ettikleri alan ve enerji giderleri düşüktür. Ekstrüzyon koşullarında uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç mikroorganizmalar ve enzimleri inaktive etmekte ve düşük nemli ürünler ortaya çıkarmaktadır. Buna bağlı olarak ekstrüde ürünlerin kurutma maliyeti düşük, bozulmalara direnci ise yüksek olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta kısa süreli (HTST) bir ısıl işlem prosesi olan ekstrüzyon, ürünlerin antibesinsel bileşenlerini azaltırken besinsel değer kaybını minimize etmektedir. Ekstrüzyon teknolojisinin önemli avantajlarından birisi de gıda atıkları veya yan ürünlerinin diğer gıda işleme teknolojilerine göre daha kolay işlenebilmesidir. Ayrıca, çevre kirliliğine sebep olabilecek herhangi bir atık veya kirli su oluşmaması da ekstrüzyon teknolojisinin önemli avantajlarındanıdır. Tüm bu faktörler yeni gıda geliştirmede ekstrüzyon teknolojisinin kullanımını yaygınlaştırmaktadır (Harper, 1989; Riaz, 2000; Özer, 2007; Choton ve ark., 2020).

Ekstrüderler şekil, boyut ve çalışma yöntemlerine göre pistonlu, silindirik ve vidalı ekstrüderler olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (Cheftel, 1986; Janssen, 1993; Frame, 1994; Heldman ve Hartel, 1997). Pistonlu ekstrüderler, tekli ya da seri halde çalışan pistonlardan meydana gelmektedir. Bu tip ekstrüderler özellikle şekerleme

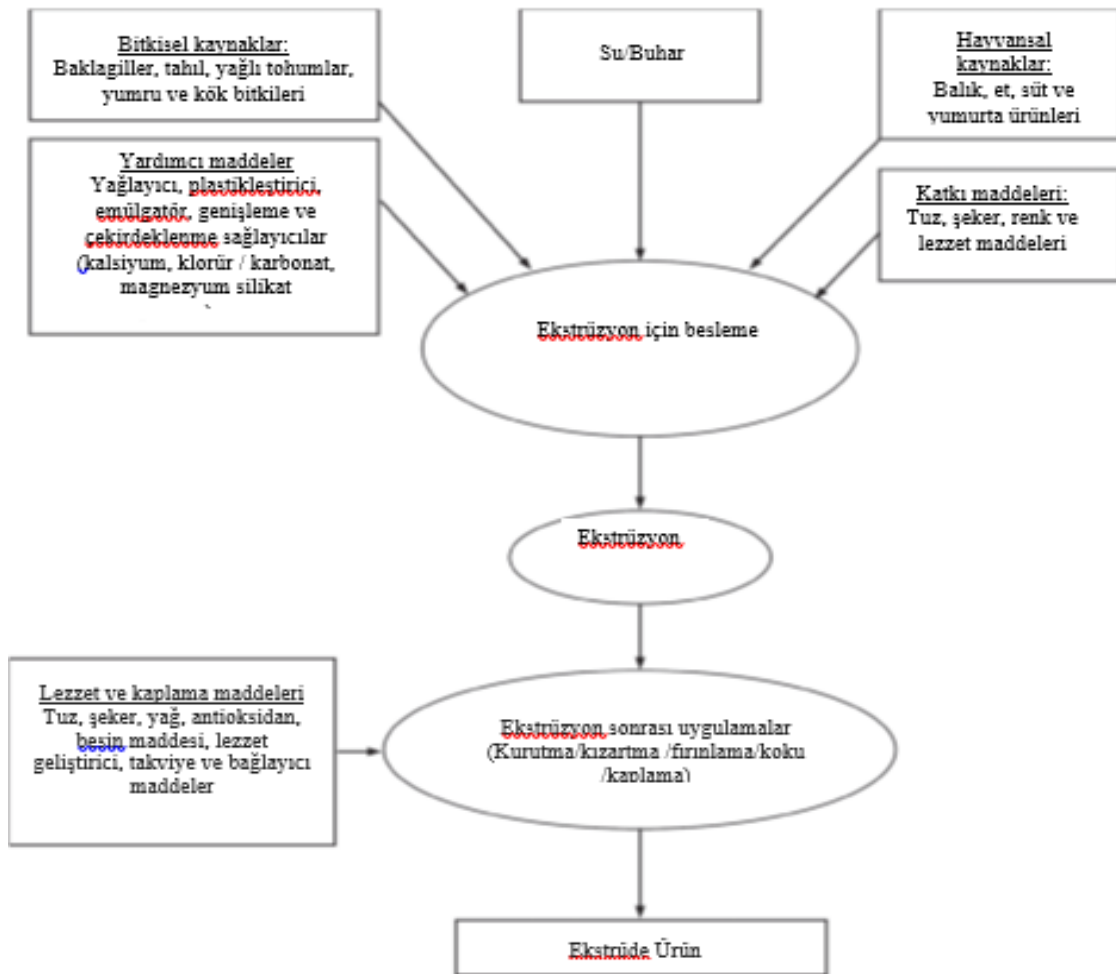
endüstrisinde tercih edilmekte olup çikolatanın şekerlemenin merkezine doldurulmasını sağlamaktadır (Grandison ve Brennan, 2012). Silindirli ekstrüderler birbirine yakın yerleştirilmiş zıt yönde dönen iki silindirden oluşmakta olup gıda sanayiinde kullanımları sınırlıdır (Grandison ve Brennan, 2012; Choton ve ark., 2020). Vidalı ekstrüderler ise, ekstrüder kategorisinin en kompleksi ve en yaygın kullanılanlarıdır. Vidalı ekstrüderler malzemeyi özel olarak tasarlanmış bir kovan içinde kalıba doğru taşımak için sabit bir namluda dönen tek veya çift vidadan oluşmaktadır. Vidalı ekstrüderler, ürettikleri mekanik enerji miktarına göre düşük ve yüksek kesmeli (shear) ekstrüderler olarak sınıflandırılmaktadır. Düşük kesmeli bir ekstrüder, üretilen mekanik enerjiyi en aza indirmek için tasarlanmış olup ürünleri karıştırmak ve şekil vermek için kullanılmaktadır. Makarna üretiminde kullanılan soğuk ekstrüderler bu sınıfa girmektedir. Yüksek kesmeli ekstrüderler ise sıcak ekstrüderler olup mekanik enerjiyi en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Genleştirilmiş cips türü çerezlerin üretimi başta olmak üzere gıda sanayiinde kullanılan ekstrüderlerin çoğu bu sınıfta yer almaktadır (Brennan ve Grandison, 2012; Offiah ve ark., 2019). Ekstrüderler vida sayısına göre tek, çift veya nadiren çok vidalı olabilmektedir. Tek vidalı ekstrüderler kesme gücü düşük olduğu için şekil verme veya plastik ekstrüderleri olarak adlandırılırken, orta ve yüksek kesme gücüne sahip çift vidalı ekstrüderler ise pişirme ekstrüderleri olarak isimlendirilmektedir. Çift vidalı ekstrüderlerin çok fonksiyonel olmaları (Çizelge 2.1) geniş bir yelpazede kullanımlarına olanak sağlamaktadır (Yacu, 2012).

Çizelge 2.1. Tek ve çift vidalı ekstrüderlerin karşılaştırılması (Harper, 1986).

	Tek vida	Çift vida
Yaklaşık maliyet/birim fiyat		
Ekstrüderin maliyeti	1	1.5-2.5
Sistemin maliyeti	1	0.9-1.3
Bakım maliyeti	1	1-2
Enerji		
Ön şartlandırıcı ile	Buhar ile	Kullanılmıyor
Ön şartlandırıcı olmadan	Mekanik enerji	Mekanik ve termal enerji
L/D	4-25	10-25
Karıştırma kabiliyeti	Zayıf	İyi
Isı transferi	Zayıf	İyi
Karışımın nem içeriği	%13-35	%10 ve üstü
Hammadde	Sınırlı hammadde	Geniş ürün yelpazesi
Çok yönlülük	Zayıf	İyi

2.2.2. Ekstrüzyon teknolojisinde kullanılan hammaddeler ve diğer bileşenler

Ekstrüzyon teknolojisinde kullanılan hammaddeler ve diğer bileşenler genellikle işlevsel özelliklerine göre gruplandırılmaktadır (Guy, 1994; Guy, 2001). Bu grupları yapı oluşturanlar (hammaddeler), dolgu maddesi olanlar, plastikleştirici veya yağlayıcı bileşenler, çözünebilir katılar ve çekirdekleştirici maddeler, renklendiriciler, tatlandırıcılar ve aroma vericiler oluşturmaktadır (Şekil 2.3). Yapı oluşturanlar arasında nişasta birinci sırada yer almakla birlikte bazı proteinler ve lifler de yapı oluşturmaya katkı sağlamaktadır. Bu polimerik maddeler sınırlı su veya su buharı eşliğinde ısı ve mekanik enerji etkisiyle köpük benzeri kıvamlı bir yapı (eriyik) oluşumunu sağlamaktadır. Bu bağlamda nişasta içeriği yüksek tahıl ve kuru baklagil unları, irmikleri veya kırmaları ile kök ve yumru bitkilerinin unları veya nişastaları önem taşımaktadır (Leonard ve ark., 2019).



Şekil 2.3. Ekstrüzyon prosesinin şematik gösterimi ve kullanılan hammaddeler (Bhattacharya, 2011)

Ekstrüzyon işleminde dolgu maddesi olarak görev alan bileşenler, selüloz ve protein bakımından zengin olan kabuk veya kepek gibi lifli materyaldir (Guy, 2001). Plastikleştirici veya yağlayıcı olarak ise su, su buharı veya yağ kullanılmaktadır. Su veya buharı, toz formdaki polimerleri plastikleştirerek deforme olabilen kıvamlı eriyiklere dönüştürmektedir. Oldukça düşük (%1-5) oranda kullanılan yağlar, ekstrüzyon işleminde nişastanın hidrotermal dönüşümüne olumlu katkı sağlarken, yüksek oranda kullanılması ekstrüder etkinliğini düşürerek nişastanın degradasyonunu ve patlayarak genişmesini sınırlandırmaktadır (Yağcı, 2015). Ekstrüzyon teknolojisinde kullanılan çekirdekleştirici maddeler, ekstrüzyon sırasında oluşan sıcak eriyiğin içerisindeki hava kabarcıklarının sayısını ve stabilitesini artırarak ürünün genişmesine katkı sağlamaktadır. Çekirdekleştirici madde olarak genellikle toz kalsiyum karbonat ve magnezyum silikat (talk) kullanılmaktadır (Maskan ve Altan, 2016). Ekstrüde gıda üretiminde tuz ve şekerler tat verici ve nemlendirici olarak formülasyona katılmaktadır. Renklendirici ve aroma verici maddeler, hammaddelerde doğal olarak bulunabildiği gibi formülasyona üretim sırasında da katılabilmektedir. Bazı hassas renk ve aroma maddeleri ekstrüzyon sonrasında son ürün yüzeyine püskürtülerek uygulanmaktadır (Guy, 1994; Guy, 2001).

2.2.3. Ekstrüzyon prosesinde gerçekleşen değişimler ve ürün kalitesine etkileri

Ekstrüzyon teknolojisinde kullanılan karışımın (hammadde ve diğer bileşenler) özellikleri ve ekstrüder çalışma parametreleri üretilen ürünlerin renk, tat, koku ve tekstür gibi duyuşal özellikleri ile besleyicilik kalitelerini etkilemektedir (Brennan ve Grandison, 2012; Fellows, 2012). Ekstrüzyonda kullanılan karışımın nem içeriği en önemli değişkenlerdendir (Palmer ve ark., 2004; Adhikari ve ark., 2009; Nurtama ve Lin, 2009; Oke ve ark., 2013). Ekstrüzyon işleminde nem doğrudan karışıma eklenebildiği gibi işlem sırasında su veya buhar olarakta sisteme verilebilmektedir. İşleme sürecinde karışımın sahip olduğu nem seviyesi ekstrüzyon prosesinin etkinliğini (sıcaklık, basınç, shear vb.), dolayısıyla da ürünlerin özellikle tekstürel karakteristiklerini belirlemektedir (Brennan ve Grandison, 2012). Nem nişastanın jlatinizasyon, degradasyon ve dekstrinizasyon oranlarını değiştirerek ürünün genişmesi, yoğunluğu, gözenek yapısı, gevrekliği ve sertliğini etkilemektedir. Çoğu ekstrüzyon işleminde karışımın nem içeriği %15-20 arasında değişmektedir. Tek vidalı ekstrüderler en düşük %13 nem içeriğinde çalışabilirken, çift vidalı ekstrüderler %10

nem içeriğine kadar çalışabilmektedir (Stojceska, 2009; Bhattacharya, 2011; Mazlan ve ark., 2019).

Ekstrüzyon pişirme teknolojisinde kullanılan karışımların en önemli bileşenlerini nişasta, proteinler, lipitler ve lifler oluşturmaktadır. Karışımların bu bileşenleri farklı oranlarda içermesi, son ürünün duyu ve besleyicilik kalitesinde önemli farklılıklara neden olmaktadır (Fellows, 2012). Proses şartlarına bağlı olarak değişmekle birlikte, işleme sırasında nişastada jelatinizasyon, dekstrinizasyon ve kompleks oluşumu gerçekleşirken proteinlerde denatürasyon, hidroliz ve ısı polimerizasyon gerçekleşebilmektedir. Uygulanan mekanik etkiye bağlı olarak proteinler, nişasta ve liflerin boyut, çözünürlük, viskozite ve su tutma kapasiteleri değişmektedir (Karwe, 2009; Steel ve ark., 2012). Sözü edilen bu değişimler ise son ürünlerin tekstürel özelliklerini belirlemektedir.

Ekstrüzyon işleminde kullanılan karışımda bulunan veya dışarıdan ilave edilen lipitler, sürtünmeyi azaltarak plastikleştirici veya yağlayıcı olarak görev yapmaktadır (Ilo ve ark., 2000; Steel ve ark., 2012). Lipitler ayrıca pişirme sırasında amiloz-lipit kompleksleri oluşturarak ürünün genleşme oranı, yığın yoğunluğu ve suda çözünürlük derecesini düşürmektedir (Bhatnagar ve Hanna, 1994). Amiloz-lipit kompleksi oluşumunda formülasyonda bulunan nişastanın amiloz içeriği ile yağın miktar ve özellikleri etkili olmaktadır. Genel olarak, karışımın yağ içeriğinin %5'in altında olması ürün özelliklerini fazla etkilemezken, %5'in üzerine çıkması sürtünmeye bağlı mekanik enerji üretimi ve nişasta jelatinizasyonunu sınırlandırarak genleşmeyi zorlaştırmaktadır. Yağ içeriği yüksek karışımların ekstrüzyonu sırasında nem içeriğinin düşürülmesi bu sorunu kısmen giderebilmektedir (Steel ve ark., 2012).

Ekstrüzyon sırasında işlem şartlarına bağlı olarak liflerin yapısı ve özellikleri değişmektedir (Moscicki ve ark., 2013). En önemli değişim liflerin çözünürlüğünün artmasıdır. Ekstrüzyonda kullanılan karışımının lif oranının artması ürünün besleyicilik değerini yükseltirken genleşmesini sınırlandırmaktadır. Lifler, su tutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle nişasta jelatinizasyonunu güçlendirmekte ve ayrıca ürünün kalıptan çıkışı sırasında su buharını tutarak ürün genleşmesini olumsuz etkilemektedir (Mendonca ve ark., 2000; Yanniotis ve ark., 2007; Frohlich ve ark., 2012).

Ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak enzimatik ve mikrobiyal inaktivasyon, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ve antibesinsel maddelerin inaktivasyonu gerçekleşirken aroma maddeleri ve bazı vitaminlerde kısmi kayıplar meydana gelebilmektedir (Petitot ve ark., 2009; Soetan ve Oyewole, 2009; Levic, 2010; Riaz,

2010; Delgado ve ark., 2012; Steel ve ark., 2012; Žilić ve ark., 2013; Nikmaram ve ark., 2017; Choton, 2020). Ekstrüzyon sırasında uygulanan yüksek sıcaklık, basınç ve kesme gerilimi, doğal toksinler ve çoğu antibesinsel maddelerin parçalanmasını sağlamaktadır (Singh ve ark., 2007; Steel ve ark., 2012; Tiwari ve Jha, 2017). Diğer taraftan C vitamini gibi sıcaklığa duyarlı vitaminlerde 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kayıplar meydana gelmektedir (Moscicki ve ark., 2013). Ancak, ısıl işlem süresinin kısa olması ve ürünün hızlı bir şekilde soğuması, ekstrüzyon işleminde vitamin kayıplarının geleneksel ısıl işleme tekniklerine göre daha düşük gerçekleşmesini sağlamaktadır. Tahıllarda bol bulunan tiamin, riboflavin ve niasin gibi B grubu vitaminlerindeki kayıpların ekstrüzyonda uygulanan sıcaklık, nem ve vida hızı gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir (Athar ve ark., 2006; Riaz ve ark., 2009). Diğer taraftan yağda çözünen A ve E vitaminleri ise ekstrüzyon şartlarında daha stabildir (Moscicki ve ark., 2013). Ekstrüde gıdaların vitamin içeriklerini ve hassas aroma maddelerini koruyabilmek için ekstrüzyon parametrelerinin iyi optimize edilmesi gerekmektedir.

2.3. Ekstrüde Çerez Gıda Üretimi ve Öğütme Yan Ürünlerinin Kullanımı

2.3.1. Ekstrüde çerez gıda üretimi

Tüketime hazır gıdalardan olan çerez gıdalar insanların severek tükettikleri gıda gruplarından. Katma değeri yüksek olan tüketime hazır çerezler, dünya genelinde 30 milyar dolarlık bir ticari hacme sahip olup yıllık ortalama %10 oranında büyümektedir (Anonim, 2017). Piyasada kavurma, kızartma, fırınlama, patlatma ve ekstrüzyon gibi farklı üretim teknikler kullanılarak üretilen değişik şekil, tekstür ve lezzete sahip çok sayıda çerez gıda bulunmaktadır (Ertop ve ark., 2016; Sayaslan ve ark., 2016; Han ve Tran, 2018; Kasprzak ve ark., 2018). Bunlar arasında özellikle ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak geliştirilen cips türü çerez gıdalar çocuklar ve gençler tarafından tercih edilmektedir (Zazueta-Morales, 2018; Jozinović ve ark., 2019). Bu ürünlerin yaygın kabul görmesinde lezzet, tekstür ve tüketim kolaylığı gibi albeni faktörleri etkili olmaktadır (Conti-Silva ve ark., 2017).

Ekstrüde çerezlerin çoğunluğu mısır bazlı olmakla birlikte patates, buğday ve pirinç gibi tahıllar ile farklı kaynaklardan elde edilen nişastalar da kullanılmaktadır (White, 1994; Bouvier ve Campanella, 2014; Lourenço ve ark., 2016; Zazueta-Morales, 2018). Diğer taraftan, gıda sanayi yan ürünleri ve atıkları, sağlıklı beslenme açısından

değerli birçok fitokimyasal maddeyi (lif, fenolik maddeler, karotenoidler, vitaminler, mineraller vb.) içermektedir (Ezejiyor ve ark., 2014; Kasapidou ve ark., 2015; Altan ve Maskan, 2016; Helkar ve ark., 2016; Varzakas ve ark., 2016; ; Duşa ve ark., 2018; Grasso, 2020). Son yıllarda hem ekonomik kayıp hem de çevre kirliliği problemlerine neden olan bu yan ürünler veya atıkların değerlendirilmesi konusunda yoğun çalışmalar yürütölmektedir (Jayathilakan ve ark., 2012; Devi ve ark., 2016; Singha ve Muthukumarappan, 2017; Choton, 2020; Grasso, 2020). Ekstrüzyon teknolojisi hali hazırda yan ürünlerin gıda olarak değerlendirilmesinde en etkili yöntem olarak kabul edilmektedir (Pansawat ve ark., 2008; Jayathilakan ve ark., 2012; Devi ve ark., 2016; Choton, 2020; Grasso, 2020).

2.3.2. Ekstrüde çerez üretiminde buğday öğütme yan ürünlerinin kullanımı

Buğday öğütme yan ürünleri olan kepek, ruşeym ve bonkalite un çoğunlukla yem sanayinde kullanılmaktadır (Ağırağaç ve Kalma, 1999; Çelik ve ark., 2003; Hossain ve ark., 2013; Anal, 2018; Karaman ve Erdemir, 2018). Bu yan ürünlerin besleyicilik kaliteleri ekstrüde çerez üretiminde yaygın kullanılan mısır irmiğine göre çok daha yüksektir (Brennan ve ark., 2013). Buğday kepeğinin ekstrüde çerez gıda üretimi dahil farklı gıdalarda kullanımı konusunda çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Hossain ve ark., 2013; Cankurtaran, 2016; Dar ve ark., 2016; Fleischman ve ark., 2016; Anal, 2018, Oladiran ve Emmambux, 2017; Çakır, 2018; Şahin ve ark., 2021). Ruşeym ile ilgili çalışmalar ise kimyasal bileşim, stabilizasyon, ruşeym yağı ekstraksiyonu ve fonksiyonel özellikler üzerine yoğunlaşmış olup gıdalarda kullanımı kepeğe göre daha sınırlıdır (Bilgiçli ve ark., 2006; Bilgiçli ve Ibanoğlu, 2007; Bilgiçli ve Levent, 2013; Marti ve ark., 2014; Cankurtaran, 2016; Çakır, 2018; Cankurtaran ve Bilgiçli, 2019; Demir ve ark., 2019). Literatürde ruşeymin ekstrüde çerez gıda üretiminde değerlendirilmesini konu alan sadece iki çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan birinde ekstrüde çerez üretiminde stabilize edilmiş ruşeym (Schultz, 1984), diğerinde ise yağı alınmış ruşeym (Yaseen ve Shouk, 2005) kullanılmıştır. Buğday öğütme yan ürünlerinden bonkalite un konusunda yapılan çalışmalar ise kimyasal bileşim, fonksiyonel özellikler, yem sanayinde değerlendirme, biyoetanol üretimi ve ekmek katkı maddesi olarak kullanım konularında yoğunlaşmış olup (Pomeranz, 1988; Neves ve ark., 2006; Anonim, 2012; Hemdane ve ark., 2015; Sarfaraz ve ark., 2017; Casas ve ark., 2018; Karaman ve Erdemir, 2018), ekstrüde çerez gıda üretiminde kullanımını

gösteren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buğday öğütme yan ürünlerinden ruşeym ve kepeğin ekstrüde çerez gıda üretiminde değerlendirilmesini konu alan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Schultz (1984), buğday nişastasına farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20, 25 ve 30) stabilize edilmiş buğday ruşeymi ilave etmiş ve tek vidalı ekstrüderde sıcaklık ve nem parametrelerini optimize ederek ekstrüde çerez üretmiştir. Buğday nişastasına %10 oranında ruşeym ilave edildiğinde gözenekli ve genleşme oranı yüksek bir ürün elde edilmiş, ruşeym oranının %20 ve üzerine çıkması durumunda ürün yoğunluğu ve kırılabilirliği artmıştır. Ekstrüzyon sıcaklığı ve işleme nem düzeyinin, ürünlerin genleşme ve tekstürel özellikleri üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Nem oranı ve sıcaklık arttıkça genleşme oranı düşmüş, görünür yoğunluk artmıştır. Çalışmada ruşeym katkılı ürünlerin besleyicilik özellikleri incelenmemiştir.

Onwulata ve ark. (2001), ekstrüde mısır çerezi üretiminde %5 oranında buğday kepeği ilavesiyle özgül mekanik enerjinin etkilenmediğini, %12.5 oranında eklenmesiyle ise özgül mekanik enerjide önemli bir düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Yaseen ve Shouk (2005), yağı alınmış ruşeymi %15 oranında mısır irmiği ile yer değiştirerek mısır çerezi üretiminde kullanmışlardır. Ürünler farklı ekstrüzyon koşullarında (nem %14, 18 ve 22; sıcaklık 140, 160 ve 180 °C; vida hızı 180, 210 ve 240 dev/dk) tek vidalı ekstrüder kullanılarak üretilmiş ve ürünlerin fonksiyonel özellikleri, gözenek yapısı ve duysal özellikleri incelenmiştir. Yağı alınmış ruşeym katkılı ekstrüde ürünlerin genleşme oranları, su absorplama indeksleri, suda çözünürlük indeksleri ve kırılma mukavemetleri kontrol ürüne göre azalırken, yığın yoğunlukları ise artmıştır. Karışımın nem içeriği, sıcaklık ve vida hızının ekstrüde ürünlerin duysal özellikleri ve hücre yapıları üzerindeki etkileri önemli bulunmuştur. Bu faktörlere bağlı olarak ekstrüde ürünlerin mikro gözenek yapıları ve boyutları değişmiştir. En iyi ürün karışım nem oranı %14, ekstrüzyon sıcaklığı 160 °C ve vida hızı 240 dev/dk kombinasyonunda elde edilmiştir.

Gajula ve ark. (2008), buğday ununa %10, 20 ve 30 oranlarında buğday kepeği ilave ederek ekstrüder ile ön pişirme işlemine tabi tutmuşlardır. Ön pişirme işlemi sonucunda çözünebilir diyet lifi oranı %22'den %73'e çıkarken çözünmez diyet lifi oranı düşmüştür. Daha sonra buğday unu (kontrol) ve %20 kepek içeren ön işlem görmüş un kullanılarak tortilla ve kurabiye üretilmiştir. Her iki undan yapılan ürünlerin duysal özellikleri oldukça benzer ve kabul edilebilir bulunmuştur.

Kaur ve ark. (2015), farklı ekstrüzyon koşullarının (nem içeriği %14, 17 ve 20; ekstrüzyon sıcaklığı 115, 140 ve 165 °C) buğday, arpa, yulaf ve pirinç kepeklerinin antibesinsel özelliklerine olan etkilerini çalışmışlardır. Ham örneklerde yüksek konsantrasyonlarda fitik asit, polifenol, oksalat ve tripsin inhibitörü saptanmış olup ekstrüzyon işlemiyle fitik asitin %54.51, polifenollerin %73.38, oksalatların %36.84 ve tripsin inhibitörlerinin %72.39 oranında düştüğü rapor edilmiştir. Antibesinsel maddelerdeki en yüksek azalma %20 nem ve 140 °C sıcaklık kombinasyonunda gerçekleşmiş ve çalışma sonunda ekstrüzyon teknolojisinin tahıl kepeklerinin antibesinsel özelliklerinin düşürülmesinde iyi bir alternatif olduğu bildirilmiştir.

Makowska ve ark. (2015), mısır irmiğine %20 ve %40 oranlarında yulaf, çavdar ve buğday kepeği ilave ederek altı farklı ekstrüde çerez üretmiş ve ürünlerin fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerini incelemişlerdir. Ekstrüde ürünlerin kepek oranlarının artmasıyla renk özellikleri değişmiş (L^* ve b^* değeri azalırken, a^* değeri artmış), genleşme oranı azalmış ve yoğunluğu artmıştır. Duyusal olarak en yüksek kabul edilebilirlik değeri %20 oranında yulaf kepeği içeren ekstrüde üründe, en düşük kabul edilebilirlik değeri ise %40 oranında buğday kepeği içeren çerezden elde edilmiştir. Ürünlerin genel beğenisi gevreklik artışı ile yükselmiş, sertlik ve yoğunluk artışı ile düşmüştür. Gözeneklilik, tat, renk ve genleşme oranı arasında pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Kepek katkılı ürünlerin toplam diyet lifi içerikleri %6.5-15.8 ve çözünebilir diyet lifi içerikleri ise %2.1-3.7 arasında değişmiştir. Genel olarak, kepek ilave oranının artması ürünlerin duyusal ve teknolojik kalitelerini düşürürken besleyicilik değerlerini yükseltmiştir. Düşük oranda (%20) kepek ilave edilen ekstrüde çerezlerin gerek diyet lifi içerikleri gerekse duyusal kaliteleri kabul edilebilir nitelikte bulunmuştur.

Dar ve ark. (2016), pirinç ununa buğday, yulaf ve pirinç kepeklerini (%10, 20 ve 30) ayrı ayrı ve kombine şekilde (buğday:pirinç:yulaf oranı 2:1.5:1.5) ilave ederek ekstrüde çerez üretmişler ve depolamanın toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değişimlerine etkilerini incelemişlerdir. Oda sıcaklığında 6 ay depolanan kepekli ekstrüde çerezlerin toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan kapasitelerinde azalma meydana gelirken nem içerikleri, su aktiviteleri ve serbest yağ asitliklerinde kayda değer bir değişim saptanmamıştır. Kepek çeşidi ve ilave oranının ekstrüde ürünlerin toplam fenolik madde içerikleri ve antioksidan kapasitelerini nasıl etkilediği ise bildirilmemiştir.

Fleischman ve ark. (2016), üç farklı buğday (sert kırmızı, yumuşak beyaz ve mor) sınıfından üretilen kepekleri farklı oranlarda (%12.5, 25 ve 37.5) ekleyerek ekstrüde çerez üretmişlerdir. Ekstrüde ürünler fiziksel özellikler ve antioksidan kapasite bakımından değerlendirilmiştir. Yüksek oranda kepek ilavesi ürünlerin su absorplama kapasitelerini artırarak özelliklerini değiştirmiştir. Çerezlerin troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) değerleri kırmızı ve mor buğday kepeklerinin ilavesiyle yaklaşık %37.5 oranında artmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan mısır irmiği Değirmenci Tarım-Gıda Mısır Unu Fabrikası (Gaziantep), bonkalite un Sosyete Un A.Ş. (Karaman), ruşeym Selva Gıda San. A.Ş. (Konya) ve mısır nişastası Abdullah Serin Gıda San. Ltd. Şti. (Karaman) tarafından sağlanmıştır. Ruşeym çekiçli değirmende öğütülüp 500 µm gözenekli elekten geçirildikten sonra kullanılmıştır. Tüm hammaddeler kullanıma kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemelerin tasarımları

Bu çalışma, bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi (BUKEMÇ) ve ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi (RKEMÇ) üretim optimizasyonları olmak üzere birbirinden bağımsız iki araştırmadan oluşmuştur. Araştırmalarda Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde çok sayıda değişken faktör olduğu için bazı faktörler (besleme hızı, kovan sıcaklıkları ve vida hızı) ürün özellikleri dikkate alınarak ön denemelerle belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Ürün kalitesinde etkisi yüksek olan faktörler ise YYM’ye bağımsız değişkenler olarak dahil edilmiştir. Bağımlı değişkenler (yanıtlar-responses) olarak, çerez gıdaların en kritik kalite unsuru olan tekstürel özellikler (genleşme oranı, yoğunluk, gevreklik, kırılgenlik vb.) seçilmiştir. BUKEMÇ ve RKEMÇ denemelerinde kullanılan bağımsız değişkenlerin uç/ekstrem noktaları ve tahmini orta noktaları yürütülen ön denemelere göre karşılaştırılmıştır. Çalışmada yer alan BUKEMÇ ve RKEMÇ üretimi ve optimizasyonu aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

BUKEMÇ çalışmasında ekstrüder besleme hızı (2.5 kg/sa) ve ekstrüder kovan bölme sıcaklıkları (besleme bölümünden kalıba doğru sırasıyla 50, 60, 70, 90 ve 100 °C) sabit tutulmuştur. BUKEMÇ optimizasyonunda dört bağımsız değişkenli ve üç seviyeli Box-Behnken YYM tasarımı takip edilerek deneme deseni (29 çeşit ürün) oluşturulmuştur (Çizelge 3.1). Çalışmanın bağımsız değişkenlerini bonkalite un oranı (%20, 40 ve 60), karışımın nem içeriği (%10, 15 ve 20), ekstrüder vida hızı (325, 450 ve

575 dev/dk) ve kalıp sıcaklığı (110, 130 ve 150 °C) oluşturmuştur. Çalışmada bağımlı değişkenler (yanıtlar) olarak ise ekstrüde ürünlerin sertlik, kırılgenlik, gevreklik, genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik özellikleri yer almıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler Design-Expert (versiyon 7.0, Minniapolis, MN, ABD) programında çoklu regresyon ve varyans analizine (ANOVA) tabi tutularak en uygun YYM modeli (optimum üretim parametreleri) belirlenmiştir. Geliştirilen YYM modeli parametreleri kullanılarak üç tekerrürlü olarak BUKEMÇ üretimleri gerçekleştirilmiş ve YYM modelinin doğrulaması yapılmıştır. Optimize edilen şartlarda üretilen BUKEMÇ'nin fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri ölçülmüştür. Çalışmanın devamında optimizasyonla belirlenen optimum bonkalite un ilave oranı kademeli olarak artırılmış ve dört farklı BUKEMÇ daha üretilmiştir. Bu ürünlerde de fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece bonkalite un katkılama oranının artışına bağlı olarak ürün özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

RKEMÇ çalışmasında Çizelge 3.2.'de sunulan dört bağımsız değişkenli ve beş seviyeli Merkezi Kompozit YYM kullanılmıştır. Çalışmanın bağımsız değişkenlerini ruşeym oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40), karışımın nem içeriği (%12, 14, 16, 18 ve 20), mısır nişastası oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40) ve kalıp sıcaklığı (110, 120, 130, 140 ve 150 °C) oluşturmuştur. RKEMÇ çalışmasında ekstrüder besleme hızı (2.5 kg/sa), vida hızı (400 dev/dk) ve ekstrüzyon kovan bölmesi sıcaklıkları (50, 60, 70, 90 ve 100 °C) ön denemelerle belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Toplamda 30 deneme kombinasyonundan elde edilen RKEMÇ ürünlerine ait tekstürel veriler (sertlik, kırılgenlik, gevreklik, genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik) BUKEMÇ'de olduğu gibi yanıtlar olarak kabul edilmiş; veriler analiz edilerek en uygun YYM modeli belirlenmiştir. YYM modellemesi ile belirlenen optimum parametreler kullanılarak üç tekerrürlü RKEMÇ üretimleri gerçekleştirilmiş ve modelin doğrulaması yapılmıştır. Optimum şartlarda üretilen RKEMÇ'nin fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri ölçülmüştür. Son olarak, optimizasyonla belirlenen optimum ruşeym oranı kademeli olarak artırılmış ve dört farklı RKEMÇ daha üretilmiştir. Bu ürünlerin de fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. BUKEMÇ üretiminde kullanılan Box-Behnken YYM tasarımı

Çalışma No	Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)
1	575	10	40	130
2	575	15	40	110
3	450	10	40	110
4	575	15	60	130
5	450	20	60	130
6	450	15	40	130
7	450	10	20	130
8	450	10	40	150
9	450	15	20	150
10	575	15	20	130
11	325	20	40	130
12	450	20	20	130
13	450	20	40	110
14	325	15	40	150
15	575	15	40	150
16	325	15	20	130
17	450	15	20	110
18	450	10	60	130
19	325	10	40	130
20	575	20	40	130
21	450	15	40	130
22	325	15	60	130
23	450	15	40	130
24	325	15	40	110
25	450	15	60	150
26	450	15	40	130
27	450	20	40	150
28	450	15	40	130
29	450	15	60	110

Çizelge 3.2. RKEMÇ üretiminde kullanılan MKT- YYM tasarımı

Çalışma no	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Nişasta oranı (%)
1	130	20	20	20
2	120	14	30	30
3	130	16	0	20
4	140	18	30	30
5	120	18	10	10
6	140	14	30	30
7	120	18	10	30
8	120	14	30	10
9	130	16	20	20
10	120	18	30	30
11	120	18	30	10
12	120	14	10	30
13	120	14	10	10
14	140	18	30	10
15	130	16	40	20
16	130	12	20	20
17	140	14	30	10
18	130	16	20	20
19	140	18	10	10
20	140	18	10	30
21	140	14	10	10
22	130	16	20	0
23	150	16	20	20
24	130	16	20	20
25	130	16	20	40
26	110	16	20	20
27	130	16	20	20
28	140	14	10	30
29	130	16	20	20
30	130	16	20	20

3.2.2. Ekstrüzyon prosesi

Çalışmada laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder cihazı (Rondol Technology, İngiltere) kullanılmıştır. Üretim sırasında kovan bloklarının sıcaklıkları cihaza monteli bir ısıtma-soğutma sistemi (Smart H150-2100, Labtech, Romanya) kullanılarak sağlanmıştır. Hammadde karışımı önce tavlama (preconditioning) işlemine tabi tutulmuştur. Herbir deneme deseni için hazırlanan karışım, istenen nem içeriğine kadar su eklenerek +4 °C’de 24 saat süreyle dinlendirmeye bırakılmıştır. Tavlanan karışım buzdolabından çıkarılarak oda koşullarına geldikten sonra gravimetrik besleyici

(Brabender Technologies, Almanya) ile ekstrüdere verilmiştir. Ekstrüderden çıkan nemli ürünler 70 °C'deki etüvde (Nüve, FN055, Ankara) 2-3 saat kurutularak nem içerikleri %3-5 aralığına düşürülmüş ve analiz edilmiştir.

3.2.3. Ekstrüde ürünlerin fiziksel analizleri

3.2.3.1. Sertlik, kırılmalık ve gevreklik

Ekstrüde ürünlerin tekstürel karakteristikleri TA-XT2i Texture Analyzer (Texture Technologies Corp., Godalming, Survey, İngiltere) cihazında Texture Expert (versiyon 2.03) programı vasıtasıyla Veillard ve ark. (2003) tarafından tanımlanan yöntemle ölçülmüştür. Çerez örneğini sıkıştırmak için 'Kramer shear cell' kullanılmıştır. Bütün örneklerin uzunlukları 8 cm olacak şekilde kesilmiş, her deneme için 10 paralelli ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Herbir ölçümde numune tamamen (%100) sıkıştırılarak kuvvet-deformasyon ilişkisi grafik olarak kaydedilmiştir. Kuvvet-deformasyon grafiğinden elde edilen maksimum kuvvet 'sertlik', sıkıştırma sırasında gözlemlenen ilk belirgin pik ile en yüksek pik arasındaki doğrusal mesafe 'kırılmalık', bu iki mesafe arasında oluşan toplam pik sayısı ise 'gevreklik' olarak kabul edilmiştir (Samuel ve ark., 2005).

3.2.3.2. Genleşme oranı

Ekstrüde ürünlerin genleşme oranları, ürün çapının ekstrüder kalıp çapına bölünmesiyle bulunmuştur (Doğan, 2014). Ölçümlerde dijital kumpas kullanılmıştır.

$$\text{Genleşme oranı} = D/D_0; \quad D : \text{Ekstrüde ürün çapı (cm)}; \quad D_0 : \text{Kalıp çapı (cm)}$$

3.2.3.3. Gerçek yoğunluk

Ekstrüde çerez numunelerinin gerçek yoğunlukları gaz piknometresi (Accupyc 1340, Micromeritics Instrument Corporation, ABD) kullanılarak belirlenmiştir (Doğan, 2014).

3.2.3.4. Görünür yoğunluk

Ürünlerin çap ve uzunlukları kumpas ile ölçüldükten sonra çerezlerin birim uzunluktaki (1 cm) ağırlıkları tartılarak belirlenmiştir. Her deneme için 10 paralelli ölçüm yapılarak ortalaması alınmış ve aşağıdaki formül kullanılarak görünür yoğunluk hesaplanmıştır (Choudhury ve Gautam, 2003).

$$\rho_y = 4/\pi d^2 l \quad \rho_y : \text{görünür yoğunluk (g/cm}^3\text{)}, d : \text{ekstrüde ürün çapı (cm)},$$
$$l : \text{ürünün birim ağırlıktaki uzunluğu (cm/g)}$$

3.2.3.5. Gözeneklilik

Ekstrüde ürünlerin gözenekliliği, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Choudhury ve Gautam, 2003).

$$\text{Gözeneklilik} = 1 - (\rho_{\text{görünür}}/\rho_{\text{gerçek}})$$

3.2.4. Hammaddeler ve ekstrüde ürünlerin kimyasal bileşen analizleri

3.2.4.1. Nem tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği, ekstrüzyon öncesi hazırlanan karışım ve ekstrüde ürünlerin nem içerikleri (AACC) 44-15A numaralı metodu takip edilerek etüvde (Nüve, FN055, Ankara) kurutma (130 °C, 60 dk) yoluyla belirlenmiştir (Anonim, 2000).

3.2.4.2. Kül tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve ekstrüde ürünlerin kül içerikleri 550 °C sıcaklıktaki kül fırınında (MF106, Nüve, Ankara) sabit ağırlığa gelinceye kadar yakma (AACC Metot 08-01) yoluyla belirlenmiştir (Anonim, 2000).

3.2.4.3. Yağ tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin toplam yağ içerikleri Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle (AACC Metot 30-25) belirlenmiştir (Anonim, 2000). Bu işlem için Gerhardt otomatik ekstraksiyon sistemi (Soxtherm, Gerhardt, Almanya) kullanılmıştır.

3.2.4.4. Protein tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin protein tayini için Kjeldahl analiz metodu (AACC 46-12) kullanılmıştır (Anonim, 2000). Bu işlem için Kjeldahl yarı otomatik sistem (S2, Behr Labor-Technik, Almanya) kullanılmıştır.

3.2.4.5. Fitik asit tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin fitik asit miktarları Haug ve Lantzsch (1983) tarafından tanımlanan kolorimetrik metotla belirlenmiştir. Örnekler 0.2 N HCl çözeltisi ile ekstrakte edildikten sonra demir III çözeltisi ile muamele edilip çöktürülmüştür. Serum kısmında kalan demir miktarı spektrofotometrik yolla ölçülerek fitik asit miktarı hesaplanmıştır.

3.2.4.6. Toplam fenolik madde tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin toplam fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteou yöntemi (Singleton ve ark., 1999) takip edilerek belirlenmiştir. Ekstrüde ürünler blendırda (Waring, Almanya) öğütülerek 375 µm gözenekli elekten geçirilmiştir. Öğütülen örnekler santrifüj tüpüne tartılarak (1 g) üzerine 10 mL asitlendirilmiş metanol çözeltisi (HCl/metanol/su - 1/80/10, h/h) eklenerek 2 saat süreyle 200 dev/dk hızda oda sıcaklığında çalkalamalı inkübatörde (Daihan Scientific, Güney Kore) çalkalanmış ve santrifüjlenerek (1000 x g, 10 dk) berrak ekstre elde edilmiştir. Daha sonra 250 µl 2 N Folin-Ciocalteou fenol ayracı, 250 µl ürün ekstresi ve 5.75 ml saf su santrifüj tüpüne koyularak karıştırılmış ve oda sıcaklığında 8 dk süreyle bekletilmiştir. Son olarak 2.5 ml %7 sulu sodyum karbonat çözeltisi ve 5 ml saf su ilave edilerek karıştırılmış ve oda sıcaklığında 2 saat daha

bekletildikten sonra spektrofotometrede 750 nm dalga boyunda absorbanı ölçülmüştür. Gallik asit standart çözeltileri (0, 100, 200, 300, 400 ve 500 mg/kg) kullanılarak elde edilen standart eğri yardımıyla örneklerin toplam fenolik madde içerikleri “mg Gallik asit eşdeğeri/100 g örnek” olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.7. DPPH radikali engelleme gücü tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin toplam antioksidan kapasiteleri 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikali engelleme gücü yöntemi takip edilerek (Brand-Williams ve ark., 1995) belirlenmiştir. Analizlerde toplam fenolik madde tayini için hazırlanan ekstreler kullanılmıştır. Ekstrüde ürün ekstresinden 100 µl alınarak santrifüj tüpüne aktarılmış, üzerine 3.9 ml DPPH çözeltisi (6×10^{-5} mol/l) eklenerek karıştırılmış ve 30 dk süreyle oda sıcaklığında karanlık bir ortamda bekletildikten sonra 515 nm dalga boyunda absorbanı ölçülmüştür. Asitlendirilmiş metanol çözeltisi kör, DPPH çözeltisi ise kontrol olarak kullanılmış ve örneğin toplam antioksidan kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ DPPH Radikali Engelleme Gücü} = \frac{\text{Kontrol}_{abs} - \text{Örnek}_{abs}}{\text{Kontrol}_{abs}} \times 100$$

3.2.4.8. Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) değerleri, 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radikal katyonu kullanılarak Re ve ark. (1999) tarafından tanımlanan metodun kısmen modifiye edilmesiyle belirlenmiştir. Öncelikle ABTS radikal katyonu (ABTS⁺) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Bu amaçla 96 mg ABTS radikali tartılarak balon jöjeye konulmuş ve üzerine 25 ml saf su eklenerek çözüldürülmüştür. Üzerine 2.45 mM 12.5 ml potasyum persülfat çözeltisi eklenerek 12-16 saat oda sıcaklığında karanlık bir ortamda saklanmış ve ABTS radikal katyonu (ABTS⁺) stok çözeltisi oluşturulmuştur. Ekstreleri seyreltmek ve kör denemeler için 0.1 M fosfat tamponu (pH 7.4) kullanılmıştır. Analiz öncesinde ABTS⁺ stok çözeltisi fosfat tamponu ile seyreltilerek 734 nm dalga boyundaki absorbanı 0.700 ± 0.020 nm'ye ayarlanmıştır. Örneklerden ekstreler elde etmek için 2 g örnek %80'lik 5 ml etil alkol içerisinde 30 dk boyunca 70 dev/dk hızda çalkalanmıştır. Karışım 15000 x g kuvvetinde 10 dk santrifüj edilmiştir.

Küvete berrak kısımdan 10, 20 ve 30 µl ekstre ve 3 ml seyreltilmiş ABTS⁺ eklenerek karanlık bir ortamda 6 dk bekletilmiş ve sonrasında 734 nm dalga boyunda absorbansı okunmuştur. Troloks standart eğrisi kullanılarak örneğin TEAC değeri belirlenmiştir.

3.2.4.9. Diyet lifi tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin diyet lifi fraksiyonları enzimatik-gravimetrik yöntemle (AOAC 960.43) belirlenmiştir (Anonim, 2000b). Öncelikle çözünmez diyet lifi miktarı belirlenmiştir. Bu amaçla Goach krozeleri (40-60 µm gözenekli) 525 °C'de 1 saat kurutulduktan sonra desikatörde soğutulmuştur. Her bir krozeye 1.000±0.005 g Celite-545 tartıldıktan sonra 130 °C'de 4-5 saat kurutularak (Nüve, FN 055, Türkiye) sabit tartıma getirilmiş ve desikatöre alınmıştır. Çekiçli değirmende öğütülen ve 375 µm elekten geçirilen örnekler bir gece 105 °C'de etüvde kurutulmuştur. Örnekler 1.000±0.005 g hassasiyetle tartılmış ve erlen içerisine aktarılmıştır. Örneklerin üzerine 40 ml MES-TRİS tamponu (pH 8.2) ve 50 µl ısıya dayanıklı α-amilaz (3000 U/ml) ilave edilmiş ve 98-100 °C'deki çalkalamalı su banyosunda (Daihan, WSB 45, Güney Kore) 30 dk inkübasyona bırakılmıştır. Destile su (10 ml) ile beherin kenarındaki kalıntılar örneğe dahil edilmiş ve karışım 60 °C'ye soğutulmuştur. Soğutulan karışıma 100 µl proteaz (350 tirozin U/ml) ilave edilerek 60 °C'de 30 dk çalkalamalı su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda karışıma 5 ml 0.561 N HCl ilave edilerek pH 4.1-4.8 aralığına getirilmiştir. Uygun pH düzeyi ayarlandıktan sonra karışıma 200 µl amiloglikozidaz (3300 U/ml) ilave edilmiş ve 60 °C'de 30 dk çalkalamalı su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. Goach krozeleri süzme işleminden önce yaklaşık 3 ml destile su ile yıkanmış ve ardından karışım vakum yardımıyla süzülmüştür. Beherin içindeki kalıntılar 10 ml 70 °C'lik destile su ile yıkanarak örneğe dahil edilmiştir. Ardından örnekler 20 ml %95'lik etanol ve 20 ml aseton ile iki defa yıkanmış ve süzülmüştür. Süzme işleminden sonra krozeler 105 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve tartılmıştır. Kurutulan örneklerde kül ve protein analizleri gerçekleştirilmiştir. Tortu ağırlığından kül ve toplam protein miktarları çıkarılarak çözünmez diyet lifi miktarı hesaplanmıştır.

Toplam diyet lifi analizinde de yukarıda anlatılan örnek hazırlama ve enzimle muamele prosedürü takip edilmiştir. Amiloglikozidaz muamelesinden sonra her bir örneğe 225 ml 60 °C sıcaklıkta %95'lik etanol eklenmiş ve oda koşullarında 1 saat çöktürme işlemi uygulanmıştır. Vakum uygulanarak süzme işlemi gerçekleştirildikten

sonra beherde örnek kalmaması için %78'lik etanol ile yıkanmıştır. Daha sonra sırasıyla 30 ml %78'lik etanol, 30 ml %95'lik etanol ve 30 ml aseton ilave edilerek yıkama işlemi tamamlanmıştır. Krozeler kalıntı ile birlikte 105 °C'de bir gece boyunca etüvde kurutulmuştur. Tortu ağırlığından kül ve toplam protein miktarları çıkarılarak toplam diyet lifi miktarı hesaplanmıştır.

Örneklerin çözünebilir diyet lifi miktarı ise, toplam diyet lifi miktarından çözünmez diyet lifi miktarının çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

3.2.4.10. Mineral madde tayini

Bonkalite un, ruşeym, mısır irmiği ve son ürünlerin Ca, Cu, Fe, K, Mg, P, Zn ve Se miktarlarının tayini için 0.5 g kuru örnek 10 ml HNO₃+H₂SO₄ karışımı kullanılarak mikrodalga yakma sisteminde (Mars 5, CEM Corporation, ABD) yaş yakma metoduyla yakılmış, elde edilen süzüklerin mineral madde içerikleri ICP-OES (inductively-coupled plasma spectrometer) cihazında (Vista Series, Varian International, AG, İsviçre) tayin edilmiştir (Skujins, 1998).

3.2.5. Ekstrüde ürünlerin duyusal analizleri

Yeni üretilen ve kurutulan (taze) ekstrüde mısır çerezlerinin duyusal değerlendirmesi Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü lisansüstü öğrencileri ve öğretim elemanlarından oluşan 10 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Panelistler örneklerin renk, tat, koku, tekstür (gevreklik), görünüm (gözenek yapısı) ve genel beğeni özelliklerini 7 ölçekli hedonik skala kullanarak puanlamışlardır (Doğan, 2014). Skalada “7: çok iyi”, “4: kararsız kaldım” ve “1: çok kötü” yargıyı ifade etmiştir. Değerlendirme formu **EK1** olarak verilmiştir.

3.2.6. Ekstrüde ürünlerin depolanması ve duyusal analizleri

Ekstrüde çerez örnekleri ambalajlanarak 90 gün boyunca oda sıcaklığında depolanmıştır (Gulla ve Waghray, 2012). Duyusal analizler 0., 30. ve 90. günlerde uygulanmıştır. Yukarıda tanımlanan panelist grubu yine aynı yöntemle (Doğan, 2014) ürünleri duyusal olarak değerlendirmişlerdir.

3.2.7. İstatistiksel analizler

BUKEMÇ ve RKEMÇ üretimlerinin optimizasyonu için sırasıyla Box-Behnken YYM ve Merkezi Kompozit Tasarımı YYM ile elde edilen yanıtlar Design Expert (vesiyon 7.0, Minneapolis, MN, USA) programıyla analiz edilmiştir. Her bir yanıt için çoklu regresyon analizi vasıtasıyla matematiksel bir model geliştirilmiş ve önemlilikleri ANOVA yoluyla belirlenmiştir. Ayrıca, optimum şartlarda herbiri üç tekerrürlü olarak üretilen BUKEMÇ ve RKEMÇ örneklerinin fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerine ait veriler yine ANOVA yoluyla analiz edilmiş, ortalamalar karşılaştırılmıştır (Ruby-Figueroa, 2016).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Bonkalite Un Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezi Çalışması

4.1.1. Bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi üretiminin optimizasyonu

Bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi (BUKEMÇ) üretiminden önce Box-Behnken YYM yöntemi kullanılarak deneme deseni oluşturulmuştur. Deneme deseni oluşturulurken, vida hızı (325, 450 ve 575 dev/dk), nem içeriği (%10, 15 ve 20), bonkalite un oranı (%20, 40 ve 60) ve kalıp sıcaklığı (110, 130 ve 150 °C) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Besleme hızı (2.5 kg/sa) ve ekstrüder zone sıcaklıkları (50, 60, 70, 90 ve 100 °C) ön deneme sonuçlarına göre sabit tutulmuştur. Design-Expert programında hazırlanan (7.0, Minneapolis) deneme desenlerindeki değerlerde birer kilogramlık karışımlar hazırlanarak üretimler gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin her biri ön denemeler sonucunda ürünün tekstürel ve fiziksel özelliklerini en çok etkileyen koşullara göre belirlenmiştir (Çizelge 4.1.). Sertlik (N), kırılmalık (N x s), gevreklik (pik sayısı), genişleme oranı, görünür yoğunluk (g/cm³) ve gözeneklilik değerleri yanıt (responses) olarak kabul edilmiştir.

Box-Behnken YYM deneme deseninde toplanan veriler (Çizelge 4.1) en düşük sertlik, en yüksek gevreklik, kırılmalık ise sertlik ve gevreklik ile uyumlu, en yüksek genişleme oranı, en düşük görünür yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik hedeflenerek Design-Expert® programında modellenmiştir. Üretilen en uygun modeller ve bunlara ait varyans analiz (ANOVA) sonuçları Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sunulmuştur. BUKEMÇ üretiminde tekstür özelliklerini belirlemede kullanılan en uygun modellerin sertlik ve gevreklik için ikinci dereceden (p<0.01), kırılmalık için ise iki faktör etkileşimli modelin önemli (p<0.01) olduğu saptanmıştır. Sertlik, kırılmalık ve gevreklik değerleri için geliştirilen tüm modeller uyumsuzluk testini geçmiş (p>0.05); belirleme katsayıları (R²: 0.92, 0.93 ve 0.87), uyarlanan belirleme katsayıları (R²: 0.91, 0.91 ve 0.84) ve tahminlenen belirleme katsayıları (R²: 0.86, 0.86 ve 0.78) yüksek olarak bulunmuştur. Modellere ait denklemler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ekstrüde ürünlerin sertlik, kırılmalık ve gevreklik özelliklerinin farklı ekstrüzyon koşullarındaki değişimi Şekil 4.1-4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. BUKEMÇ üretiminin Box-Behnken - YYM yöntemiyle optimizasyonu

Çalışma no	Bağımsız Değişkenler				Yanıtlar					
	Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Sertlik (N)	Kırılma lık (N x s)	Gevrekli k (pik sayısı)	Genleşme oranı	Görünür yoğunlu k (g/cm ³)	Gözeneklilik
1	575	10	40	130	589.11	848.96	12.00	2.13	0.15	0.89
2	575	15	40	110	401.77	1278.20	27.00	2.81	0.17	0.88
3	450	10	40	110	598.17	975.53	15.00	2.66	0.19	0.86
4	575	15	60	130	621.73	723.03	16.00	2.28	0.27	0.82
5	450	20	60	130	514.86	1062.62	13.50	1.80	0.60	0.58
6	450	15	40	130	496.84	1026.32	16.11	2.80	0.16	0.89
7	450	10	20	130	362.26	1278.80	24.67	3.41	0.13	0.90
8	450	10	40	150	621.04	687.03	7.00	2.25	0.17	0.88
9	450	15	20	150	368.41	1386.63	24.33	2.71	0.20	0.86
10	575	15	20	130	306.32	1391.76	36.00	2.91	0.16	0.89
11	325	20	40	130	617.39	1267.19	18.00	1.82	0.68	0.53
12	450	20	20	130	486.29	1198.96	15.00	2.05	0.37	0.75
13	450	20	40	110	525.53	1267.26	17.33	2.09	0.47	0.67
14	325	15	40	150	528.35	1039.24	22.33	2.25	0.32	0.78
15	575	15	40	150	436.24	953.17	13.33	2.52	0.18	0.87
16	325	15	20	130	305.47	1358.19	27.50	2.90	0.26	0.82
17	450	15	20	110	263.59	1355.10	38.00	3.17	0.17	0.89
18	450	10	60	130	801.90	456.14	0.00	1.30	0.16	0.86
19	325	10	40	130	617.92	756.51	7.00	2.71	0.22	0.85
20	575	20	40	130	554.57	1105.62	12.00	2.13	0.32	0.78
21	450	15	40	130	377.55	1125.88	21.60	2.75	0.19	0.87
22	325	15	60	130	609.64	735.51	4.33	1.96	0.44	0.70
23	450	15	40	130	465.03	1040.46	25.13	2.54	0.20	0.86
24	325	15	40	110	463.01	856.63	18.50	2.67	0.26	0.82
25	450	15	60	150	620.50	668.23	3.00	1.98	0.43	0.71
26	450	15	40	130	450.55	1003.44	19.67	2.75	0.21	0.85
27	450	20	40	150	577.66	1190.11	15.67	1.55	0.51	0.65
28	450	15	40	130	420.98	1076.34	23.50	2.76	0.19	0.87
29	450	15	60	110	617.86	769.06	7.20	2.36	0.26	0.82

Tekstür, ekstrüde ürünlerin yapısal bütünlüğünü ifade etmektedir (Zhang, 2019). Tekstür özellikleri (sertlik, kırılma lık, gevreklik, genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik) ekstrüde çerez ürünlerinin en önemli kalite parametreleridir. Tüketici tarafından kabul edilmesi için kalite parametrelerinin, tüketicinin albesini çekecek düzeyde olması gerekmektedir. Kesme kuvvetinin, sıcaklığın, nem içeriğinin ve kullanılan hammaddelerin bileşenlerinin kalite parametreleri üzerinde etkisi bulunmaktadır (Brennan, 2006; Yağcı, 2008).

Tekstür cihazından ürünün kırılması için uygulanan kuvvet sırasında alınan maksimum pik noktası ürünün sertlik değeri olarak tanımlanmaktadır (Stojceska ve ark., 2008; Stojceska ve ark., 2009). BUKEMÇ'lerin sertliği 263.59-801.9 N arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). ANOVA sonuçlarına göre nem içeriğinin hem ikinci dereceden hem de doğrusal etkisi önemli ($p < 0.05$) iken, bonkalite un oranı ve kalıp

sıcaklığının sertlik üzerinde doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Vida hızının sertlik üzerinde etkisi önemli ($p>0.05$) bulunmamıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Ekstrüde çerez gıdaların kırılma kuvveti değeri kuvvet-deformasyon eğrisinden sıkıştırma sırasında gözlemlenen ilk belirgin pik ile en yüksek pik arasındaki lineer mesafe kırılma kuvveti olarak tanımlanmıştır (Samuel ve ark., 2005). BUKEMÇ'ler için ölçülen kırılma kuvveti değeri 456.14-1391.76 (Nxs) aralığındadır (Çizelge 4.1). BUKEMÇ'lerin kırılma kuvveti özelliği üzerine nem içeriği, bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının doğrusal etkileşiminin önemli ($p<0.05$) düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca vida hızının kırılma kuvveti üzerine önemli ($p>0.05$) bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

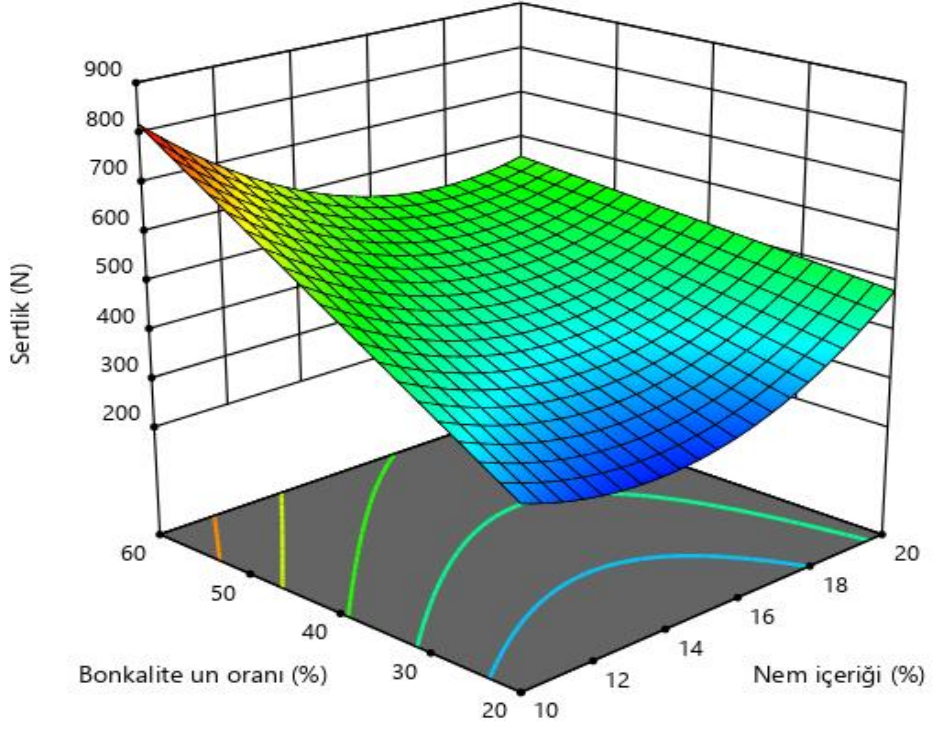
Gevreklik atıştırmalık gıdaların yapısını ilgilendiren tekstürel bir parametredir ve hücre yoğunluğunu ifade etmektedir (Zhang, 2019). Vincet (1998), gevrekliği materyali kırmak için gerekli olan kuvvetteki ani değişiklik olarak tanımlamıştır. BUKEMÇ'lerin gevreklik değeri 0-38 (pik sayısı) arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). BUKEMÇ'lerin gevreklik özelliklerine nem içeriğinin hem doğrusal hem de ikinci dereceden etkisi önemli ($p<0.05$) iken, bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının sadece doğrusal etkilerinin önemli ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca vida hızının gevreklik üzerine etkisi önemli ($p>0.05$) bulunmamıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

Çizelge 4.2. BUKEMÇ'in tekstür özellikleri etkileyen bağımsız değişkenlerinin modellenmesi

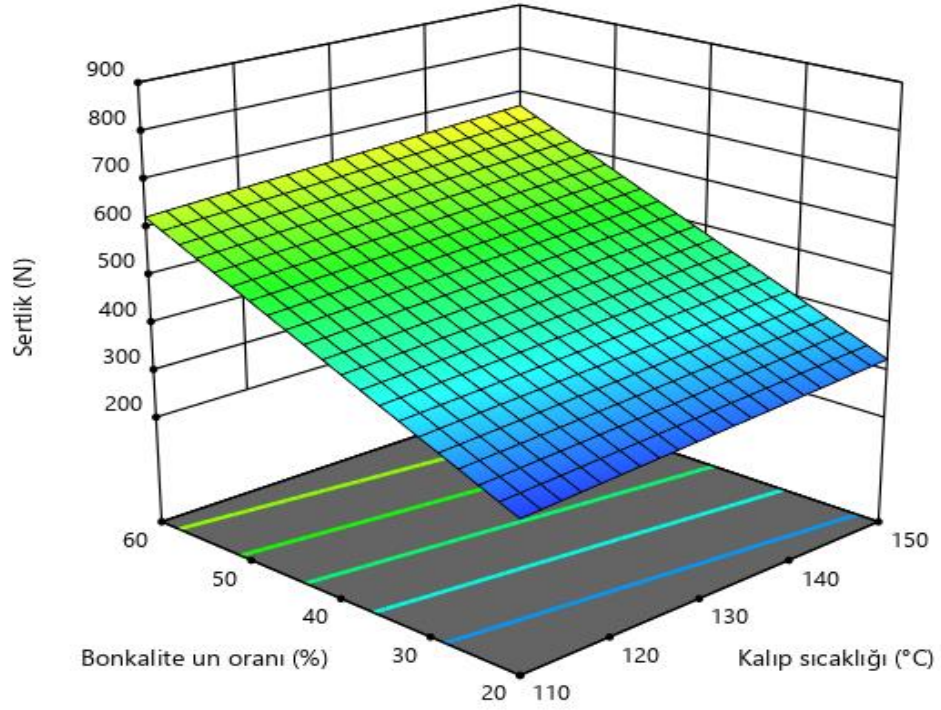
Kaynak	Sertlik			Kırılgenlik			Gevreklik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri
Model	5	54.390	< 0.0001	6	54.110	< 0.0001	6	24.660	< 0.0001
<i>Kuadratik</i>	4	15.860	< 0.0001	-	-	-	4	6.550	0.004
<i>2FI</i>	-	-	-	6	7.280	0.0005	-	-	-
A -Vida hızı (dev/dk)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B - Nem içeriği (%)	1	5.720	0.025	1	71.850	< 0.0001	1	5.100	0.034
C - Bonkalite un oranı (%)	1	166.290	< 0.0001	1	208.110	< 0.0001	1	90.140	< 0.0001
D - Kalıp sıcaklığı (°C)	1	4.620	0.042	1	5.490	0.029	1	8.000	0.009
A x D	-	-	-	1	12.730	0.002	1	5.260	0.032
B x C	1	29.370	< 0.0001	1	23.270	< 0.0001	1	12.680	0.002
B x B	1	65.940	< 0.0001	-	-	-	1	26.780	< 0.0001
Hata	23	-	-	22	-	-	22	-	-
Model uyumsuzluğu	19	0.552	0.776	18	2.480	0.197	18	1.150	0.468
Saf hata	4	-	-	4	-	-	4	-	-
Toplam	28	-	-	28	-	-	28	-	-
	R ² =0.92	Uyarlanan R ² =0.91	Tahminlenen R ² =0.86	R ² =0.93	Uyarlanan R ² =0.91	Tahminlenen R ² =0.86	R ² =0.87	Uyarlanan R ² =0.84	Tahminlenen R ² =0.78
Sertlik = 456.11 - 26.17 x B + 141.18 x C+ 23.52 x D -102.77 x (B x C)+116.12 x (B ²)									
Kırılgenlik = 1030.41 + 174.07 x B - 48.11 x D - 126.91 x (A x D) + 171.58 x (B x C)									
Gevreklik = 20.21 + 2.49 x B - 10.46 x C - 3.11 x D + 4.38 x (A x D) + 6.79 x (B x C) - 7.44 x (B ²)									

Vida hızının BUKEMÇ'lerin tekstürel özelliklerine etkisi önemli ($p>0.05$) bulunmamıştır. Vida hızının ürünlerin tekstürel özelliklerine etkisini değerlendirirken diğer proses bileşenleri de dikkate alınmalıdır. Yapılan bir çalışmada vida hızının artmasının, domates posası ile zenginleştirilen arpa çerezlerinin sertliğinin azalmasına ve gevrekliğinin artmasına sebep olduğu bildirilirken (Altan, 2008), bir diğer çalışmada (Hsieh ve ark., 1989) vida hızının artmasının, hammaddenin kovanda kalma süresini kısalttığı ve nişasta jelatinize olmadığı için, ürünlerin sert ve sıkı bir yapı kazandığını raporlamıştır. Bu çelişkili durumların gerçekleşmesinde, vida hızının tek başına belirli bir etkisinin olmadığı ve diğer bağımsız değişkenlerin de (hammaddenin bileşimi, kullanılan vidanın geometrisi ve dizaynı gibi) göz önünde bulundurulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Brennan, 2006).

Nem içeriği BUKEMÇ'lerin tekstürel özelliklerini belirleyen önemli bir parametredir. Nem içeriğinin belli bir seviyeye kadar tekstürel özellikleri üzerinde olumlu iken, bir seviyeden sonrası olumsuz etkiye sebep olmuştur (Şekil 4.1, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Ekstrüzyon koşullarında nişastanın su absorpsiyonu değişmekte ve su kolaylıkla nişastaya nüfuz edebilmektedir. Su alarak plastikleşen nişastanın, ısının, basıncın ve sürtünme kuvvetinin etkisiyle su kaybederek viskozitesi artmaktadır. Ürünün nem içeriği %8-10 aralığında iken kovanın içerisindeki yapıda camsılaşma meydana gelir. Bu durum ekstrüde ürünün sert ve kırılabilir bir tekstür kazanmasını sağlar (Yağcı, 2015). Nem içeriğinin devamlı artması sonucunda ürünlerin genişmesi azalmakta, hava kabarcıkları incelmekte, kalın hücre duvarları oluşmakta ve yapı sertleşerek kırılabilirlikleri azalmaktadır (Barrett ve Ross, 1990; Kokini ve ark., 1992). Duizer ve Winger (2006), gevrek ürünlerin kırılması için daha az kuvvetin gerekli olduğunu rapor etmişlerdir. Bisharat ve ark. (2014), farklı ekstrüzyon koşullarının (nem içeriği %14-19, vida hızı 150-250 dev/dk ve sıcaklık 140-180 °C) zeytin ezmesi ile zenginleştirilmiş ekstrüde mısır çerezlerinin termal, tekstürel ve fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisine çalışmışlardır. Sıcaklığın artması ile ekstrüde mısır çerezlerinin sertliği azalmış, gevrekliği ise artmıştır. Ancak zeytin ezmesi konsatrasyonu, vida hızı ve nem içeriğinin artması ile yapının sertleştiği ve gevrekliğinin azaldığını bildirmişlerdir.

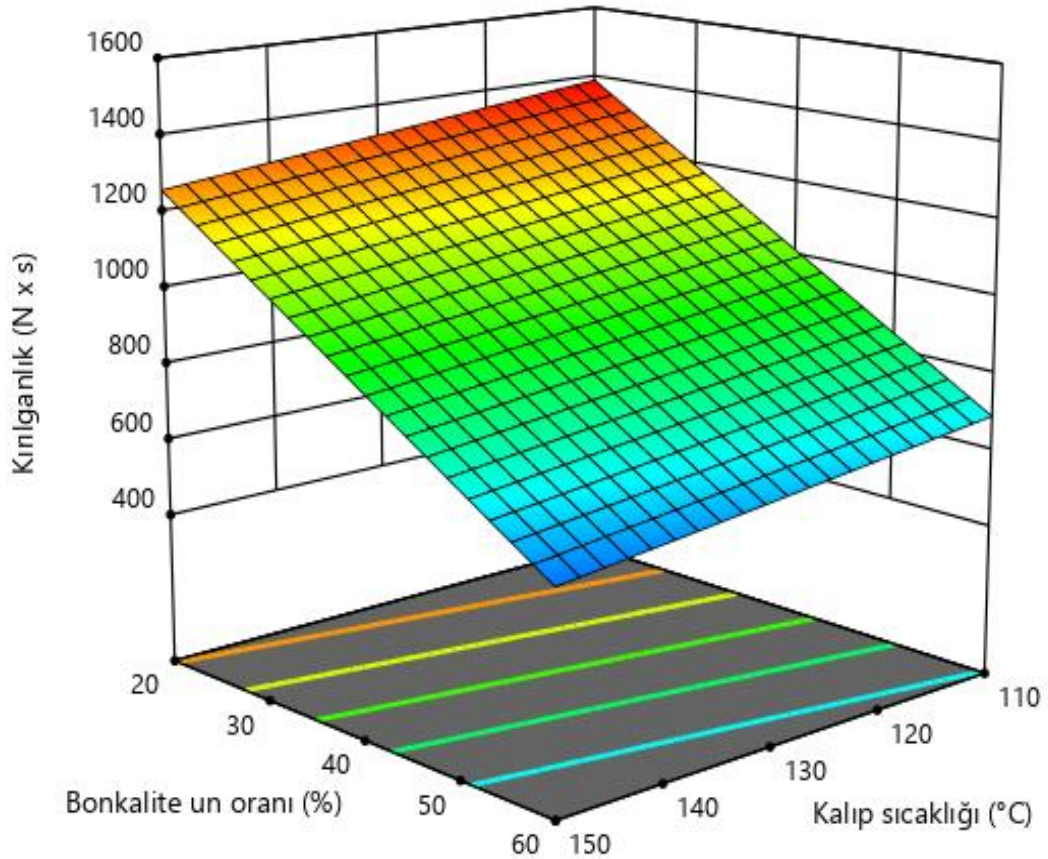


Şekil 4.1. Bonkalite un oranı ve nem içeriğinin 110 °C kalıp sıcaklığı ve 468 dev/dk vida hızının sertliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

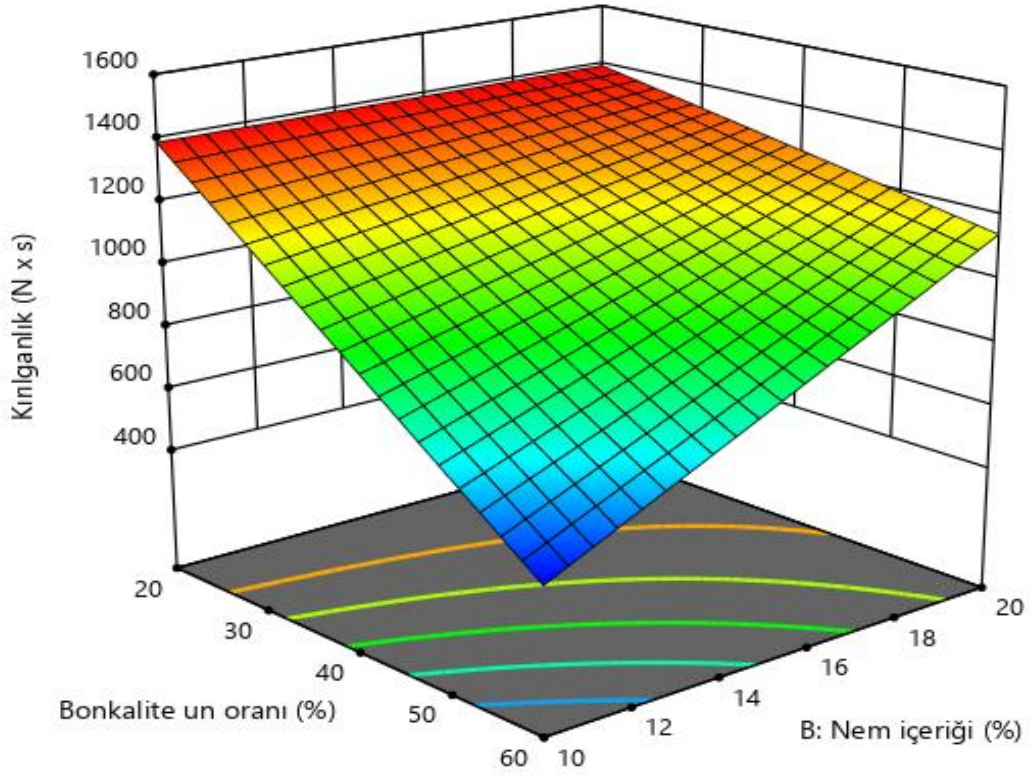


Şekil 4.2. Kalıp sıcaklığı ve bonkalite un oranının %13.42 nem içeriği ve 468 dev/dk vida hızında sertliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Bonkalite un katkısının BUKEMÇ'lerin tekstürel özellikleri üzerine etkisi önemli $p < 0.05$ bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bonkalite un kullanımının artması BUKEMÇ'lerin sertliğini artırırken, kırılgenliğini ve gevrekliğini azaltmıştır. (Şekil 4.1, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Lif molekülleri kovanın içeriğindeki eriyiğın sürekli yapısını bozarak ve yapıdaki suyun bir kısmını bağlayarak genişleme sırasında suyun kullanımını azaltmaktadır (Moraru ve Kokini, 2003). Böylece lif oranı arttıkça ortalama hücre büyüklüğü, genişleme oranı ve gevreklik azalırken, hücre duvarı, görünür yoğunluk, sertlik ve kopma mukavemeti artmaktadır (Hsieh ve ark., 1989; Lue ve ark., 1990; Hsieh ve ark., 1991; Lue ve ark., 1991; Jin ve ark., 1995; Yanniotis ve ark., 2007). Yapılan bir çalışma da ekstrüde ürünlerin lif içeriğı arttıkça sıkı, tok ve istenmeyen tekstüre sahip ekstrüde ürünler elde etmişlerdir (Moraru ve Kokini, 2003). Yulaf kepeğı ile zenginleştirilmiş ekstrüde ürünlerde kepek oranının artması genişlemenin azalmasına ve sertliğın artmasına neden olduğı bildirilmiştir (Lobato, 2011).

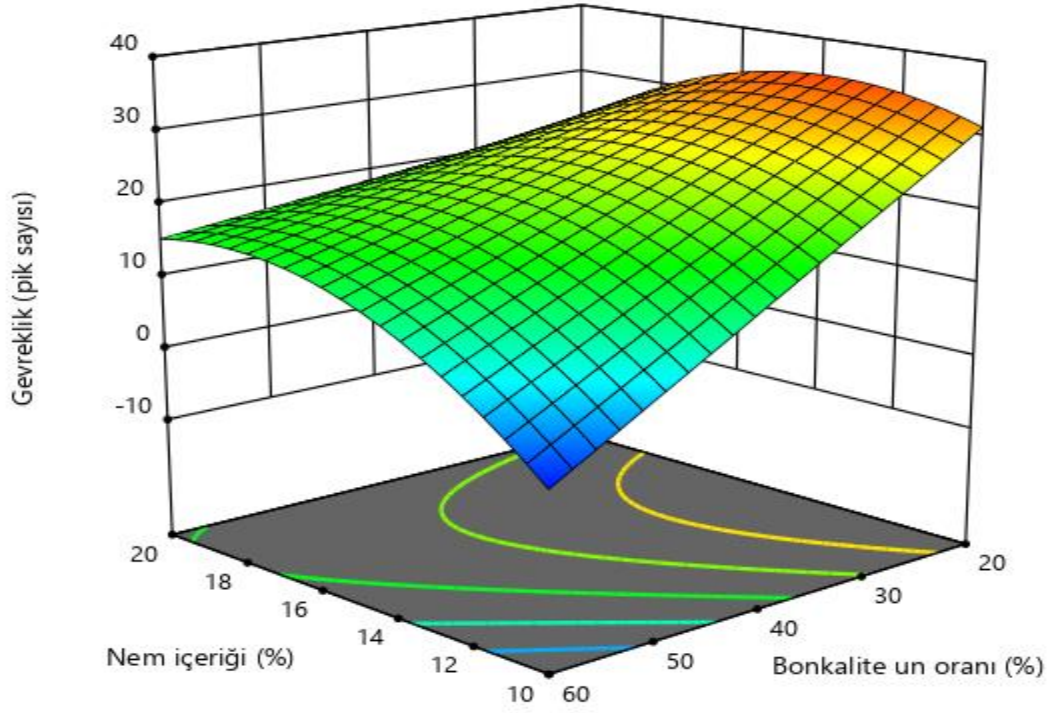


Şekil 4.3. Kalıp sıcaklığı ve bonkalite un oranının %13.42 nem içeriğı ve 468 dev/dk vida hızında kırılgenliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiğı

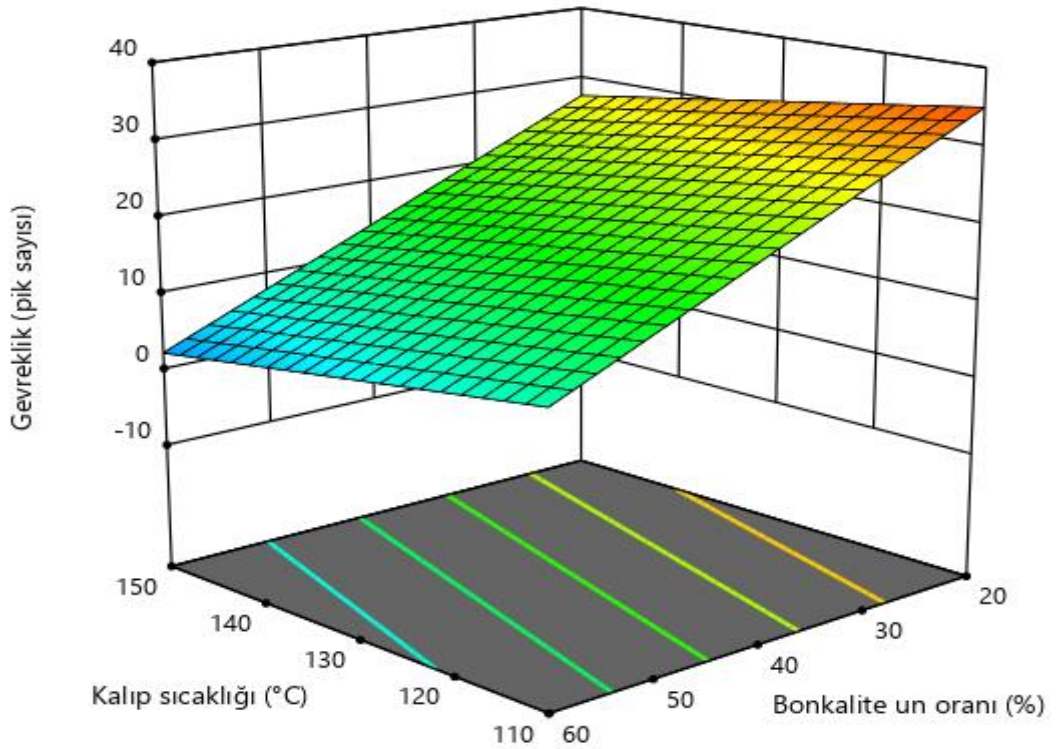


Şekil 4.4. Nem içeriğinin ve bonkalite un oranının 110 °C kalıp sıcaklığı ve 468 dev/dk vida hızında kırılgenliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Kalıp sıcaklığının BUKEMÇ'lerin tekstürel özelliklerine etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.2). Kalıp sıcaklığı arttıkça BUKEMÇ'lerin sertliği artmış, kırılgenliği ve gevrekliği azalmıştır (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.6). Yapılan çalışmalarda ekstrüde ürünlerin kırılgenliğini en çok kalıp sıcaklığı ve lif oranı etkilemiştir (Altan, 2008; Altan ve ark., 2008b). Lif ve protein oranı fazla olan ürünlerde yüksek sıcaklıkta genleşme azalmakta, sertlik artmakta buna bağlı olarak gevreklik de azalmaktadır (Zhang ve ark., 2019). Dar ve ark. (2014) çalışmalarında, ekstrüde ürünlerde yüksek sıcaklıkta büyük hava ceplerinin oluştuğu ve ince hücre duvarlarının sayısının azaldığı için düşük gevrekliğe sebep olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.5. Bonkalite un oranı ve nem içeriğinin 110 °C kalıp sıcaklığı ve 468 dev/dk vida hızında gevreklığe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği



Şekil 4.6. Kalıp sıcaklığı ve bonkalite un oranının %13.42 nem içeriği ve 468 dev/dk vida hızında gevreklığe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

BUKEMÇ'lerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik için en uygun ikinci dereceden modelin önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerleri için geliştirilen tüm modeller uyumlu çıkmıştır ($p>0.05$). Belirleme katsayıları (R^2 : 0.94, 0.95 ve 0.96), uyarlanan belirleme katsayıları (R^2 : 0.91, 0.93 ve 0.93) ve tahminlenen belirleme katsayıları (R^2 : 0.88, 0.86 ve 0.88) yüksek olarak bulunmuştur. Modellere ait denklemler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

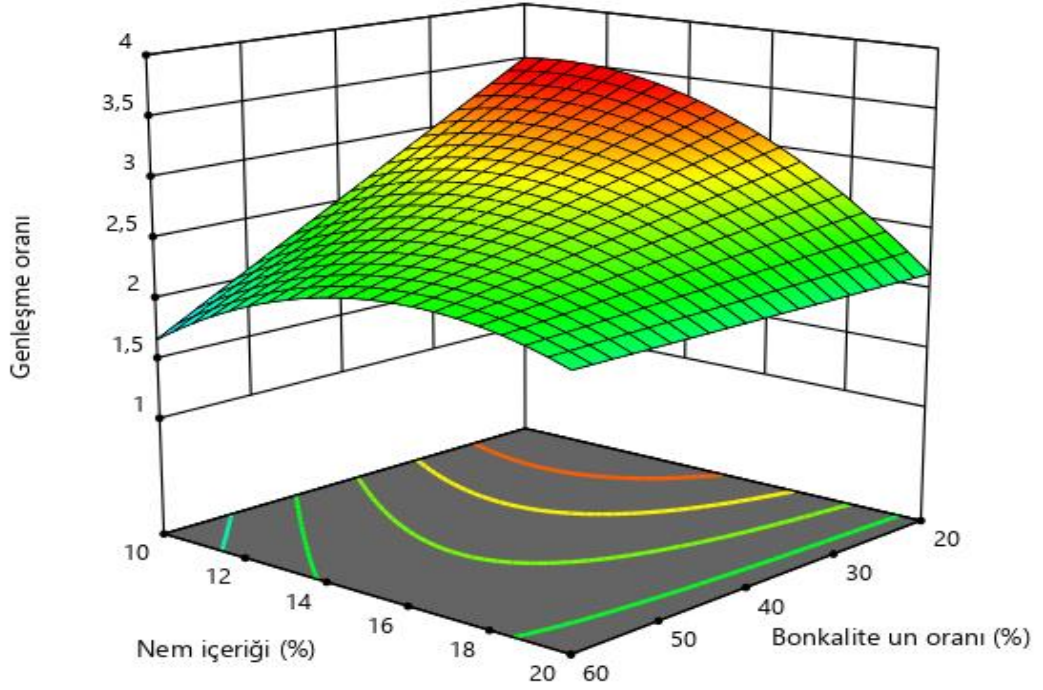
Genleşme oranı ekstrüde ürün çapının, kalıp çapına bölünmesi ile elde edilen ve ürünlerin kalitesi hakkında bilgi veren önemli bir parametredir (Makowska ve ark., 2018; Kowalczewski ve ark., 2019). BUKEMÇ'lerin genleşme oranları 1.30-3.41 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). ANOVA sonuçlarına göre BUKEMÇ'lerin genleşme oranı üzerine nem içeriğinin hem ikinci dereceden hem de doğrusal etkisi, bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının doğrusal etkileri önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ayrıca vida hızının önemli bir etkisinin olmadığı ($p>0.05$) tesbit edilmiştir (Çizelge 4.3). Ürünün yığın yoğunluğu, geliştirilmiş ve şekillendirilmiş gıda ürünlerinin üretiminde kullanılan önemli bir parametredir. Ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğu ile genleşmesi arasında negatif korelasyon bulunmaktadır (Köksel ve ark., 2003; Pathania ve ark., 2013). Patlama derecesinin belirlenmesinde genleşme oranı ve görünür yoğunluk değerleri kullanılmaktadır (Asare ve ark., 2004). BUKEMÇ'lerin görünür yoğunlukları $0.13-0.68 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.1). ANOVA sonuçlarına göre, BUKEMÇ'lerin görünür yoğunluğu üzerine vida hızının, nem içeriğinin ve bonkalite un oranının doğrusal ve ikinci dereceden etkisi önemli bulunurken ($p<0.05$), kalıp sıcaklığının sadece doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.3). Ekstrüderin çıkış kalıbında, nişastalı materyaller buharlaşmanın etkisi ile hızlıca genleşmekte ve gözenekli bir yapı oluşmaktadır. Bu gözenekli yapı hava kabarcıklarının büyüklüğüne ve sayısına göre farklı bir şekil almakta ve ekstrüde ürünler için önemli bir kalite parametresi olan genleşmenin tanımlaması için kullanılmaktadır (Çalışkan, 2019). BUKEMÇ'lerin gözeneklilik değerleri 0.53-0.90 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). ANOVA tablosuna göre, vida hızının, nem içeriğinin ve bonkalite un oranının gözeneklilik üzerine doğrusal ve ikinci dereceden etkisi önemli olurken, kalıp sıcaklığının ikinci dereceden etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. BUKEMÇ'in genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

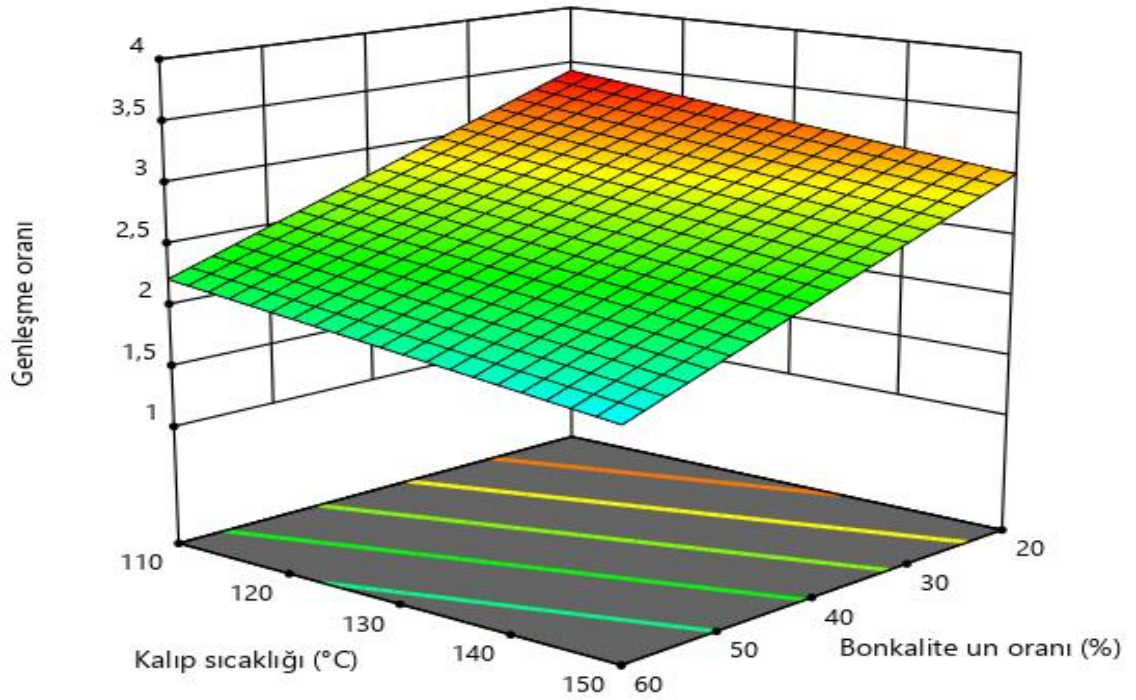
Kaynak	Genişleme oranı			Görünür yoğunluk			Gözeneklilik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri
Model	6	52.650	< 0.0001	9	39.800	< 0.0001	9	44.900	< 0.0001
<i>Kuadratik</i>	4	19.380	< 0.0001	4	14.780	< 0.0001	4	20.830	< 0.0001
A - Vida hızı (dev/dk)	-	-	-	1	47.520	< 0.0001	1	52.680	< 0.0001
B - Nem içeriği (%)	1	38.850	<0.0001	1	199.940	< 0.0001	1	209.490	< 0.0001
C - Bonkalite un oranı (%)	1	127.450	< 0.0001	1	39.670	< 0.0001	1	50.830	< 0.0001
D - Kalıp sıcaklığı (°C)	1	26.620	<0.0001	1	4.450	0.048	1	5.410	0.031
A x B	1	10.120	0.004	1	13.070	0.002	1	16.960	0.0010
B x C	1	44.210	< 0.0001	1	7.280	0.014	1	6.630	0.019
A x A	-	-	-	1	5.050	0.037	1	5.270	0.033
B x B	1	68.660	< 0.0001	1	43.840	< 0.0001	1	59.390	< 0.0001
C x C	-	-	-	1	4.790	0.041	1	6.720	0.018
Hata	22	-	-	19	-	-	19	-	-
Model uyumsuzluğu	18	2.040	0.256	15	4.020	0.0940	15	3.230	0.133
Saf hata	4	-	-	4	-	-	4	-	-
Toplam	28	-	-	28	-	-	28	-	-
	R ² =0.94	Uyarlanan R ² =0.92	Tahminlenen R ² =0.88	R ² =0.95	Uyarlanan R ² =0.93	Tahminlenen R ² =0.86	R ² =0.96	Uyarlanan R ² =0.93	Tahminlenen R ² =0.88
Genişleme oranı = 2.60 – 0.25 x B – 0.46 x C – 0.21 x D + 0.22 x (A x B) + 0.47 x (B x C) – 0.44 (B ²)									
Görünür yoğunluk = 0.21 – 0.08 x A + 0.16 x B – 0.07 x C – 0.02 x D + 0.07 x (A x B) + 0.05 x (B x C) + 0.03 x (A ²) + 0.10 x (B ²) + 0.03 x (C ²)									
Gözeneklilik = 0.86 + 0.05 x A - 0.11 x B – 0.05 x C – 0.02 x D + 0.05 x (A x B) + 0.03 x (B x C) - 0.02 x (A ²) - 0.07 x (B ²) - 0.02 x (C ²)									

Vida hızının BUKEMÇ'lerin genleşme oranı üzerine etkisi önemli ($p>0.05$) değilken, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Vida hızının ekstrüde ürünlerin genleşmesi üzerine etkisinin önemli olduğu çalışmalar olduğu gibi etkisinin önemsiz olduğu çalışmalarda mevcuttur. Obatolu ve ark. (2005), yengeç yan ürünleri ile zenginleştirilmiş mısır çerezlerinde vida hızının genleşme oranı üzerine etkisinin önemsiz olduğunu ancak aynı grubun yengeç ile zenginleştirilmiş mısır çerezlerinde ise vida hızının genleşme üzerine etkisinin önemli ($p<0.05$) olduğunu bildirmişlerdir. Şeker (2005), nişasta-soya proteini karışımından ürettikleri ekstrüde ürünlerinin yığın yoğunluğunun vida hızı arttıkça azaldığını bildirmişlerdir. Daha önce bahsedildiği gibi bu durumun sebebi ekstrüderin çeşidi (tek/çift vida oluşu), vida konfigürasyonu, karışımın kompozisyonu ve sıcaklık değerlerindeki farklılıklar vida hızının etkisinin tam belirlenememesine neden olmaktadır (Moraru ve Kokini, 2003).

Nem içeriğinin BUKEMÇ'lerin genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkisi önemli ($p<0.05$) çıkmıştır. Nem içeriği arttıkça genleşme oranı ve gözeneklilik azalırken, görünür yoğunluk artmıştır (Şekil 4.7-4.12) Su genleşme sürecinde kritik rol oynamaktadır. Genleşme, ekstrüzyon sırasında kesme kuvvetinin etkisinin bir fonksiyonudur. Düşük nem içeriğinde, kesme kuvveti artmakta ve ekstrüde ürünlerde yüksek genleşmeye neden olmaktadır (Davidson ve ark., 1984). Chinnaswamy ve Hanna (1988), düşük nem içeriğine sahip nişastanın, ekstrüder kovani içerisindeki materyalin akışını sınırladığı, nişastaya uygulanan kesme kuvvetini ve kalış süresinin artmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum nişastanın jelatinizasyonunu ve ekstrüde ürünlerin genleşmesini artırmaktadır. Karışımdaki nem içeriği arttıkça, eriyik viskozitesi azalmakta, maksimum genleşme sonrasında, hava kabarcıklarının hücre duvarları incelenerek çökmesine neden olmaktadır. Bu durum genleşmenin ve gözenekliliğin azalmasına ve yığın yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır (Kokini ve ark., 1992).

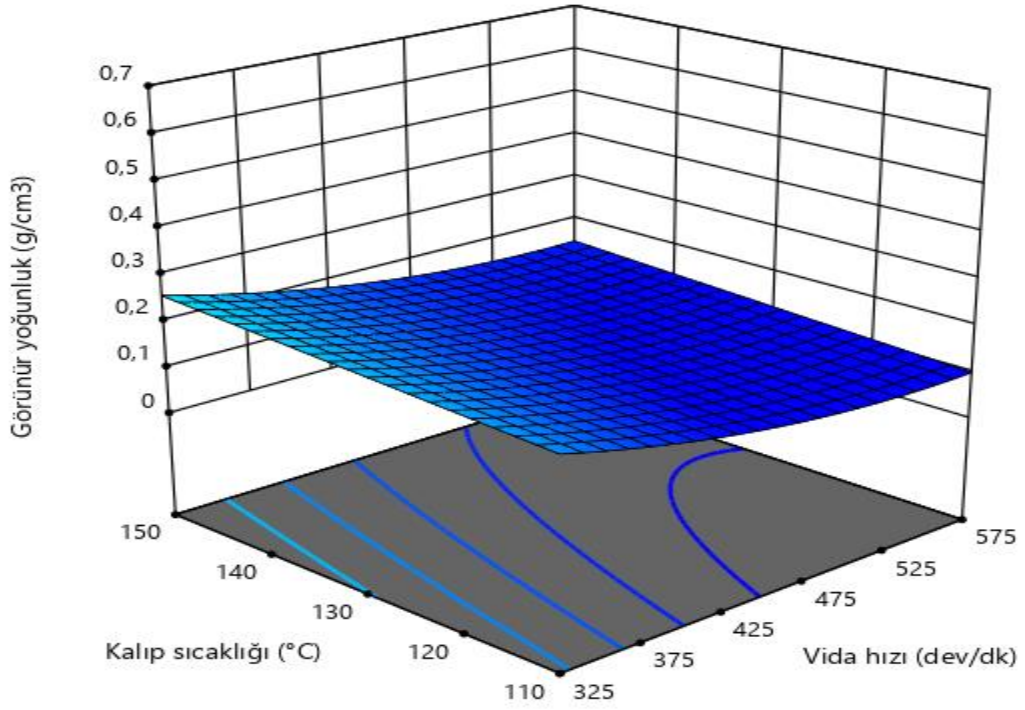


Şekil 4.7. Bonkalite un oranı ve nem içeriğinin 110 °C kalıp sıcaklığı ve 468 dev/dk vida hızında genleşme oranına etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

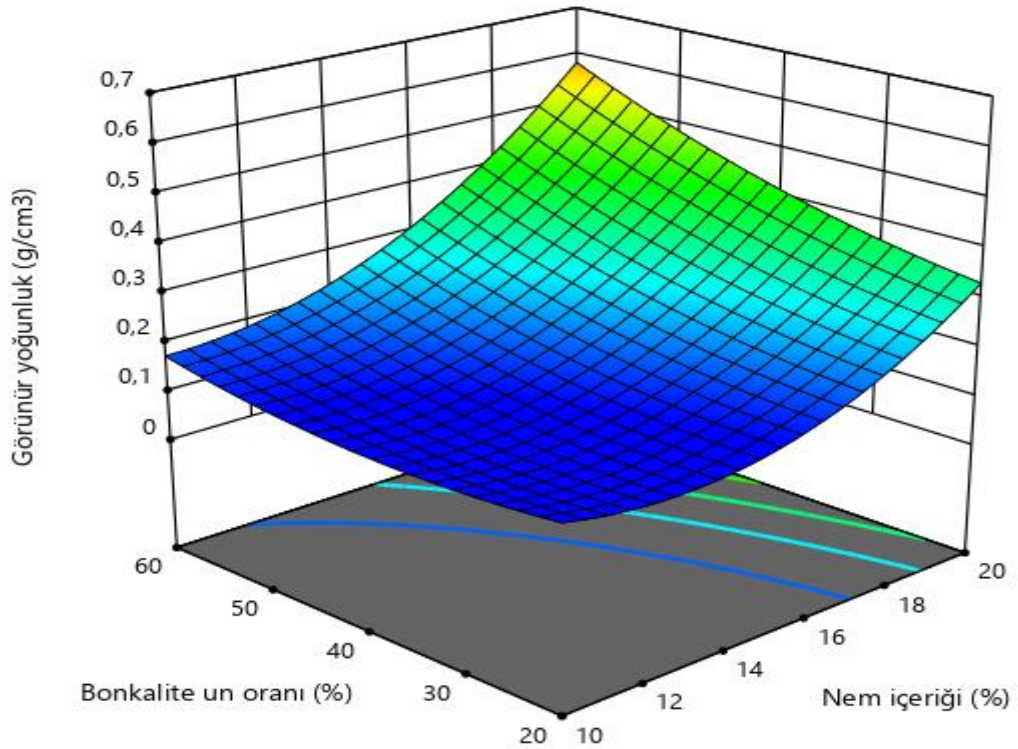


Şekil 4.8. Bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının %13.42 nem oranı ve 468 dev/dk vida hızında genleşme oranına etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Bonkalite un oranı BUKEMÇ'lerin genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkisi önemli ($p<0.05$) çıkmıştır. Bonkalite un oranı arttıkça genişleme ve gözeneklilik azalırken, yığın yoğunluğu artmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.10 ve Şekil 4.12). Bonkalite diyet lifi bakımından zengin bir kaynaktır (Delcour ve Hosoney, 2010). Ekstrüzyon sırasında yapı genişlemeye çalışırken, lif parçacıkları hücre duvarlarını parçaladığı için yapı tam anlamıyla genişememekte ve sıkılaşp sertleşmektedir (Lue ve ark., 1991). Ekstrüde ürünlerin, gözenekliliği ile genişmesi arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır. Az genişen ekstrüde ürünler sıkı, sert ve az gözenekli iken, genişleme oranı arttıkça ekstrüde ürünlerin sertliği azalmakta ve gözenek sayısı çoğalmaktadır (Altan ve ark., 2008b). Lif kaynaklarından tek başına iyi genişen ve gözenek yapısı iyi ürünlerin elde edilmesi mümkün değildir. Lif içeriğinin artması ekstrüde ürünlerin görünür yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır. Moore ve ark. (1990), ekstrüde ürünlerin lif oranı arttıkça yoğunluğunun da arttığını bildirmişlerdir. Kepek konsantrasyonu %0'dan %16'ya arttıkça ortalama hücre boyutu azalmış ve piksel alandaki hücre sayısı artmıştır. Ayrıca kepek, hava kabarcıkların genişlemesine engelleyerek, hücre duvarlarının uzayabilirliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Kepek partikül boyutu hücre duvarlarında kritik bir kalınlıkta parçalanmaya sebep olarak büyük hücrelerin oluşumunu önlemektedir. Gumul ve ark. (2013), farklı ekstrüzyon koşullarının (nem içeriği %14, vida hızı 190 dev/dk ve sıcaklık 150-180 °C) yağı alınmış frenk üzümü tohumunu (%10-50) ekstrüde mısır çerezi üretiminde kullanmışlardır. Tohum oranı arttıkça hemiselüloz miktarında kontrole göre artış gerçekleştiğini buna bağlı olarak yoğunluğun arttığını ve genişlemenin azaldığını bildirmişlerdir.

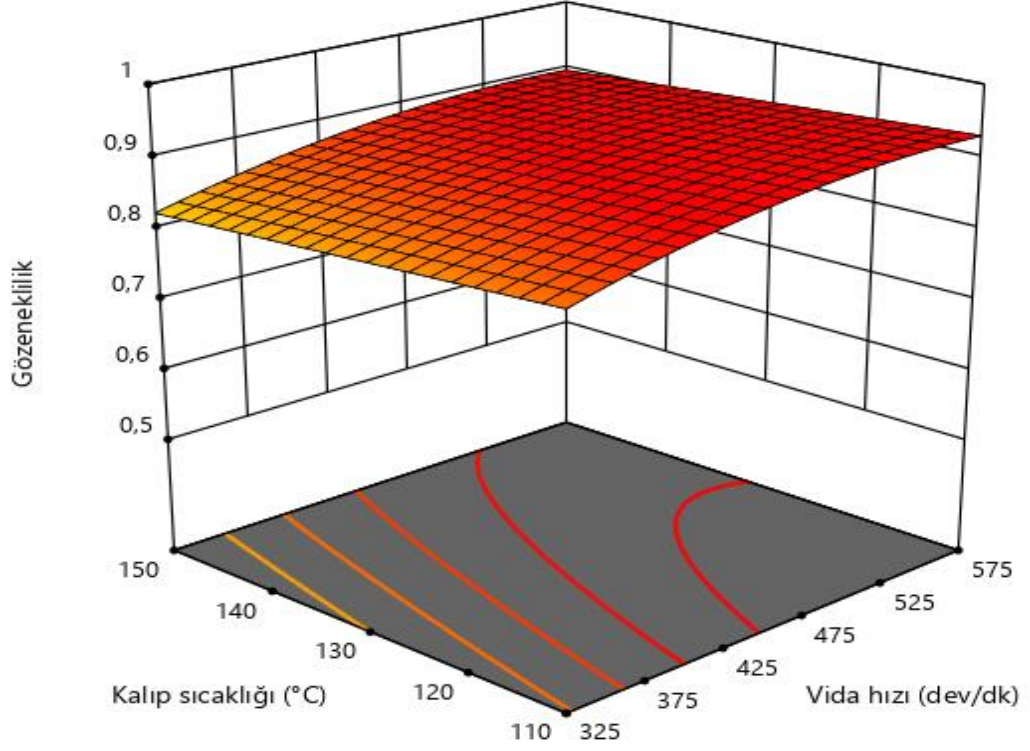


Şekil 4.9. Kalıp sıcaklığı ve vida hızının %20 bonkalite un oranı ve %13.46 nem içeriğinde görünür yoğunluğuna etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

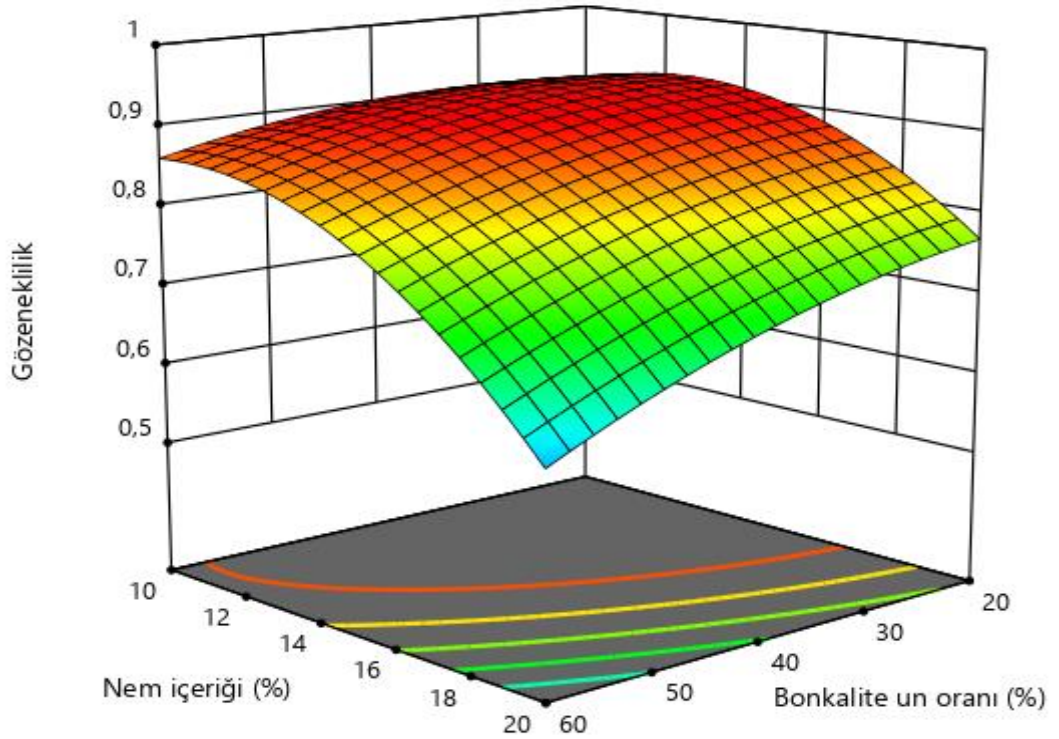


Şekil 4.10. Nem içeriği ve bonkalite un oranının 468 devir/dk vida hızında ve 110 °C kalıp sıcaklığında görünür yoğunluğuna etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Kalıp sıcaklığı BUKEMÇ'lerin genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Kalıp sıcaklığının artmasıyla ekstrüde ürünlerin genleşmesi ve gözenekliliği azalmış, görünür yoğunluğu artmıştır (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.11) Genleşme olayı, kalıp içerisindeki eriyiğin vizkoz ve elastik özellikleri ile alakalıdır (Launay ve Lisch, 1983). Kokini ve ark. (1992), nişasta içeriği ve nem içeriğine bağlı olarak belirlenen kritik sıcaklıkta, nişasta eriyiğinin yüksek buhar basıncında aşırı yumuşadığı ve yapı bozulduğu için, genleşmenin sıcaklığın artması ile azaldığını bulmuşlardır. Falcone ve Philips (1988), kalıp sıcaklığı (160-205 °C) ve nem içeriğini (%13-25) bağımsız değişken olarak belirlediği ekstrüzyon koşullarında, sorgum ve tam yağlı fıstıktan ürettiği ekstrüde ürünlerin fiziksel ve reolojik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Ekstrüde ürünlerdeki maksimum genleşmeyi ve minimum görünür yoğunluğunu düşük ve orta derecedeki sıcaklık ve nem içeriğinde elde ettiklerini bildirmişlerdir. Yağcı ve Göğüs (2008)'de yağı alınmış fındık unu ve meyve atıklarından ürettiği ekstrüde mısır çerezinde sıcaklık arttıkça gözenekliliğin azaldığını, yoğunluğun arttığını bildirmişlerdir. Zhang ve ark. (2019), yüksek sıcaklıkta lif ve protein içeriği yüksek ürünlerin genleşmelerinin düşük, yağın yoğunluğunun ise yüksek olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.11. Kalıp sıcaklığı ve vida hızının %20 bonkalite un oranı ve %13.46 nem içeriğinde gözenekliliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

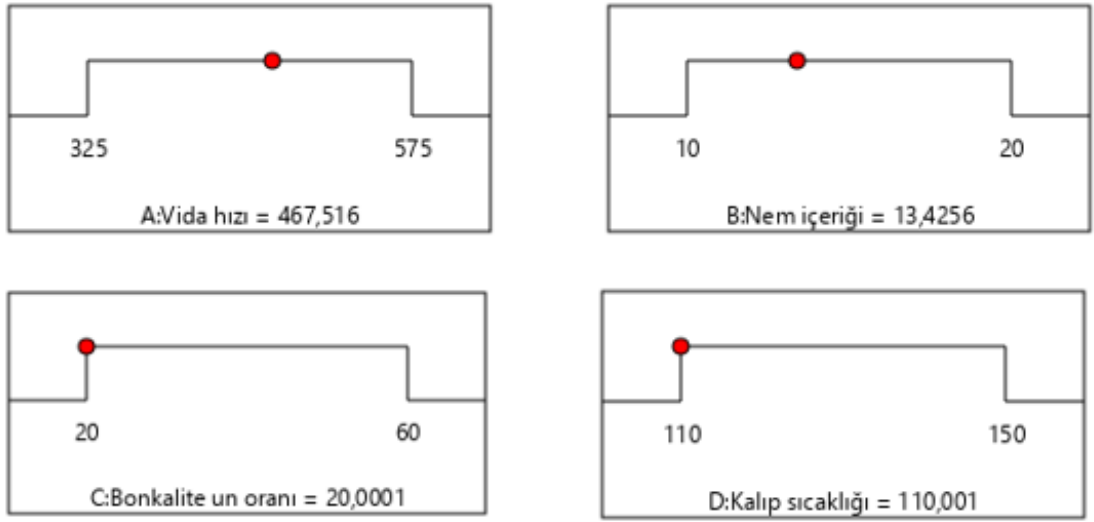


Şekil 4.12. Bonkalite un oranı ve nem içeriğinin 468 dev/dk vida hızı ve 110 °C kalıp sıcaklığında gözenekliliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

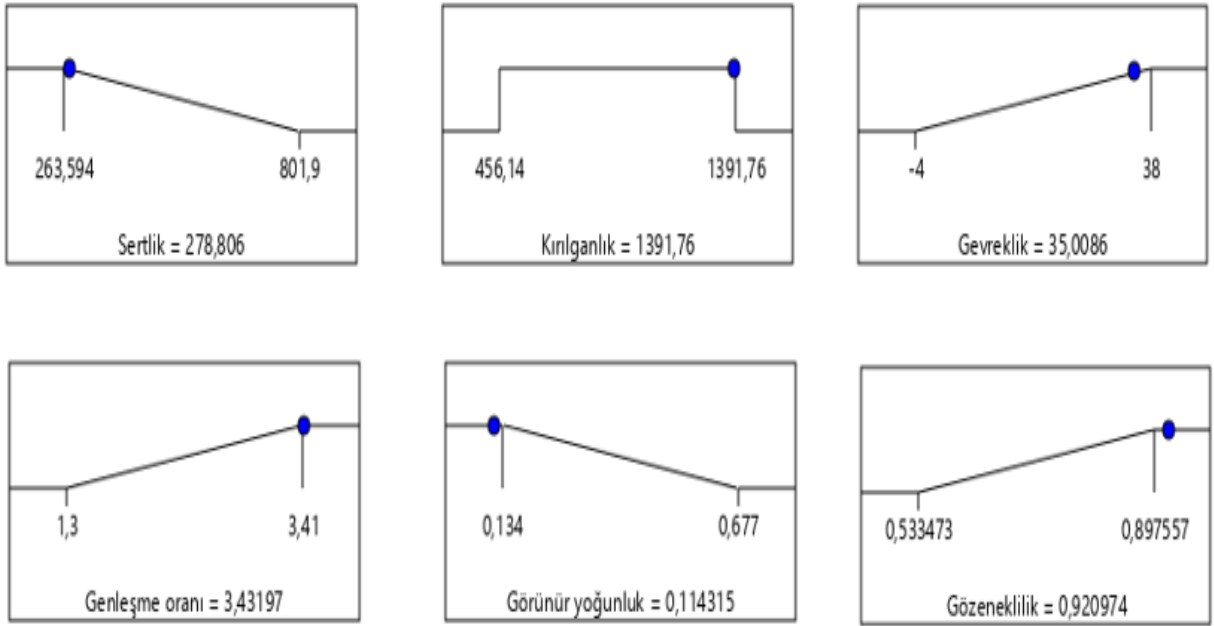
4.1.2. Bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezi üretiminin doğrulanması

Box-Benken-YYM kullanılarak optimize edilen şartlarda (Şekil 4.13; vida hızı 468 dev/dk, nem içeriği %13.5; bonkalite un oranı %20 ve kalıp sıcaklığı 110 °C) BUKEMÇ üretim denemeleri yürütülerek doğrulamaları yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. BUKEMÇ için YYM tahminlenen tekstür sonuçları ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçları ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$) çıkmıştır. Bu sonuç BUKEMÇ üretiminin Box-Benken-YYM ile optimizasyonunun uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın devamında Box-Benken-YYM optimizasyonda belirlenen optimum bonkalite un (%20) miktarı kademeli olarak artırılarak dört farklı BUKEMÇ üretimi (%25, 30, 35 ve 40 bonkalite un) daha gerçekleştirilmiştir. Dört farklı BUKEMÇ'lerin (%25, 30, 35 ve 40) üretim koşulları sırasıyla vida hızı: 554, 575, 575 ve 575 dev/dk, nem içeriği: %13.40, 14.19, 14.79 ve 14.95; bonkalite un oranı: %25, 30, 35 ve 40 kalıp sıcaklığı ise tüm üretim koşullarında 110 °C olarak belirlenmiştir. Üretilen dört farklı BUKEMÇ'lerin sertlik değerleri 350.82-384.02 (N), kırılgenlik değerleri 1107.2-1426.17 (N x s), gevreklik değerleri 29.75-34.33 (pik sayısı), genişleme oranı 2.71-3.55, görünür yoğunluk 0.11-0.13 (g/cm³) ve gözeneklilik değerleri 0.91-0.92 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.5). %40'ın üzerindeki BUKEMÇ'lerde tekstürel ve fiziksel özelliklerinde kayıplar gözlemlendiği için sınır %40 olarak belirlenmiştir. Üretimleri gerçekleştirilen 5 farklı ürünün tekstürel ve fiziksel analizleri (sertlik, kırılgenlik, gevreklik, genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik) gerçekleştirilerek doğrulamaları yapılmıştır. Sonuçlar birbiri ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$) çıkmıştır. Doğrulama sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Bu sonuca göre mısır çerezlerine %40'a kadar bonkalite un katkılamanın kabul edilebilir ekstrüde mısır çerezlerinin üretilmesine olanak sağladığı belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.13. Bağımsız değişkenlerin optimize değerleri (a) ve %20 BUKEMÇ'in optimizasyon sonucunda elde edilen yanıtlarının teorik değerleri (b)

Çizelge 4.4. En iyi ürünün (%20 BUKEMÇ) tekstür, fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Sertlik (N)			Kırılgenlik (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Ürün	Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır
%20 BUKEMÇ	467.50	13.42	20.00	110.00	191.22	307.82	366.45	1220.44	1378.62	1563.07	26.16	37.67	43.86
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm ³)			Gözeneklilik		
Ürün	Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı – Üst sınır
%20 BUKEMÇ	467.50	13.42	20.00	110.00	3.11	3.32	3.75	0.02	0.13	0.21	0.86	0.90	0.98

Çizelge 4.5. BUKEMÇ'lerin tekstür analiz sonuçları, fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri				Sertlik (N)			Kırılgenlik (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı-Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır
554	13.40	25	110	236.27	362.49	408.24	1212.15	1426.17	1571.30	25.6	34.33	44.15
575	14.19	30	110	276.32	350.82	445.59	1157.56	1364.30	1521.00	23.47	32.00	42.28
575	14.79	35	110	313.47	368.82	481.54	1093.64	1207.30	1454.60	20.91	29.75	39.62
575	14.95	40	110	339.39	384.02	507.11	1043.79	1107.20	1404.00	19.50	31.5	37.72
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri				Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm3)			Gözeneklilik		
Vida hızı (dev/dk)	Nem içeriği (%)	Bonkalite un oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır
554	13.40	25	110	2.91	3.02	3.55	0.01	0.11	0.19	0.87	0.92	0.99
575	14.19	30	110	2.75	2.89	3.38	0.05	0.12	0.19	0.03	0.92	0.99
575	14.79	35	110	2.61	2.73	3.23	0.03	0.13	0.21	0.86	0.91	0.98
575	14.95	40	110	2.52	2.71	3.15	0.04	0.13	0.23	0.85	0.91	0.97

4.1.3. Optimize edilen şartlarda üretilen bonkalite un katkılı ekstrüde mısır çerezlerinin kimyasal bileşimi

BUKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddelerin ve Box Benken-YYM ile belirlenen en iyi ekstrüde ürünün (%20 BUKEMÇ) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bonkalite unun ortalama nem, kül, yağ ve protein miktarları sırasıyla %10.57±0.40, %2.46±0.01, %4.58±0.01 ve %16.15±0.07 olarak hesaplanmıştır. Mısır irmiği için aynı değerler sırasıyla %10.58, %0.42, %0.93 ve %7.75 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre bonkalite un kül, yağ ve protein bakımından mısır irmiğinden daha üstün özellikler sergilemiştir.

Çizelge 4.6. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%20 BUKEMÇ) kimyasal analiz sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Nem (%)	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)
Bonkalite un	10.57±0.40	2.46±0.01	4.58±0.01	16.15±0.07
Mısır irmiği	10.58±0.06	0.42±0.04	0.93±0.09	7.75±0.07
%20 BUKEMÇ	7.25±0.08	0.78±0.04	0.19±0.02	10.70±0.14

Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

Optimizasyon sonucunda belirlenen %20 BUKEMÇ'inde nem %7.25, kül %0.78, yağ %0.19 ve protein %10.70 olarak belirlenmiştir. Hammadde olarak kullanılan mısır irmiği ile karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine %20 oranında bonkalite un katılmasının kül ve protein miktarını artırırken yağ miktarını azalttığı Çizelge 4.6'da izlenmektedir. Kül ve protein miktarındaki artış bonkalite unun zengin kül ve protein miktarına atfedilirken, yağ miktarındaki azalmanın sebebi 4.1.3 başlığı altında detaylı olarak açıklanmıştır.

Yapılan çalışmalar bonkalite unun genel olarak %10-14 nem, %15-20 protein, %35-60 nişasta, %3-6 yağ, %3-6 kül, %5-15 lif, 2.3-3.2 mg GAE/g toplam fenolik madde ve %67.9-69.6 DPPH inhibisyon aktivitesi göstermektedir (Hill ve ark., 1960; Elgün ve Ertugay, 1995; Elliott ve ark., 2002; Kim ve ark., 2003; Hemdane ve ark., 2015; Sarfaraz ve ark., 2017; Casas ve ark., 2018). Çelik ve ark. (2003) farklı bölgelerden toplanan ve yem hammaddesi olarak kullanılan bonkalite unların protein, yağ, ham selüloz, kül, kuru madde ve metabolik enerji miktarlarını sırasıyla %14.63-15.23, %2.51-3.22, %3.51-4.14, %2.32-2.55, %87.79-88.16 ve 2971-3063 kcal/kg olarak hesaplamışlardır. Karaman ve Erdemir (2018) yem hammaddesi olarak kullanılan bonkalite unun kimyasal bileşimini kimyasal ve NIR yaklaşımıyla ölçerek

karşılaştırmışlardır. Bonkalite unun ölçüm yöntemi sırasına göre %12.99-13.26 nem, %9.98-10.22 protein, %0.483-0.556 selüloz, %1.39-1.89 yağ, %0.83-1.51 kül, %62.99-66.54 nişasta, %0.563-1.786 asit deterjan lif ve %2.17-11.69 nötral deterjan lif içerdiğini saptamışlardır. Mısır irmiğinin kimyasal bileşimi ise genel olarak nem %14, kül %0.4-0.5, yağ %0.8-1.3 ve protein %7.9-9.0 olarak bildirilmiştir (Obadina ve ark. 2011; Açkar ve ark., 2018). Mısır irmiğinin toplam diyet lifi, çözünebilir diyet lifi ve çözünmez diyet lifi miktarları ise sırasıyla %3.39, %0.21 ve %3.18 olarak hesaplanmıştır (Açkar ve ark., 2018).

BUKEMÇ üretiminde kullanılan bonkalite un ve mısır irmiği ile %20 BUKEMÇ'ine ait fitik asit sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bonkalite un, mısır irmiği ile %20 BUKEMÇ örneklerinde sırasıyla 2105.09±15.92, 2147.30±210.95 ve 968.11±0.00 mg/100g fitik asit miktarı belirlenmiştir. Ekstrüzyon teknolojisinde kısa süreli uygulanan yüksek sıcaklık uygulaması ve kesme kuvveti ile hammaddelerde moleküler dönüşümlere ve kimyasal reaksiyonlara sebep olabilir (Alam ve ark., 2016).

Çizelge 4.7. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%20 BUKEMÇ) fitik asit, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Fitik asit (mg/100g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100g)	Antioksidan kapasite (%)	TEAC ² (mMol Trolox/g)
Bonkalite un	2105.09±15.92	264.06±0.25	89.16±1.10	1.12±0.00
Mısır irmiği	2147.30±210.95	144.50±0.25	94.00±0.94	1.13±0.01
%20 BUKEMÇ	968.11±0.00	54.49±0.48	87.96±1.29	0.80±0.01

¹Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir. ²TEAC: Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite

Nişastanın jelatinizasyonu, proteinlerin denaturasyonu, çeşitli enzimlerin inaktivasyonu, doğal toksinlerin ve antibesinsel bileşenlerin parçalanması gibi değişikliklere sebep olmaktadır. Bunun sonucunda gıdalarda besinsel kalite ve mineral emilimi artmaktadır (Alvarez-Martinez ve ark., 1988; Singh ve ark., 2007; Steel ve ark., 2012; Tiwari ve Jha, 2017). Bu bileşenlerin uzaklaştırılması konusunda bir dilemma söz konusudur. Enzim inhibitörleri, hormon benzeri maddeler, saponinler ve diğer bileşenlerin çocukların büyümesinde ve gelişmesinde gerilemeye sebep olurken, yetişkinlerin kronik rahatsızlıklardan korunmasında yardımcı olmaktadır (Tiwari ve Jha, 2017).

Fitik asit tahılların ve hububatların yapısında miyoinositol heksafosfat 1,2,3,4,5,6-hexakis (dihidrojen fosfat) olarak bulunan doğal ve organik bir bileşiktir. Fitik asit mineral ve protein emilimini olumsuz etkileyen antibesinsel bir maddedir.

Minerallerle birleşerek fitatları oluşturmakta, minerallerin sindirilebilirliğini ve işlevselliğini azaltmaktadır (Bilgiçli, 2002). Hammadde olarak kullanılan bonkalite unun ve mısır irmiğinin fitik asit içerikleri ile karşılaştırıldığında %20 BUKEMÇ'nin fitik asit miktarının ekstrüzyon koşullarında azaldığı anlaşılmaktadır. Ekstrüzyon sırasında meydana gelen yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvvetinin etkisiyle enzimlerin inaktive edilmesinden kaynaklanacağı gibi, bileşik olarak bulunan miyoinositol 1,2,3,4,5,6-heksakis dihidrojen fosfatın termal veya kimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelebileceği düşünülmektedir (Nwabueze, 2007). Ayrıca nem oranı, hammadde, kalıp sıcaklığı ve besleme oranı antibesinsel bileşenleri azaltmada etkili ekstrüzyon parametreleri olarak bilinmektedir (Levic, 2010). Kaur ve ark. (2012), buğday, arpa ve yulaf kepeklerinin özel belirlenmiş ekstrüzyon koşullarında (115 °C ve %20 nem içeriğinde) antibesinsel özellikleri üzerine etkisini çalışmışlardır. En yüksek fitat azalmasının buğday kepeğinde (%64.40) olduğu bunu arpa kepeğindeki azalmanın (%63.55) takip ettiği, en düşük azalmanın yulaf kepeğinde (%26.47) belirlendiği bildirilmiştir. Mukhopadhyay ve Bandyopadhyay (2003), ekstrüzyon teknolojisi kullanarak susamların tanin içeriğini azaltmışlar ve bu teknolojinin susamlardaki tanin içeriğinin azaltılmasında etkili yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada kuru sıcaklık uygulaması ve ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak pirinç kepeğinin fitik asit miktarının azaltılması hedeflenmiştir. Ekstrüzyon teknolojisinin fitik asit miktarının azaltılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Sharma ve ark., 2012). Sing ve ark. (2000), beslenme açısından dengeli olması için kırık pirinçleri kepek ile karıştırarak ekstrüde etmişler. Kepek ilavesi ile karışımın kalsiyum, fosfor, demir, bakır, tiamin, riboflavin gibi besleyici özelliklerinde artış meydana gelirken, fitin fosforu ve tripsin inhibitörü gibi antibesinsel faktörler de artış meydana gelmiştir. Ekstrüzyonla pişirme sonucunda ise tiamin, riboflavin ve lizin miktarında azalma meydana gelmiştir. Ancak fitin fosforunda ve tripsin inhibitöründe inaktivasyona sebep olarak yüksek protein sindirilebilirliği ile besleyici kalitenin artmasına sebep olmuştur.

BUKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %20 BUKEMÇ'ine ait toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bonkalite un ve mısır irmiğinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite özellikleri sırasıyla 264.06 ± 0.25 mg GAE/100g ve 144.50 mg GAE/100g, 89.16 ± 1.10 ve 94 ± 0.94 , DPPH engelleme gücü 1.12 ± 0.00 mMol Trolox/g ve 1.13 ± 0.01 mMol Trolox/g olarak bulunmuştur. Buna göre bonkalite un toplam fenolik madde miktarı bakımından mısır irmiğinden daha yüksek değere sahiptir. %20 bonkalite un içeren

ekstrüde örneklerin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 54.49±0.48 mg GAE/100g, %87.96 ±1.29 antioksidan kapasite ve 0.80 mMol Trolox/g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon koşullarında %20 BUKEMÇ'in toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve TEAC değerlerinde hammaddeye göre bir azalma meydana gelmiştir.

Antioksidantlar, DNA ve enzimleri oksidatif bozulmalara karşı koruyan, küçük konsantrasyonlarda ve özel koşullarda oksitlenmeyi önleyici ve geciktirici maddelerdir (Vaher ve ark., 2010). Bitkilerdeki fenolik bileşenler bitkiyi oksidasyon, hastalık ve avlanma gibi faktörlerden korumak için üretilmektedir. Geniş flavonoid ailesini içeren bu bileşenlerin insan sağlığı üzerine etkisi ile alakalı çok sayıda çalışma mevcuttur (Tiwari ve Jha, 2017). Ekstrüzyon koşullarında fenolik madde miktarındaki azalma, yüksek nem içeriğinde polimerizasyon etkisinden, fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunun ve çözünürlüğünün azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Brennan ve ark., 2011). Altan ve ark. (2008), 160 °C kalıp sıcaklığında ve 160 dev/dk vida hızında arpa unu ve domates/üzüm posası karışımlarından ürettikleri ekstrüde ürünlerin toplam fenolik ve antioksidan aktivitesinin azaldığını bildirmişlerdir.

BUKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %20 BUKEMÇ'ine ait diyet lifi sonuçları Çizelge 4.8'da verilmiştir. Bonkalite unun çözünmez diyet lifi %24, çözünebilir diyet lifi %1.29 iken toplam diyet lifi %25.29 olarak belirlenmiştir. Mısır irmiğinin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifleri ise sırasıyla %3.53, %0.20 ve %3.73 olarak bulunmuştur. Mısır irmiği ile karşılaştırıldığında bonkalite un çözünmez diyet lifi ve toplam diyet lif bakımından zengin bir kaynak olduğu görülmektedir. %20 BUKEMÇ'in çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriği sırasıyla %7.61, %1.12 ve %8.73 olarak belirlenmiştir. Hammadde olarak kullanılan mısır irmiği ile karşılaştırıldığında %20 oranında bonkalite unu ilavesi ile ekstrüde çerez örneklerinin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriklerini artırdığı görülmektedir.

Çizelge 4.8. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%20 BUKEMÇ) çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Çözünmez diyet lifi (%)	Çözünebilir diyet lifi (%)	Toplam diyet lifi (%)
Bonkalite un	24.00±0.24	1.29±0.03	25.29±0.21
Mısır irmiği	3.53±0.19	0.20±0.29	3.73±0.48
%20 BUKEMÇ	7.61±0.54	1.12±0.40	8.73±0.14

Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

BUKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %20 BUKEMÇ'ine ait mineral madde sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bonkalite un ve mısır irmiğinin mineral madde içerikleri sırası ile Fe 6.11; 2.01 mg/100 g, K 654.77; 140.82 mg/100 g, Mg 111.03; 28.48 mg/100 g, P 486.97; 86.94 mg/100 g ve Se 2.77; 0.92 mg/100 g olarak bulunmuştur. Bonkalite un, mısır irmiğine göre Fe, K, Mg, P ve Se miktarları bakımından oldukça üstün özelliklere sahiptir. Hammadde ile karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine bonkalite un ilave edilmesinin ekstrüde mısır çerezlerinin Fe (3.40 mg/100 g), K (345.59 mg/100 g), Mg (59.24 mg/100 g), P (222.82 mg/100 g) ve Se (1.44 mg/100 g) miktarlarını geliştirdiği görülmektedir. Bu çalışma da en iyi üründeki mineral madde artışının hammadde (bonkalite unu) kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.9. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%20 BUKEMÇ) mineral madde sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Fe	K	Mg	P	Se
Bonkalite un	6.11±0.05	654.77±1.74	111.03±4.95	486.97±5.41	2.77±2.61
Mısır irmiği	2.01±0.01	140.82±0.20	28.48±1.67	86.94±0.72	0.92±0.61
%20 BUKEMÇ	3.40±0.03	345.59±1.57	59.24±0.13	222.82±1.53	1.44±2.47

Sonuçlar kuru madde esasına göre mg/100g olarak verilmiştir.

Makro ve mikro mineraller olmak üzere sınıflandırılan mineraller gıdalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Makromineraler Ca, P, Na, K ve Cl dür. Ca ve P'a yüksek miktarlarda ihtiyaç varken diğerlerinin az miktarları yeterli olmaktadır. Mikroelementler, Mg, Mn, Zn, Cu, Se, Co ve Cr'dur. P, fosfat formunda gıda işleme sırasında yaygın olarak kullanılırken, Fe ve Ca tipik olarak besinsel değeri artırmak için kullanılmaktadır. Metaller, özellikle Fe, Cu, Mg ve Ca enzimler için katalizör görevi görürler. Fe anemiyi engellemek için, Ca ise kemik sağlığı için önemlidir (Camire, 2000).

Ekstrüzyon teknolojisinin ekstrüde ürünlerin mineral madde içeriğinde geliştirici bir etkisinin olmadığı, mineral madde içeriğinin ve biyoyararlılığının ekstrüzyon sırasında genellikle korunduğu düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada tek vidalı ekstrüderde üretilen patates gevreklerinin kalıp sıcaklığı arttıkça Fe içeriği de artmıştır (Maga ve Sizer, 1978). Başka bir çalışmada ekstrüzyon sonucunda üretilen ürünlerde toplam Fe içeriğinde %38'lik bir artma olmuştur (Camire ve ark., 1993). Yapılan bir diğer çalışmada düşük lif içerikli mısır ununda çift vidalı ekstrüderde toplam elementel ve çözünebilir Fe içeriklerinde hiçbir değişiklik meydana gelmemiştir (Camire, 1998). Düşük nem, düşük yağ içeriğinde ve kepekçe zengin aşındırıcı gıdalar zamanla ekstrüderin vida ve kalıbını aşındırarak metalleri uzaklaştırmaktadır. Bu parçalar

zamanla değiştirilmeli veya yenilenmelidir aksi halde ekstrüde gıdalarda bir birikime neden olabilmektedirler (Tiwari ve Jha, 2017). Buğday kepeği ve kırık pirinç ununun ekstrüzyonunda (vida hızı 300 dev/dk, besleme oranı 27 kg/sa, kalıp boyutu 3.97 mm ve çıkış sıcaklığı 93-97 °C) Ca, P, Fe ve Cu içeriğinde artış meydana gelmiştir. Artışın sebebinin üretim sırasında kullanılan sudan kaynaklanabileceği düşünölmüştür (Singh ve ark., 2000).

4.1.4. Bonkalite un katkı oranının optimum şartların üzerine çıkarılmasının ekstrüde ürün özelliklerine etkileri

Box-Benken YYM ile optimize edilerek üretilen en iyi ürün (%20 BUKEMÇ) ve katkı oranı (%25, 30, 35 ve 40) artırılarak üretilen ilave 4 ürünün (toplamda en iyi 5 üründe) üretimleri gerçekleştirilmiştir. Ekstrüde mısır çerezlerinde katkı oranının artırılmasındaki amaç, bonkalite unun üstün besleyicilik özelliklerinden faydalanmaktır. Fiziksel analizler ve doğrulamalar yapılarak kimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir. Bonkalite un oranı artırılarak üretilen en iyi 5 ürünün nem %6.97-7.94, kül %0.78-1.25, yağ %0.19-0.37 ve protein miktarları %10.70-12.10 arasında hesaplanmıştır. Ortalamaların karşılaştırıldığı Çizelge 4.10'a göre ekstrüde mısır çerezlerine artan oranda bonkalite un kullanımı kül, yağ ve protein miktarlarını artırmıştır. En düşük kül, yağ ve protein miktarları %20 BUKEMÇ'te iken, en yüksek %40 BUKEMÇ'te belirlenmiştir. (Çizelge 4.10). Bonkalite un katkı oranının artmasına bağlı olarak ekstrüde mısır çerezlerinde kül, yağ ve protein miktarlarında genel olarak artma meydana gelmiştir. Yağ içeriğinde bonkalite un katkılama oranının artmasına bağlı olarak bir artış meydana gelmesine rağmen, genel olarak hammadde ile karşılaştırıldığında bir azalma olduğu görölmektedir. Bu durumun lipitlerin amilozlarla oluşturduğu komplekslerden kaynaklandığı düşünölmektedir. Birçok araştırmacı nişasta ve serbest yağ içeren karışımlarda nişasta-lipit kompleksinin oluştuğunu keşfetmişlerdir (Nebesny ve ark., 2005; De Pilli ve ark., 2008; De Pilli ve ark., 2011; De Pilli ve ark., 2012). Ekstrüzyon koşullarında lipitlerin amiloz ve proteinler ile meydana getirdiği kompleks yapı ürünlerin yapısında ve tekstüründe önemli rol oynamaktadır (De Pilli ve Alessandrino, 2020). Amiloz-lipit kompleksi nişastalı gıdalarda besleyici, reolojik, tekstürel ve yapısal özellikleri üzerinde etkilidir. Böylece nişastanın hidroliz oranı ve yapışkanlığı azalır, donma ve erime stabilitesi artar ve retragradasyonu geciktirir. Nişasta-lipit kompleksi, motor torku, kalıp sıcaklığı, basınç, nem içeriği ve özgül

mekanik enerji gibi ekstrüzyon parametrelerinden etkilenmektedir (Sokhansanj ve ark, 2013; Sandrin ve ark., 2018). Yapılan bir çalışmada en çok ekstrakte edilebilir yağ kaybının düşük nem içeriğinde ve yüksek sıcaklıkta meydana geldiği (Sokhansanj ve ark, 2013) bildirilirken, bir diğer çalışmada yulaf ve pirinç ununun ekstrüzyonu sonucu ortaya çıkan yağ kaybının da en çok vida hızından etkilendiği raporlanmıştır (Sandrin ve ark., 2018). Lipitler yüksek sıcaklık ve basınç altında amilozlar ile kompleks oluşturmakta hekzan ve petrol eteri gibi çözücülerle ekstrakte edilememektedirler. Bunun için farklı çözücüler ve enzim karışımların kullanılarak ekstrakte edildiği çalışmalarda mevcuttur (Strange ve Schaich, 2000). Ortamdaki serbest yağ asitleri miktarında azalma meydana geldiği için daha geç okside olmakta ve ürünlerde ransit tat oluşumu daha uzun sürmektedir. Buna bağlı olarak oda koşullarında 6-12 ay arasında muhafaza edilebilmektedirler.

Çizelge 4.10. BUKEMÇ'lerin kimyasal analiz sonuçları

Bonkalite un katkı oranı (%)	Nem (%)	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)
20	7.25±0.08 c	0.78±0.04 d	0.19±0.02 d	10.70±0.14 c
25	7.94±0.05 a	0.93±0.03 c	0.23±0.01 dc	11.10±0.00 c
30	7.69±0.14 b	0.96±0.03 c	0.26±0.03 bc	11.55±0.07 b
35	7.03±0.09 dc	1.12±0.04 b	0.30±0.01 b	11.70±0.14 ab
40	6.97±0.08 d	1.25±0.03 a	0.37±0.04 a	12.10±0.28 a
p	0.001	< 0.001	0.005	0.002

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

Ekstrüzyon teknolojisi yüksek sıcaklık, basınç ve mekanik etkinin etkisi ile gıdaların besleyici ve fonksiyonel özellikleri üzerinde çeşitli değişikliklere ve reaksiyonlara sebep olmaktadır. Proses sırasında jelatinizasyon, degredasyon, dekstrinizasyon, nişastanın yağlarla ve proteinler kompleks oluşturması, protein denaturasyonu, polimerizasyon, enzimlerin kısmi ve tam inaktivasyonu, Maillard, karamelizasyon reaksiyonları, vitaminlerin denaturasyonu ve antibesinsellerin inaktivasyonu gibi bir dizi basit ya da kompleks değişimler meydana gelmektedir (Riaz 2010; Steel ve ark., 2012). Bu duruma bağlı olarak bazı komponentlerin miktarında artma veya azalma meydana gelebilmektedir. Genleştirilmiş atıştırılmalık gıdalarda ekstrüzyon teknolojisinin çok geniş etkileri vardır

En iyi 5 üründe (%20, 25, 30, 35 ve 40) fitik asit miktarları sırasıyla 968.11±0.00, 1125.71±0.00, 1221.40±103.48, 1266.43±119.40 ve 1519.72±47.77

mg/100g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11). ANOVA sonuçlarına göre ekstrüde mısır çerezlerinin fitik asit miktarı değişimleri önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Ekstrüzyon teknolojisinin uyguladığı yüksek sıcaklık, basınç ve kayma gerilimi kuvveti ürünlerdeki antibesinselleri parçaladığı için fitik asit miktarında da azalma meydana gelmiştir (Nwabueze, 2007). Ekstrüzyon işlemi sırasında fitatın azalmasının, bu anti besinsel bileşenlerin termal bozunması ile miyoinositol hekzafosfatın hidrolize olması sonucu daha düşük molekül ağırlıklı formlara dönüşmesi ile ilişkilendirildiği öne sürülmüştür. (Alonso ve ark., 2001; Anton ve ark, 2009). Mercimeğe uygulanan ekstrüzyon işleme parametrelerinin (140-180 °C kalıp sıcaklığı ve vida hızı 150-250 rpm) antibesinsel bileşenler (tripsin inhibitörü, fitat ve taninler) üzerine etkisi incelendiğinde yüksek kalıp sıcaklığında ve vida hızında daha düşük antibesinsel madde içerdiği ve toplam protein miktarının değişmediği bildirilmiştir. %99'a kadar fitat, tripsin inhibitörleri ve tanin miktarında azalma meydana gelmiştir. Ekstrüzyon sırasında bu tür belirgin azalma bu moleküllerin termal bozunması ve yüksek pişirme sıcaklıklarında çözünmeyen komplekslerin oluşması ile açıklanmaktadır (Kataria ve ark., 1989).

Çizelge 4.11. BUKEMÇ'lerin fitik asit, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları

Bonkalite un katkı oranı (%)	Fitik asit (mg/100g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100g)	Antioksidan kapasite (%)	TEAC ² (mMol Trolox/g)
20	968.11±0.00 c	54.49±0.48 d	87.96±1.29 a	0.80±0.01 b
25	1125.71±0.00 bc	72.21±0.47 c	89.04±0.68 a	0.82±0.02 b
30	1221.40±103.48 b	77.20±0.00 b	89.18±0.07 a	0.83±0.03 b
35	1266.43±119.40 b	77.53±0.47 b	89.41±0.83 a	1.08±0.02 a
40	1519.72±47.77 a	84.80±0.23 a	87.19±0.16 a	1.08±0.01 a
p	0.005	< 0.001	0.160	< 0.001

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ¹Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir. ²TEAC: Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite

Yapılan bir çalışmada ekstrüzyon işlem koşullarında buğday kepeği, nişasta ve glutenden oluşan karışımın fitat içeriğinde %13-35 arasında değişen oranda azalma tespit edilmiştir (Andersson ve ark., 1981). Ekstrüzyonun düşük sıcaklıkta buğday unundaki fitat miktarını azalttığı (Fairweather-Tait ve ark., 1989), baklagillerde ise bir değişme olmadığı rapor edilmiştir (Lombardi-Boccia ve ark., 1991). Nwabueze (2007)'de *Treculia africana*, yağı alınmış soya fasulyesi ve mısırdan oluşan karışımı tek vidalı ekstrüder kullanarak, ekstrüzyon proses parametrelerinin tripsin inhibitör aktivesi ve diğer antibesinseller üzerine etkisini araştırmıştır. Ekstrüde ürünlerde tripsin inhibitör aktivesi, fitik asit ve tanin içeriğinde sırasıyla %91, 44 ve 92 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

En iyi 5 ekstrüde ürünün toplam fenolik madde miktarları 54.49-84.80 mg GAE/100 olarak belirlenmiştir. TEAC değeri ise ve 0.80-1.08 mMol Trolox/g arasında bulunmuştur. ANOVA sonuçlarına göre ekstrüde mısır çerezlerinin toplam fenolik madde miktarı ve TEAC değişimleri önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Ekstrüde çerez üretiminde kullanılan bonkalite unun miktarının artırılması çerezlerin toplam fenolik madde miktarının artmasını sağlamıştır. BUKEMÇ'lerin TEAC değerleri %25 ve 30 bonkalite un kullanım oranında %20 oranına eşdeğer bulunurken, %35 ve 40 bonkalite un kullanılan çerezlerin TEAC değerleri daha yüksek bulunmuştur. Antioksidan kapasite (DPPH radikali engelleme gücü) ise %87.19-89.41 arasında belirlenmiştir. Ortalamaların karşılaştırıldığı Çizelge 4.11'de artan oranda bonkalite un kullanımına bağlı olarak çerez örneklerinin antioksidan kapasite üzerinde etkili olmadığı ve bu 5 ürününde aynı grupta yer aldığı görülmüştür

Yapılan bir çalışmada sorgum unu, mısır unu ve elma posası içeren karışımlar CO₂ varlığında ve CO₂ olmadan ekstrüde edilmiştir. Optimum koşullarda (%30 elma posası, 25g/100g besleme nemi, 97 °C sıcaklık, 100 dev/dk vida hızı) üretilen her iki ürün karşılaştırıldığında CO₂ varlığında üretilen ekstrüde edilen ürünler kontrolle karşılaştırıldığında %12 ve %7 oranında daha fazla toplam fenolik madde ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Elma posasına ekstrüzyon süresince CO₂ enjeksiyonu 100 °C'nin altındaki ekstrüzyon sıcaklığında biyoaktif bileşenlerce, dokusal ve fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş ekstrüde ürünlerin üretilmesini sağlamıştır (Lohani ve Muthukumarappan, 2017).

En iyi 5 ekstrüde ürünün çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi miktarları Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi miktarları sırasıyla %6.99-11.05, %1.12-3.82 ve %8.73-14.68 arasında değişmiş olup formülasyonda bonkalite una yer verilmesi genel olarak çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi miktarlarını artırmıştır. Çözünmez diyet lifi miktarında azalma meydana geldiği için ekstrüzyon koşullarında çözünmez formların bir kısmının çözünebilir forma geçtiği düşünülmektedir. Bonkalite un katkılamanın ekstrüde mısır çerezlerinin fonksiyonel özellikleri değiştirmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. BUKEMÇ'lerin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi sonuçları

Bonkalite un katkı oranı (%)	Çözünmez diyet lifi (%)	Çözünebilir diyet lifi (%)	Toplam diyet lifi (%)
20	7.61±0.54 c	1.12±0.40 c	8.73±0.14 e
25	6.99±0.39 c	3.16±0.61 ab	10.15±1.00 d
30	9.28±0.08 b	3.01±0.74 b	12.29±0.82 c
35	8.87±0.03 b	3.82±0.26 a	12.69±0.29 b
40	11.05±0.25 a	3.63±0.17 ab	14.68±0.08 a
p	0.000	0.001	0.000

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

Diyet lifleri çözünürlüklerine göre suda çözünebilir ve çözünmez olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Diyet liflerinin sağlık üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Diyet lifleri kandaki karbonhidratların yıkımını ve şeker emilimini yavaşlatarak kan şekerinin kontrolü (Jenkins ve ark., 2008), kalp sağlığı (Rimm ve ark., 1996; Brown ve ark., 1999), kolon kanseri (Zeng ve ark., 2014), felç (Threapleton ve ark., 2013), hemoroit (Alonso-Coello, 2006), huzursuz bağırsak sendromu (Zuckerman, 2006), safra ve bağırsak taşları (Scragg ve ark., 1984) gibi hastalıklara yakalanma riskini azaltmaktadır. Ayrıca obez hastalarda doygunluk hissi oluşturarak kilo kontrolüne yardımcı olmakta ve daha sağlıklı ve mutlu bireyler olmasına katkı sağlamaktadır (Anderson ve ark., 2009).

Ekstrüzyon teknolojisinde uygulanan yüksek basınç, sıcaklık ve kesme kuvveti sebebiyle fizikokimyasal ve yapısal değişimler meydana gelebilmekte ve çözünmez formda olan diyet lifleri çözünür hale geçebilmektedir (Martinez-Bustos ve ark., 2011; Moscicki ve ark., 2013). Liflerin ve diğer moleküllerin arasındaki bağların kırılması ile çözünebilir küçük formların açığa çıkması bu durumu açıklamaktadır (Steel ve ark., 2012). Gajula ve ark. (2008)'de yaptıkları çalışma da buğday ununa %0, 10, 20 ve 30 oranlarında buğday kepeği ilave ederek ekstrüder ile ön pişirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Ön pişirme işlemi sonucunda çözünebilir diyet lifi içeriğinde %22'den %73'e kadar artış meydana gelirken çözünmez diyet lifi içeriğinde azalma meydana gelmiştir. %0 ve 20 kepek katkılı ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış unlar tortilla ve kurabiye üretimlerinde kullanılmıştır. Duyusal değerlendirme sonucunda ön işlem uygulanmış ve uygulanmamış unlardan üretilen ürünler kendi aralarında tüketici kabul edilebilirliğini etkilememişlerdir.

Farklı oranlarda bonkalite un içeren çerezler 90 gün depolanmış ve depolama süresince 0., 30. ve 90. günlerde duyusal analize tabi tutulmuştur. Ürünler renk, tat, koku, kırılgenlik, sertlik, gevreklik, gözeneklilik ve genel beğeni açısından değerlendirilmiş sonuçlar Çizelge 4.13-4.15 ve Şekil 4.14-4.16'da verilmiştir.

Otuz günlük depolama süresince %25 BUKEMÇ'lerin renk ve tat puanları en yüksek iken, doksanıncı günün sonunda %20 ve 30 BUKEMÇ'leri renk ve %20, 25 ve 30 BUKEMÇ'leri tat skoru yönünden en yüksek olarak değerlendirilmiştir. BUKEMÇ'lerin koku puanları depolama boyunca birbirine yakın çıkarak önemli ve belirgin bir fark saptanmamıştır (Çizelge 4.13-4.15)

Kırılgenlik değeri üretim sonrasında (0. gün) en yüksek %40 BUKEMÇ'inde, otuz günlük depolama sonucunda %20 ve 35 BUKEMÇ'lerinde ve doksan günlük depolama sonunda ise %20 BUKEMÇ'inde belirlenmiştir.

Sertlik skoru sonuçları değerlendirildiğinde üretim sonrasında ve doksan günlük depolama sonucunda %20 ve 40 BUKEMÇ'lerinde, diğer ürünlere göre en yüksek sertlik elde edilirken, otuz günlük depolama sonunda en yüksek sertlik %20 BUKEMÇ'inde elde edilmiştir.

Gevreklik puanları değerlendirildiğinde ise üretim sonrasında ve doksan günlük depolama sonucunda en yüksek gevreklik %20 ve 40 BUKEMÇ'lerinden elde edilmiştir. Otuz günlük depolama sonucunda %20 ve 35 BUKEMÇ'lerinin sertlik değerleri diğer çerez gıdalara göre en yüksek olarak ölçülmüştür.

Otuz günlük depolama boyunca %25 ve 30 BUKEMÇ'lerinin gözeneklilik skorları en yüksek iken, doksanıncı günün sonunda %20, 25, 30 ve 35 BUKEMÇ'ler en yüksek gözeneklilik puanları almıştır.

Sonuçlar depolamaya bağlı olarak genel beğeni değeri açısından değerlendirildiğinde; üretim sonrasında %30 BUKEMÇ en çok beğenilen ekstrüde mısır çerezi olurken, 30 günlük depolama sonucunda %25 ve 30 BUKEMÇ, 90. günün sonunda ise %20, 25 ve 30 BUKEMÇ'ler en çok tercih edilen çerez gıdalar olmuştur. ANOVA sonuçlarına göre bonkalite un ilave oranının artırılması ekstrüde mısır çerezlerinin renk, tat, kırılgenlik, sertlik, gevreklik, gözeneklilik ve genel beğeni puanları üzerindeki etkisinin önemli ($p<0.01$) olduğu, koku (aroma) üzerine etkisinin önemli olmadığı ($p>0.01$) görülmüştür (Çizelge 4.13-4.15, Şekil 4.14-4.16).

Ekstrüde mısır çerezlerine bonkalite un ilave edilmesi tüketicilerin beğenisini kazanmıştır. Polietilen poşetlerde ve oda koşullarında (24 °C) depolanması süresince üretim sonrası özelliklerini önemli düzeyde koruduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda depolama stabilitesini etkileyen enzimler ekstrüzyon koşullarında inaktive olabileceği gibi tamamen etkisiz hale gelebileceği bildirilmiştir (Mustakas ve ark., 1964; Harper, 1981; Choudhury ve Gogoi, 1996; Riaz, 2001). Ayrıca ortamdaki serbest yağ asitleri miktarında ekstrüzyon koşullarında azalma meydana geldiği, ekstrüde

ürünlerin daha geç okside olarak ve ransit tat oluşumunu geciktirdiği raporlanmıştır (Singh ve ark., 2007).

Yadav ve ark. (2018), düşük yağ ve yüksek protein içerikli lifçe zenginleştirilmiş ekstrüde çerez gıdaların depolama boyunca fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerini incelemişlerdir. Ekstrüde ürünler polietilen/polipropilen poşetlerde nitrojen ve nitrojen içermeyen (kontrol) modifiye atmosfer paketler (MAP) içerisinde 37 ± 1 °C'de ve % 80 bağıl nemde 22 hafta süreyle saklanmıştır. MAP'ın, depolama sırasında ekstrüde atıştırmalıkların nem içeriği, su aktivitesi, TBA değeri, L* değeri ve gevrekliği üzerinde etkisinin önemli ($p < 0.05$) olduğunu, kontrole (5.58 ve 6.04) kıyasla daha iyi aroma (6.51) ve genel beğeni skorlarına (6.85) sahip olduğu ve kontrol ürünlerin 16 haftadan sonra duyusal özelliklerinin yetersiz bulunduğu bildirilmiştir.

Shaviklo ve ark. (2015), karides katkılı mısır çerezinin optimizasyonu ve raf ömrü üzerine çalışmışlardır. 27 °C'de 6 ay depolama süresince nem içeriğinin sabit kaldığı buna bağlı olarak kontrol ürünlerin ve karides katkılı mısır çerezlerinin iç ve dış renginin, dokusunun (gevreklik ve yumuşaklık), acılık, tatlılık ve tuzluluk gibi özelliklerinin stabil oldukları bildirilmiştir.

Çizelge 4.13. BUKEMÇ'lerin üretim sonrası (0. gün) duyuşal değerlendirme sonucu

Bonkalite un katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılğanlık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
20	3.83±0.03 c	3.25±0.00e	4.63±0.38a	4.00±0.00b	4.30±0.10a	5.24±0.09a	4.47±0.05c	4.54±0.19d
25	4.35±0.15 ab	4.82±0.02a	4.82±0.02a	4.09±0.09b	3.69±0.02b	5.00±0.00b	5.29±0.16ab	5.13±0.18b
30	4.45±0.12 a	4.54±0.04b	4.54±0.04a	3.50±0.00c	3.09±0.09c	4.35±0.06d	5.59±0.12a	5.55±0.07a
35	4.07±0.07 bc	4.30±0.10c	4.30±0.1a	3.93±0.07b	3.71±0.00b	4.54±0.04c	5.19±0.02b	4.86±0.00bc
40	4.00±0.00 c	4.00±0.00d	4.00±0.00a	4.60±0.00a	4.27±0.07a	5.19±0.02ab	4.72±0.16c	4.59±0.02cd
p	0.023	< 0.001	0.114	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

²Kırılğanlık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek

Çizelge 4.14. BUKEMÇ'lerin 30. gün duyuşal değerlendirme sonucu

Bonkalite un katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılğanlık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
20	3.45±0.04 b	2.79±0.00 c	4.90±0.53 a	4.19±0.00 a	3.82±0.14 a	4.74±0.13 a	5.09±0.05 b	4.19±0.19 b
25	5.00±0.21 a	5.21±0.02 a	4.82±0.02 a	3.02±0.12 c	3.15±0.03 b	4.27±0.00 bc	5.84±0.16 a	5.34±0.18 a
30	5.00±0.17 a	5.30±0.05 a	5.29±0.05 a	3.43±0.00 bc	3.21±0.12 ab	4.09±0.08 c	5.09±0.12 b	5.47±0.07 a
35	2.92±0.09 c	3.75±0.14 b	4.35±0.14 a	3.92±0.09 a	3.67±0.00 ab	4.90±0.05 a	3.43±0.02 c	3.75±0.00 b
40	3.25±0.00 b	3.67±0.00 b	3.59±0.00 a	3.74±0.00 ab	3.17±0.09 ab	4.37±0.02 b	3.50±0.16 c	3.70±0.02 b
p	0.023	< 0.001	0.114	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.002

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

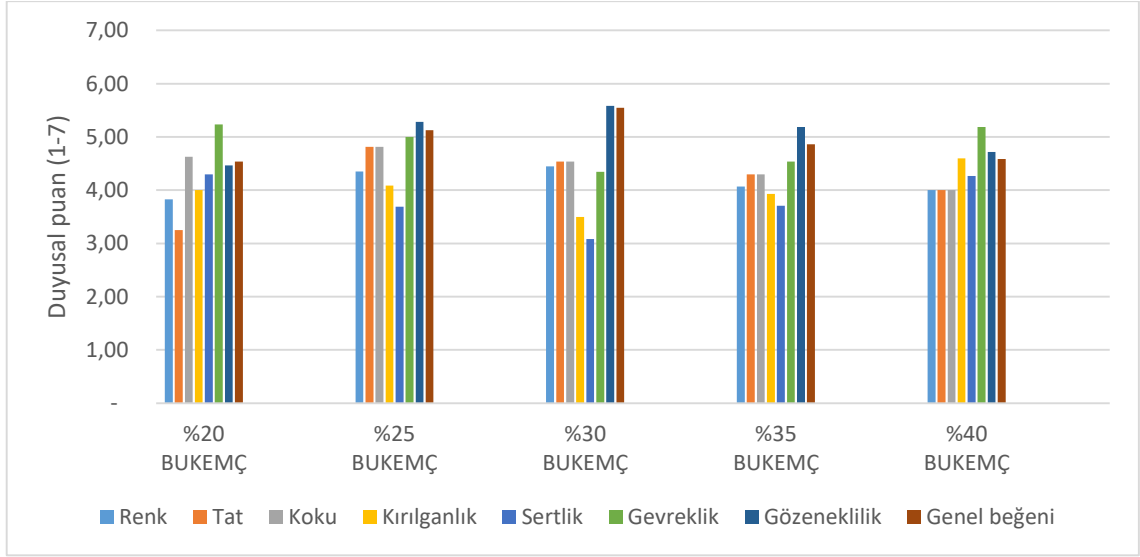
²Kırılğanlık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek

Çizelge 4.15. BUKEMÇ'lerin 90. gün duyuşal değerlendirme sonucu

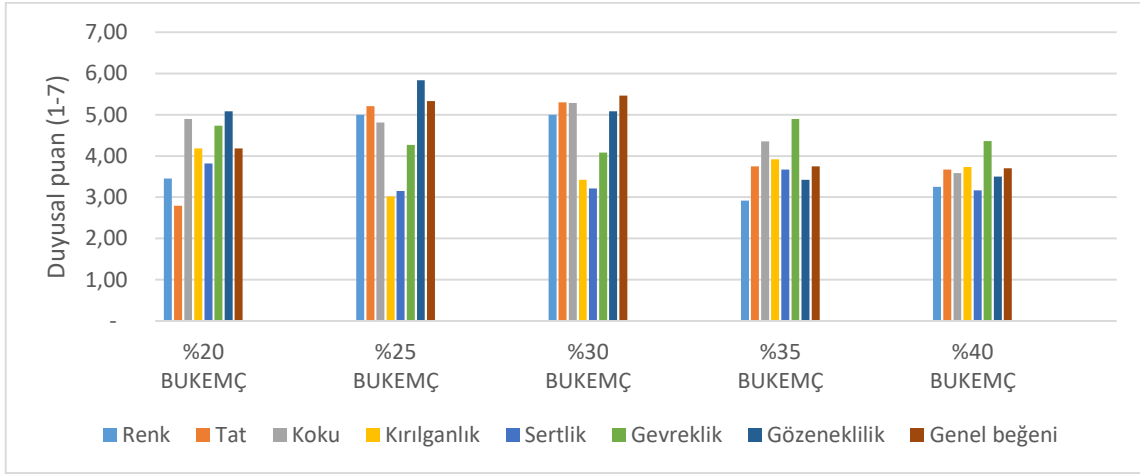
Bonkalite un katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılğanlık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
20	5.21±0.06 a	4.75±0.35 a	4.84±0.23 a	4.67±0.23 a	4.25±0.35 a	4.92±0.12 a	5.23±0.08 a	5.31±0.03 a
25	4.54±0.19 b	4.94±0.33 a	4.59±0.12 a	4.09±0.12 b	3.72±0.16 ab	3.90±0.14 c	5.25±0.06 a	5.43±0.00 a
30	5.27±0.09 a	4.59±0.12 ab	4.75±0.11 a	3.63±0.33 bc	3.24±0.13 b	4.00±0.24 c	4.84±0.23 a	5.23±0.08 a
35	3.90±0.14 c	3.92±0.12 b	4.29±0.00 a	3.31±0.03 c	3.68±0.25 ab	4.25±0.35 bc	4.84±0.23 a	3.38±0.53 c
40	2.46±0.29 d	3.20±0.28 c	4.45±0.17 a	4.00±0.00 b	3.83±0.04 a	4.72±0.21 ab	3.93±0.10 b	4.20±0.00 b
p	< 0.001	0.005	0.068	0.006	0.044	0.024	0.002	0.001

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

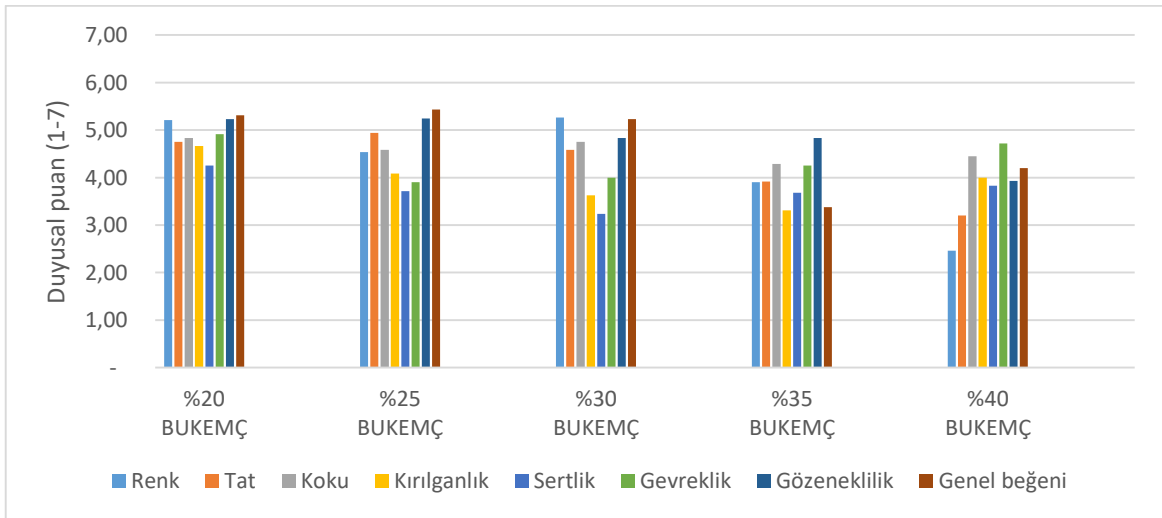
²Kırılğanlık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek



Şekil 4.14. Üretim sonrası (0. gün) BUKEMÇ'lerin duyu değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.15. 30. gün BUKEMÇ'lerin duyu değerlendirmesi sonuçları



Şekil 4.16. 90. gün BUKEMÇ'lerin duyu değerlendirmesi sonuçları

4.2. Ruşeym Katkılı Ekstrüde Mısır Çerezi Çalışması

4.2.1. Ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi üretiminin optimizasyonu

Ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi (RKEMÇ) üretiminde Merkezi Kompozit Tasarımı-Yanıt Yüzey Metodu (MKT-YYM) yöntemi kullanılarak deneme deseni oluşturulmuştur. Deneme deseninde her bir çalışma deseni için birer kilogramlık karışımlar hazırlanmıştır. Kalıp sıcaklığı (110, 120, 130, 140 ve 150 °C), nem içeriği (%12, 14, 16, 18 ve 20), ruşeym oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40) ve mısır nişastası oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Vida hızı (400 dev/dk), besleme hızı (2.5 kg/sa) ve ekstrüder zone sıcaklıkları (50, 60, 70, 90 ve 100 °C) ön denemeler sonucunda belirlenmiş olup sabit tutulmuştur ve üretimler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.16). Sertlik (N), kırılmalık (N x s), gevreklik (pik sayısı), genişleme oranı, görünür yoğunluk (g/cm³) ve gözeneklilik değerleri yanıt (responses) olarak kabul edilmiştir.

MKT- YYM deneme deseninde elde edilen verilere göre en düşük sertlik, en yüksek gevreklik, kırılmalık ise sertlik ve gevreklik ile uyumlu, en yüksek genişleme oranı, en düşük görünür yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik hedeflenerek Design-Expert® programında modellenmiştir (Çizelge 4.16). RKEMÇ üretiminde tekstür özelliklerini belirlemede kullanılan sertlik, gevreklik ve kırılmalık için ikinci dereceden modelin önemli olduğu (p<0.01) saptanmıştır. Sertlik, kırılmalık ve gevreklik değerleri için geliştirilen tüm modeller uyumsuzluk testini geçmiş (p>0.05); belirleme katsayıları (R²: 0.93, 0.88 ve 0.87), uyarlanan belirleme katsayıları (R²: 0.91, 0.85 ve 0.82) ve tahminlenen belirleme katsayıları (R²: 0.83, 0.79 ve 0.73) olarak bulunmuştur. Modellere ait denklemler Çizelge 4.17’de verilmiştir. Ekstrüde ürünlerin sertlik, kırılmalık ve gevreklik özelliklerinin farklı ekstrüzyon koşullarındaki değişimi Şekil 4.17-4.22’de verilmiştir.

RKEMÇ’lerin sertliği 97.60±12.72 N ile 367.62±17.91 N arasında değişmektedir (Çizelge 4.16). RKEMÇ’lerin sertliği üzerinde nem içeriği ve ruşeym oranının hem doğrusal hem de ikinci dereceden etkisi önemli (p<0.05) iken, mısır nişastasının oranının sadece doğrusal etkisinin önemli (p<0.05) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kalıp sıcaklığı sertlik üzerinde önemli (p>0.05) bulunmamıştır (Çizelge 4.17). RKEMÇ’lerin kırılmalık değerleri 528.94-2405.93 (Nxs) aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.16). RKEMÇ’lerin kırılmalık özelliğine kalıp sıcaklığı, nem

içeriği, ruşeym oranı ve mısır nişastası oranının doğrusal etkileşimi önemli ($p<0.05$) iken, nem içeriğinin ikinci dereceden etkisi de önemli ($p<0.05$) çıkmıştır (Çizelge 4.17). RKEMÇ'lerin gevreklik değerleri 27-138.33 (pik sayısı) arasında değişmektedir. Ürün gevreklik özelliklerine nem içeriği ve ruşeym oranının hem ikinci hem de doğrusal etkisinin, kalıp sıcaklığı ve mısır nişastası oranının doğrusal etkilerinin önemli ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

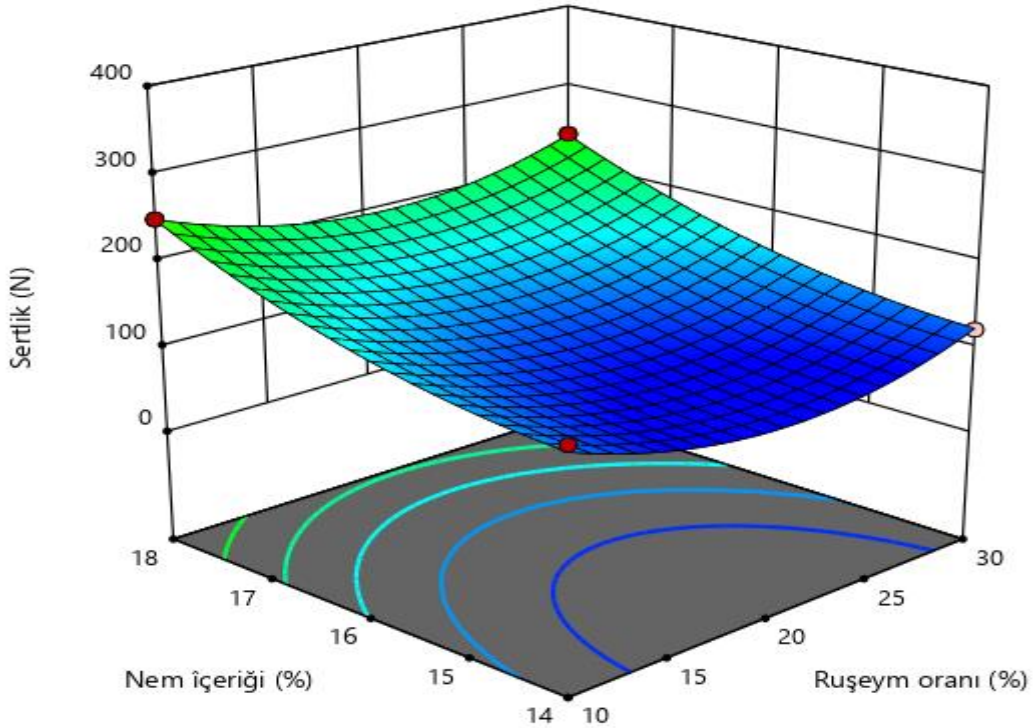
Çizelge 4.16. RKEMÇ üretiminin MKT-YYM yöntemiyle optimizasyonu

Çalışma No	Bağımsız Değişkenler				Yanıtlar					
	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Mısır nişastası oranı (%)	Sertlik (N)	Kırılgenlik (N x s)	Gevreklik (pik sayısı)	Genleşme oranı	Görünür yoğunluk (g/cm ³)	Gözenekli lik
1	450	20	20	20	319.57	2405.93	76.00	1.91	0.68	0.54
2	500	14	30	30	97.60	720.33	58.00	3.52	0.15	0.90
3	450	16	0	20	267.83	2014.92	52.67	3.13	0.30	0.79
4	500	18	30	30	239.53	2102.18	70.83	2.03	0.55	0.62
5	500	18	10	10	269.59	2384.39	72.50	2.06	0.60	0.59
6	400	14	30	30	121.67	1219.72	81.33	3.41	0.30	0.80
7	500	18	10	30	238.81	2169.60	82.67	2.65	0.38	0.74
8	500	14	30	10	123.56	533.36	27.00	2.84	0.22	0.85
9	450	16	20	20	130.17	1419.67	97.67	2.68	0.27	0.81
10	400	18	30	30	217.93	2216.15	105.40	2.35	0.41	0.72
11	500	18	30	10	328.34	1548.93	36.13	1.78	0.71	0.51
12	500	14	10	30	153.77	1121.02	54.20	3.48	0.16	0.89
13	400	14	10	10	128.98	748.11	46.00	3.33	0.15	0.90
14	400	18	30	10	291.55	1476.88	39.88	1.74	0.77	0.47
15	450	16	40	20	367.62	1426.62	27.00	1.85	0.64	0.56
16	450	12	20	20	128.25	528.94	43.00	3.32	0.15	0.89
17	400	14	30	10	145.07	672.60	38.00	2.25	0.39	0.73
18	550	16	20	20	112.05	1105.13	75.00	3.03	0.22	0.85
19	400	18	10	10	220.75	2224.29	75.00	2.27	0.42	0.71
20	400	18	10	30	249.92	2202.23	87.33	2.80	0.31	0.79
21	500	14	10	10	140.01	1351.25	88.83	3.41	0.17	0.88
22	450	16	20	0	133.51	1439.34	85.50	2.31	0.40	0.73
23	450	16	20	20	134.89	1523.62	118.25	3.13	0.30	0.80
24	350	16	20	20	154.74	1551.16	111.50	3.24	0.20	0.86
25	450	16	20	40	105.77	1343.81	138.33	3.51	0.15	0.90
26	450	16	20	20	127.63	1129.24	69.33	3.03	0.22	0.85
27	450	16	20	20	134.22	1336.13	86.63	2.91	0.24	0.84
28	400	14	10	30	141.66	1139.01	86.67	3.30	0.18	0.88
29	450	16	20	20	115.86	1807.25	99.50	2.82	0.27	0.81
30	450	16	20	20	133.85	1656.32	102.00	2.81	0.28	0.81

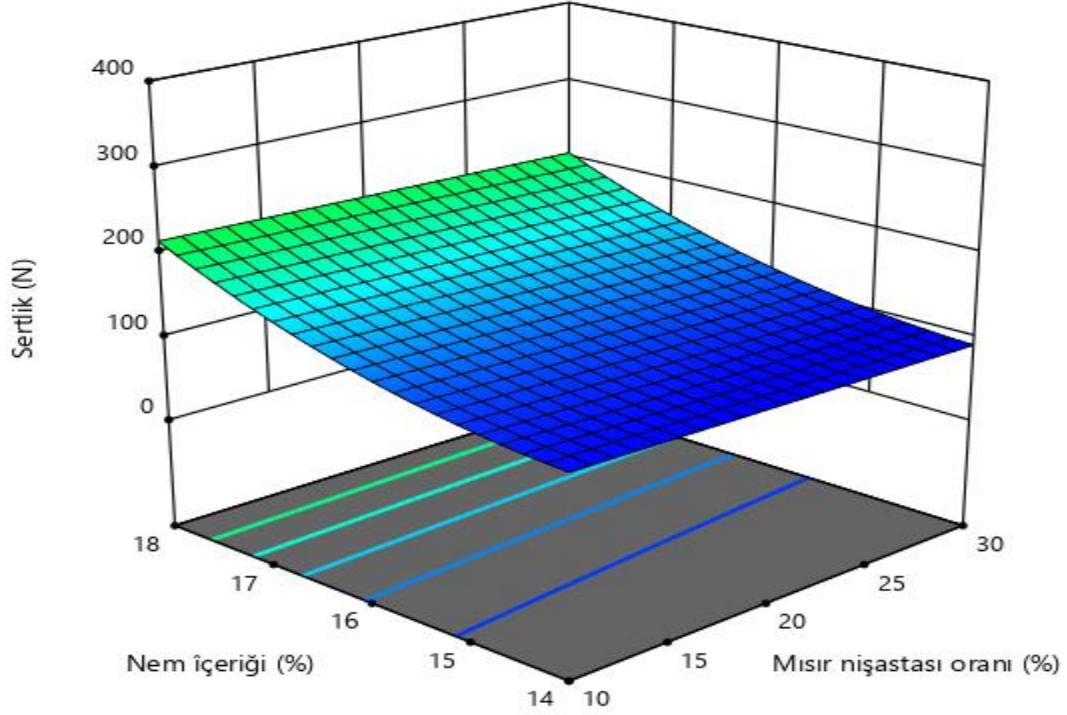
Çizelge 4.17. RKEMÇ'in tekstür özellikleri etkileyen bağımsız değişkenlerinin modellenmesi

Kaynak	Sertlik			Kırılganlık			Gevreklik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri
Model	6	49.860	<0.0001	6	27.240	< 0.0001	8	17.150	< 0.0001
<i>Kuadratik</i>	4	36.710	<0.0001	4	3.460	0.034	4	17.260	< 0.0001
A - Kalıp sıcaklığı (°C)	-	-	-	1	5.710	0.025	1	9.830	0.005
B - Nem içeriği (%)	1	150.230	< 0.0001	1	125.560	< 0.0001	1	7.050	0.015
C - Ruşeym oranı (%)	1	3.830	0.063	1	12.090	0.002	1	10.280	0.004
D - Mısır nişastası oranı (%)	1	4.590	0.043	1	4.330	0.049	1	27.730	< 0.0001
A x B	-	-	-	1	6.010	0.022	1	7.750	0.011
C x D	1	6.560	0.017	-	-	-	1	9.300	0.006
B x B	1	28.840	< 0.0001	1	9.740	0.005	1	23.030	< 0.0001
C x C	1	116.350	< 0.0001	-	-	-	1	48.850	< 0.0001
Hata	23			23			21		
Model uygunsuzluğu	18	2.640	0.143	18	1.220	0.447	16	0.837	0.645
Saf hata	5			5			5		
Toplam	29			29			29		
	R ² =0.93	Uyarlanan R ² =0.91	Tahminlenen R ² =0.83	R ² =0.88	Uyarlanan R ² =0.85	Tahminlenen R ² =0.79	R ² =0.87	Uyarlanan R ² =0.82	Tahminlenen R ² =0.73
Sertlik = 126.52 + 57.78 x B + 9.22 x C - 10.10 x D -14.79 x (C x D) + 23.25 x (B ²) + 46.71 x (C ²)									
Kırılganlık = 0.03 - 0.001 x A - 0.006 x B + 0.002 x C - 0.001 x D - 0.002 x (A x B) + 0.002 x (B ²)									
Gevreklik = 95.57 + 7.66 x A + 6.49 x B - 7.83 x C + 12.87 x D - 8.33 x (A x B) + 9.13 x (C x D) - 10.77 x (B ²) - 15.69 x (C ²)									

Kalıp sıcaklığının RKEMÇ'lerin sertlik değeri üzerinde etkisi önemli bulunmazken ($p>0.05$), kırılgenlik ve gevreklik üzerine etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.17). Kalıp sıcaklığı artıkça RKEMÇ'lerin kırılgenlik ve gevreklik özellikleri artmıştır (Şekil 4.19 ve Şekil 4.22). Doğan ve Karwe (2003), kalıp sıcaklığının azalması ile kinoaalı ekstrüde ürünlerinin sertliğinin arttığını bildirmişlerdir. Mendonca ve ark. (2000), mısır kepeği içeren mısır ekstrüde çerezlerinin sıcaklık artıkça, sertliğin azaldığını bildirmişlerdir. Kalıp sıcaklığının artması ile eriyik viskozitesi ve yığın yoğunluğu azalmakta, küçük hücreler oluşmakta ve gevreklik artmaktadır (Rayas-Duarte ve ark., 1998; Ding ve ark., 2005; Agbisit ve ark., 2007). Domates posası katkılı arpa çerezlerinde sıcaklığın artması ile ekstrüde ürünlerin gevrekliği artmıştır (Altan ve ark., 2008a). Geetha ve ark. (2014), kodo darısı ve nohut unundan ürettikleri ekstrüde ürünlerde sıcaklığın ve vida hızının artmasının ekstrüde ürünlerde maksimum gevreklik sağladığını bildirmişlerdir. Bu durumun sıcaklığın artmasına bağılı olarak hücre duvarlarını inceltmesi ve hücre yarıçaplarının genişmesi sonucu olabileceğini raporlamışlardır. Gevreklik, ekstrüde ürünlerin hüresel özellikleri, yığın yoğunluğu ve sertliği ile ilişkili olduğu için sıcaklıktan da etkilenmektedir (Duizer ve Winger, 2006).

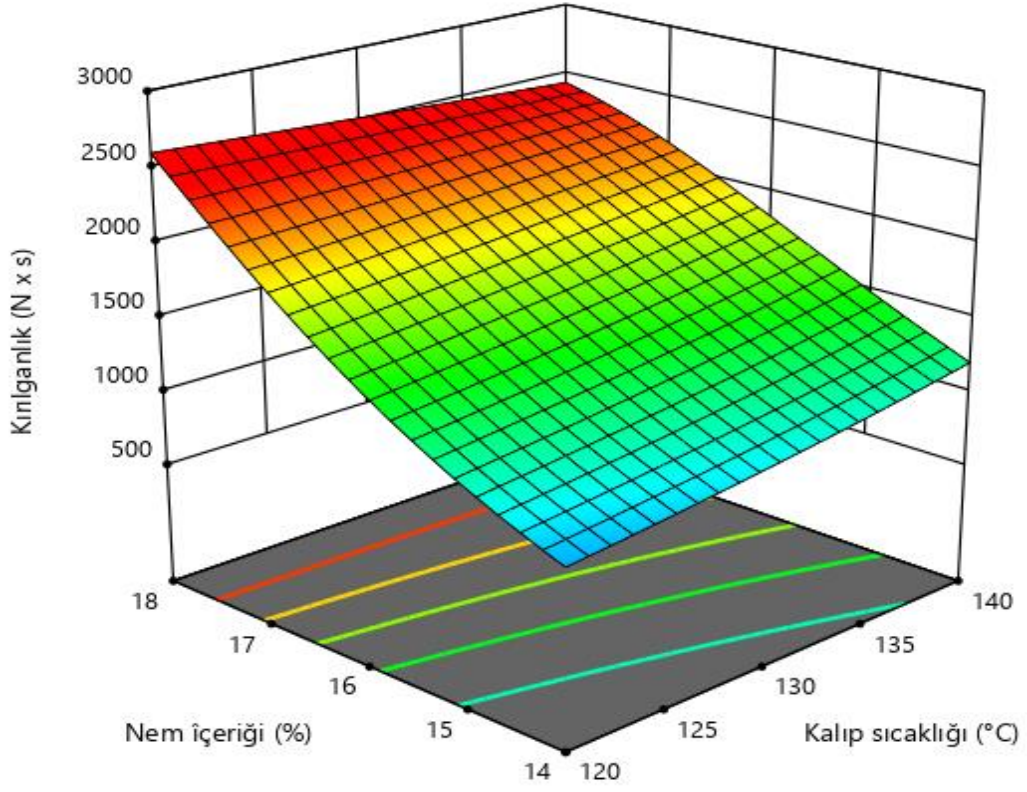


Şekil 4.17. Nem içeriği ve rusaym oranı 140 °C kalıp sıcaklığı ve %30 mısır nişastası oranının sertliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

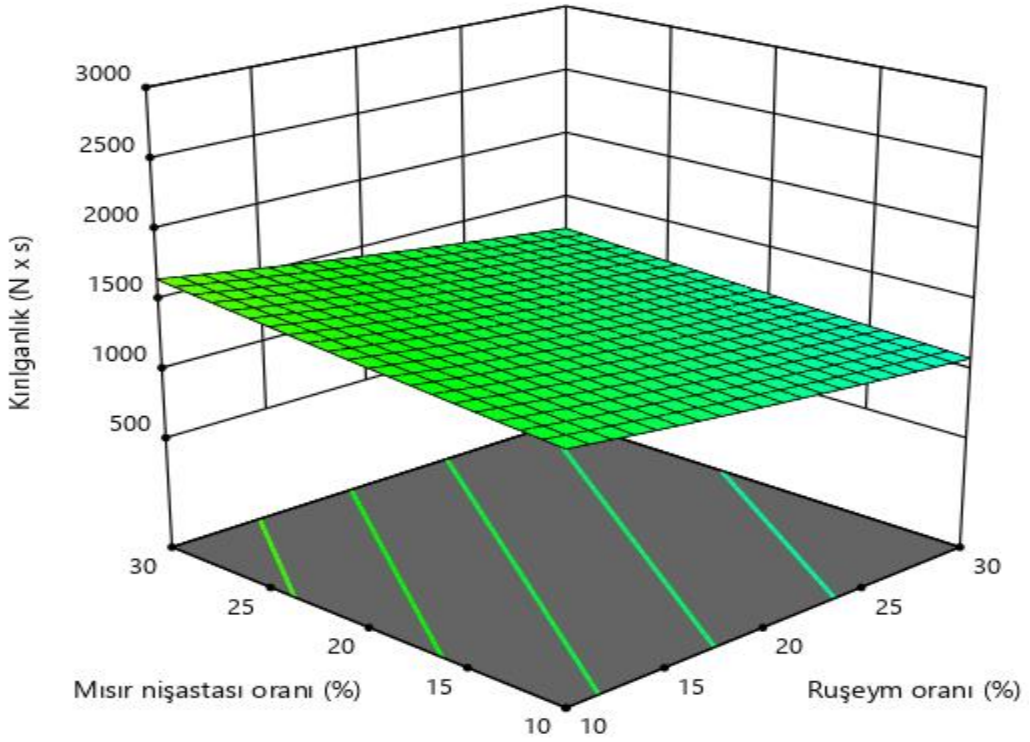


Şekil 4.18. Nem oranının ve mısır nişastasının 140 °C kalıp sıcaklığı ve %16 ruşeym oranında sertliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Nem içeriğinin RKEMÇ'lerin sertlik, kırılmalık ve gevreklik özelliklerine etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Nem içeriğinin artmasıyla sertlik ve kırılmalık artmış, gevreklik ise azalmıştır (Şekil 4.17-4.20 ve Şekil 4.22). Suyun nişasta üzerindeki plastikleştirici etkisi sayesinde nişastanın viskozitesi ve mekanik enerjisi azalmakta, yapıda meydana gelen kabarcıklar büyümemekte ve bu durum ekstrüde ürünlerin yoğunluğunun artmasına, daha sert, sıkı ve gevrek olmayan tectüre sahip ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır (Ding ve ark., 2005). Lazou ve Krokida (2010), farklı ekstrüzyon koşullarının (nem içeriği %13-19, besleme oranı 2.52-6.84 kg/sa ve sıcaklık 170-230 °C) mısır çerezi (kontrol) ve mercimekle zengileştirilmiş mısır çerezlerinin yapısal ve tectürel özelliklerine etkisini incelemiştir. Düşük nem içeriğinde ve ortalama bir sıcaklıkta üretilen ekstrüde çerezlerin daha gevrek ve yumuşak bir tectüre sahip olduğunu, nem içeriği artkça sertliğin arttığını raporlamışlardır. Stojceska ve ark., (2009) bira posası ve kırmızı lahana katkılı ekstrüde çerezlerin nem oranını %12'den %17'ye çıkardığında sertliğinin arttığını bildirmişlerdir.



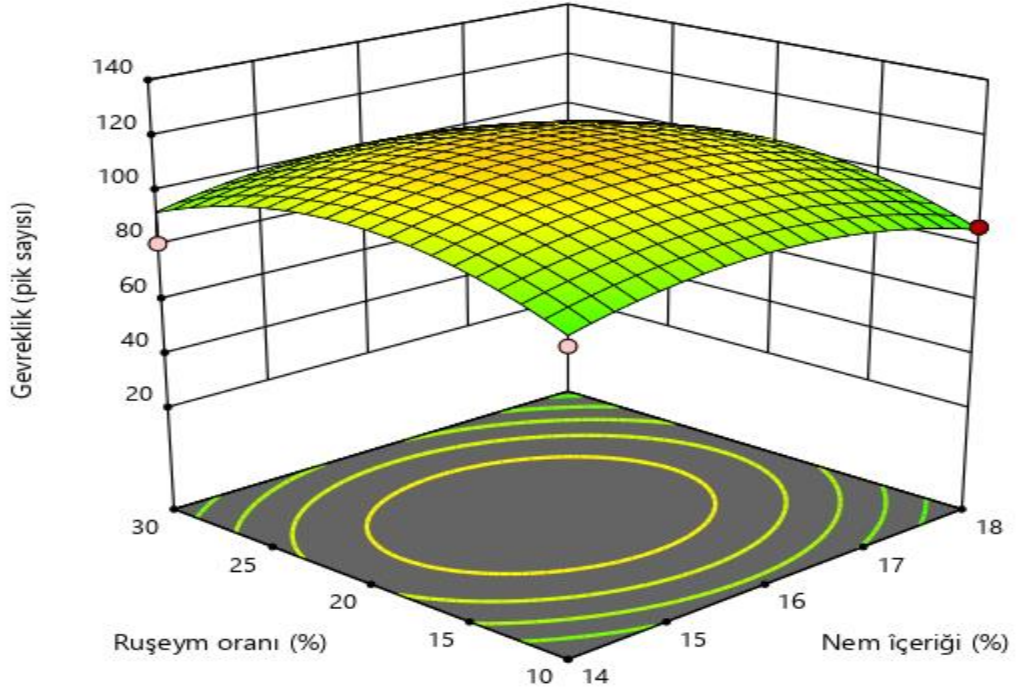
Şekil 4.19. Nem oranı ve kalıp sıcaklığının %16 ruşeym oranında ve %30 mısır nişastası oranının kırlanlık üzerine etkisinin Yanıt Yüzey grafiği



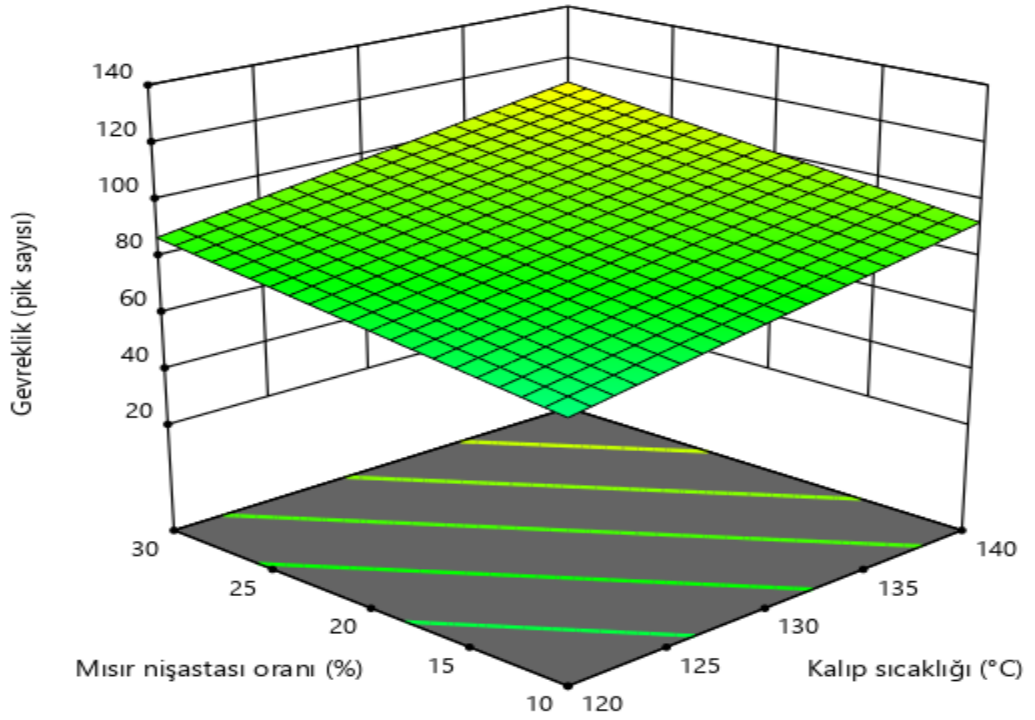
Şekil 4.20. Mısır nişastası ve ruşeym oranının 140 °C kalıp sıcaklığının ve %14.98 nem içeriğinde kırlanlık üzerine etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Ruşeym oranının RKEMÇ'lerin kırılabilirlik ve gevreklik özelliklerinde etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunurken, sertlik üzerine etkisi önemli ($p > 0.05$) çıkmamıştır. Ruşeym oranının artması RKEMÇ'lerin kırılabilirliğini ve gevrekliğini azaltmıştır. (Şekil 4.20-4.22). Moore ve ark. (1990), kepeğin hava kabarcıklarının genişmesini engelleyerek hücre duvarlarının uzayabilirliğini azalttığı, kritik bir kalınlıkta hücre duvarlarının dayanıksız bir hale gelmesine ve hücrelerin erken parçalanmasına neden olarak büyük hücrelerin oluşmasını engellediğini raporlamışlardır. Zhang ve ark. (2019), lif ve protein bakımından zengin yan ürünlerin ekstrüde çerezlerde kullanımının karışımdaki nişasta oranını seyrelttiği, hücre duvarını incelttiği ve hava hücrelerinin erken yırtılmasına sebep olduğu için yoğunluğu artırdığı ve daha sıkı ve sert ürünlerin oluşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Ekstrüde ürünlerin kalite özelliklerinde, karışımın kompozisyonu, ekstrüzyon koşulları, nişasta granüllerinin karakteristiği, protein, lif ve şeker gibi diğer bileşenlerin varlığından önemli derece de etkilenmektedir (Chanvrier ve ark., 2007). Ayrıca karışımın partikül büyüklüğü de yapı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Hammaddeye uygulanan boyut küçültme ile daha gevrek ve daha yumuşak ekstrüde ürünlerin üretilmesi sağlanabilmektedir (Zhang, 2019).

Mısır nişastasının RKEMÇ'lerin sertlik, kırılabilirlik ve gevreklik özelliklerinde etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Mısır nişastası kullanımı arttıkça sertlik azalmış, kırılabilirlik ve gevreklik artmıştır (Şekil 4.18, Şekil 4.20 ve Şekil 4.22). Nişastanın ekstrüzyon sırasında uğradığı değişiklikler (jelatinizasyon, dekstrinizasyon ve degradasyon) ekstrüde ürünün tekstürel özelliklerinde (sertlik, kırılabilirlik, gevreklik, genişleme oranı vb) önemli rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2000). Yüksek yoğunluğa sahip ekstrüde ürünler kalın hücre duvarına ve düşük gözenekliliğe sahiptir ve bu durum ürünlerin sertliğini de etkilemektedir. Bu yüzden sertlik ve yığın yoğunluğu arasında pozitif korelasyon vardır (Barret ve ark. 1994; Sacchetti ve ark. 2005; Altan ve ark. 2008a; Altan ve ark. 2008b).



Şekil 4.21. Ruşeym ve nem oranının 140 °C kalıp sıcaklığı ve %30 mısır nişastası oranında gevreklığe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği



Şekil 4.22. Mısır nişastası oranı ve kalıp sıcaklığı ve %14.98 nem içeriği ve %16 ruşeym oranında gevreklığe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

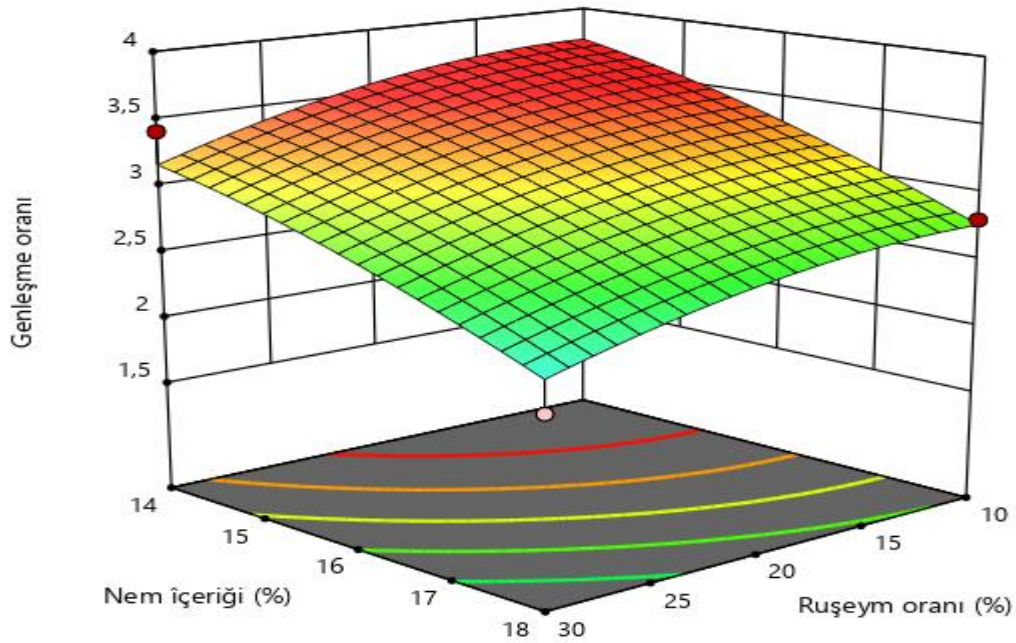
RKEMÇ üretiminde fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik için en uygun ikinci derece modelin önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerleri için geliştirilen tüm modeller ise uyumlu çıkmıştır ($p>0.05$). Belirleme katsayıları (R^2 : 0.89, 0.98 ve 0.98), uyarlanan belirleme katsayıları (R^2 : 0.86, 0.97 ve 0.97) ve tahminlenen belirleme katsayıları (R^2 : 0.80, 0.94 ve 0.94) yüksek olarak bulunmuştur (Çizelge 4.18)

RKEMÇ'lerin genleşme oranları 1.74-3.52 arasında değişmiştir. Ürün genleşme özelliklerine nem içeriği ve ruşeym oranının hem ikinci dereceden hem de doğrusal etkisi önemli iken, mısır nişastası oranının doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Kalıp sıcaklığının etkisi önemli ($p>0.05$) bulunmamıştır (Çizelge 4.18). RKEMÇ'lerin görünür yoğunlukları 0.15 ± 0.00 ile 0.77 ± 0.00 g/cm³ aralığında değişmektedir. ANOVA sonuçlarına göre nem içeriği ve ruşeym oranının doğrusal ve ikinci dereceden etkisi önemli bulunurken ($p<0.05$), kalıp sıcaklığı ve mısır nişastası oranının doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.18). RKEMÇ'lerin gözeneklilik değerleri 0.53-0.90 aralığında değişmektedir. ANOVA sonuçlarına göre nem içeriği ve ruşeym oranı ikinci dereceden ve doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) iken, mısır nişastası oranının gözeneklilik üzerine doğrusal etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.18).

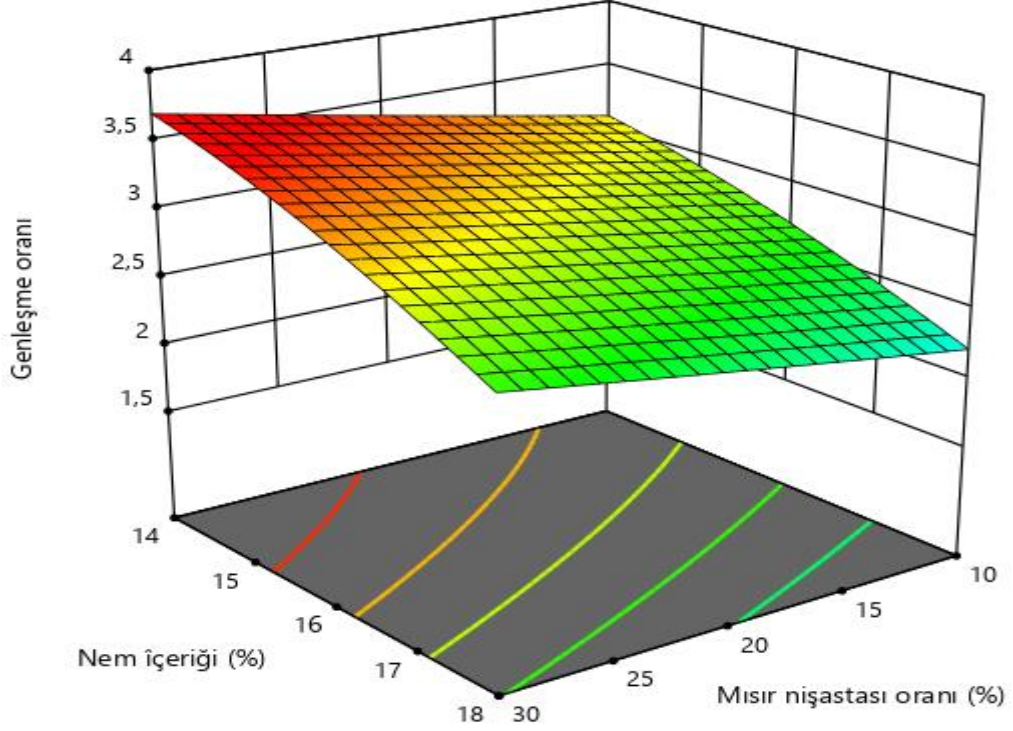
Çizelge 4.18. RKEMÇ’in genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Kaynak	Genişleme Oranı			Görünür yoğunluk			Gözeneklilik		
	SD	F-değeri	p-değeri	SD	F-değeri	p-değeri	D	F-değeri	p-değeri
Model	5	37.110	< 0.0001	11	85.410	< 0.0001	11	86.970	< 0.0001
<i>Kuadratik</i>	4	3.640	0.029	4	33.840	< 0.0001	4	34.730	< 0.0001
A - Kalıp sıcaklığı (°C)	-	-	-	1	9.430	0.007	1	9.360	0.007
B - Nem içeriği (%)	1	102.300	< 0.0001	1	494.220	< 0.0001	1	493.210	< 0.0001
C - Ruşeym oranı (%)	1	34.010	< 0.0001	1	131.080	< 0.0001	1	139.310	< 0.0001
D - Mısır nişastası oranı (%)	1	34.860	< 0.0001	1	91.900	< 0.0001	1	94.620	< 0.0001
A x B	-	-	-	1	9.080	0.008	1	9.520	0.006
A x C	-	-	-	1	33.830	< 0.0001	1	34.120	< 0.0001
B x C	-	-	-	1	6.720	0.018	1	7.430	0.014
B x D	-	-	-	1	30.820	< 0.0001	1	31.970	< 0.0001
C x D	-	-	-	1	7.810	0.012	1	8.620	0.009
B x B	1	5.860	0.023	1	49.270	< 0.0001	1	51.000	< 0.0001
C x C	1	10.070	0.004	1	88.490	< 0.0001	1	91.020	< 0.0001
Hata	24			18			18		
Model uygunsuzluğu	19	1.430	0.368	13	0.937	0.578	13	0.964	0.564
Saf hata	5			5			5		
Toplam	29			29			29		
	R ² =0.89	Uyarlanan R ² =0.86	Tahminlenen R ² =0.80	R ² =0.98	Uyarlanan R ² =0.97	Tahminlenen R ² =0.94	R ² =0.98	Uyarlanan R ² =0.97	Tahminlenen R ² =0.94
Genişleme oranı = $1.71 - 0.14 \times B - 0.08 \times C + 0.08 \times D - 0.03 \times (B^2) - 0.04 \times (C^2)$									
Görünür yoğunluk = $0.26 + 0.02 \times A + 0.15 \times B + 0.08 \times C - 0.06 \times D - 0.02 \times (A \times B) + 0.05 \times (A \times C) + 0.02 \times (B \times C) - 0.04 \times (B \times D) - 0.02 \times (C \times D) + 0.04 \times (B^2) + 0.06 \times (C^2)$									
Gözeneklilik = $0.83 - 0.01 \times A - 0.09 \times B - 0.05 \times C - 0.04 \times D + 0.02 \times (A \times B) - 0.03 \times (A \times C) - 0.02 \times (B \times C) + 0.03 \times (B \times D) + 0.02 \times (C \times D) - 0.03 \times (B^2) - 0.04 \times (C^2)$									

Kalıp sıcaklığının RKEMÇ'lerin genleşme oranına etkisi önemli ($p>0.05$) bulunmazken, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerinde etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Kalıp sıcaklığının artışıyla görünür yoğunluk azalırken, gözeneklilik artmıştır (Şekil 4.25 ve Şekil 4.27). Kalıp sıcaklığındaki artış, ekstrüder içerisindeki suyun aşırı ısınmasına, hava kabarcıklarının artmasına ve eriyik vizkozitesinin azalmasına neden olarak, ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır (Ding ve ark., 2006). Nem içeriğinin azalması, kalıp sıcaklığı ve vida hızının artması ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır (Kothakota ve ark., 2013). Yığın yoğunluğu ile genleşme oranı arasında negatif korelasyon olduğu ve yüksek yığın yoğunluğunda düşük genleşme meydana geldiği bildirilmiştir (Suknark ve ark., 1997; Rayas-Duarte ve ark., 1998) Guha ve Ali (2006), yüksek kalıp sıcaklığının jelatinizasyonu artırdığını ve pirinç ekstrüde ürünlerinin daha çok genişerek, yığın yoğunluğunun azaldığını bildirmişlerdir. Ding ve ark. (2006), besleme hızı (20-32 kg/sa), kalıp sıcaklığı (100-140 °C), nem içeriği (%14-22) ve vida hızının (180-320 dev/dk) ekstrüde mısır çerezlerinin fiziksel ve fonksiyonel özellikleri üzerine ekstrüzyon koşullarının etkisini çalışmışlardır. Sıcaklığın artmasıyla yoğunluğun, su absorblama indeksi ve sertliğin azaldığı ve genleşme oranının arttığı bildirilmiştir.

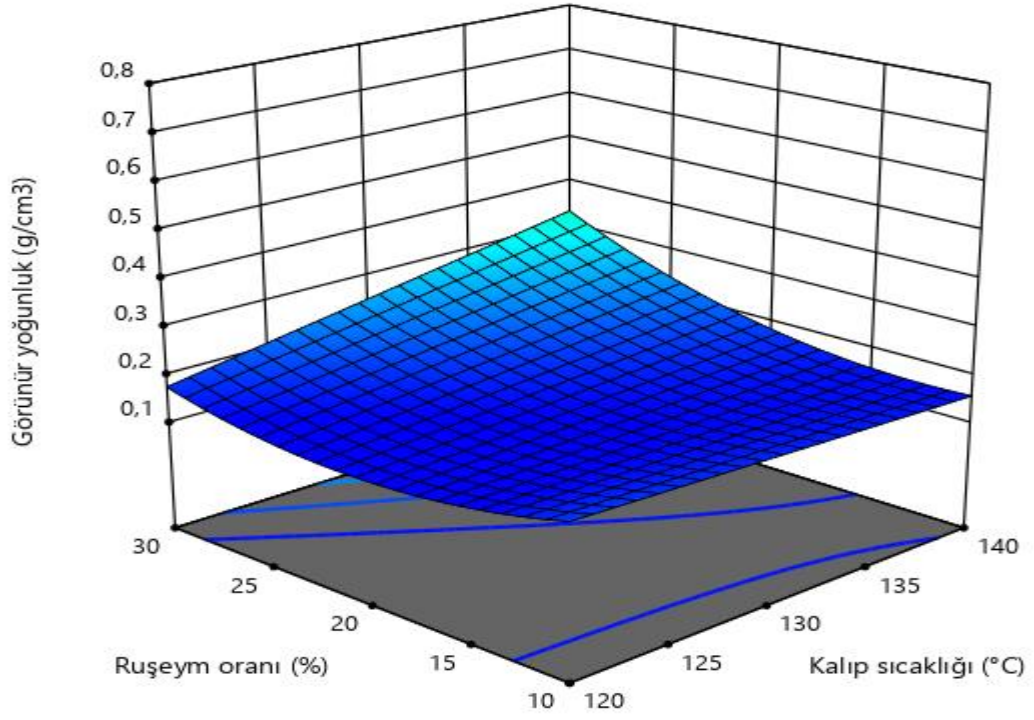


Şekil 4.23. Nem içeriği ve ruşeym oranının 140 °C kalıp sıcaklığı ve %30 mısır nişastası oranının genleşme oranına etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

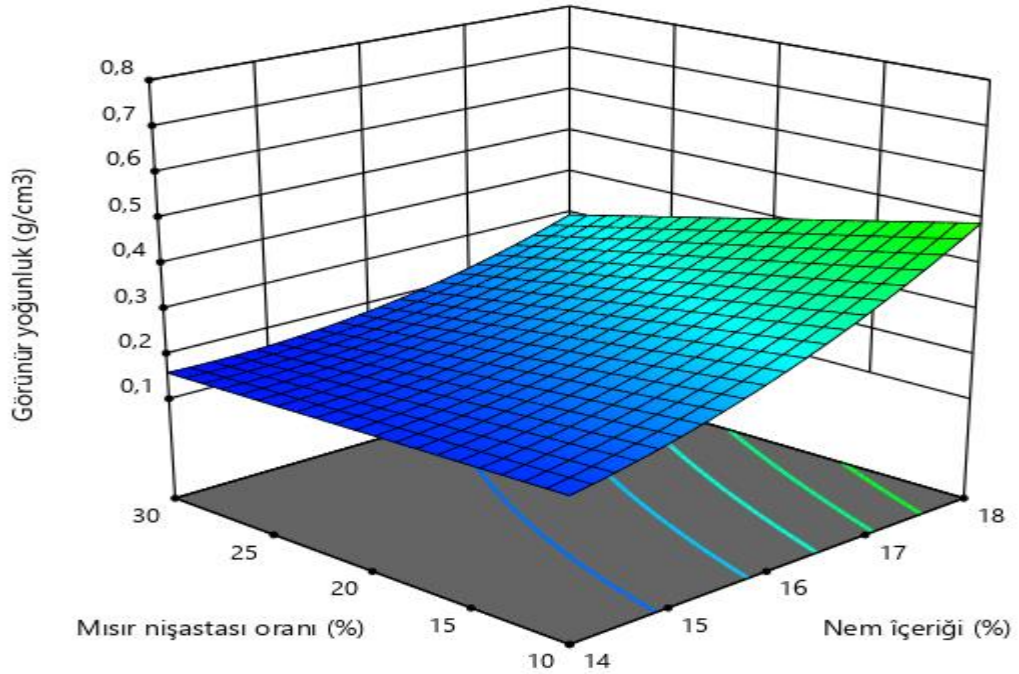


Şekil 4.24. Mısır nişastası ve nem oranının 140 °C kalıp sıcaklığı ve %16 ruşeym oranında genleşme oranına etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

Nem içeriğinin RKEMÇ'lerin genleşme, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerinde etkisi önemli bulunmuştur. Nem içeriğinin artması ile genleşme ve gözeneklilik azalırken, görünür yoğunluk artmıştır (Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27). Ekstrüzyon prosesinde nem içeriğinin devamlı artması nişasta jelatinizasyonu (Alam ve ark., 2016) ve radyal genleşmeyi olumsuz etkilerken (Faubion ve Hosoney, 1982; Fletcher ve ark., 1985; Chinnaswamy ve Hanna, 1988; Singh ve ark., 2007a), görünür yoğunlukta ise artışa sebep olmaktadır (Asare ve ark., 2004; Baik ve ark., 2004; Ding ve ark., 2006). Nem içeriğinin belli bir seviyeden sonrası hamurun elastik özelliğinin kaybederek plastikleşmesinin azalmasına ve ekstrüde ürünlerin genleşmesini azaltarak yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır (Tiwari ve Jha, 2017). Aynı ekstrüzyon sıcaklığında nem içeriğindeki artış nişasta dönüşüm derecesinin, genleşmenin ve gözenekliliğinin azalmasına (Kokini ve ark., 1992) ve görünür yoğunluğunun ise artışına sebep olmuştur (Thymi ve ark., 2005). Yağcı ve Göğüş (2008)'de nem içeriğinin yığın yoğunluğuna etkisinin ekstrüde ürünlerin kompozisyonuna bağlı olduğunu, yüksek oranda meyve atığı ve düşük oranda yağlı alınmış fındık unu karışımında nem içeriğinin artmasına bağlı olarak, daha yoğun, sıkı, genleşmesi az ve düşük gözenekli ekstrüde ürünler elde ettiklerini bildirmişlerdir.



Şekil 4.25. Ruşeym oranı ve kalıp sıcaklığının %14.98 nem içeriği ve %30 mısır nişastası oranında görünür yoğunluğa etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

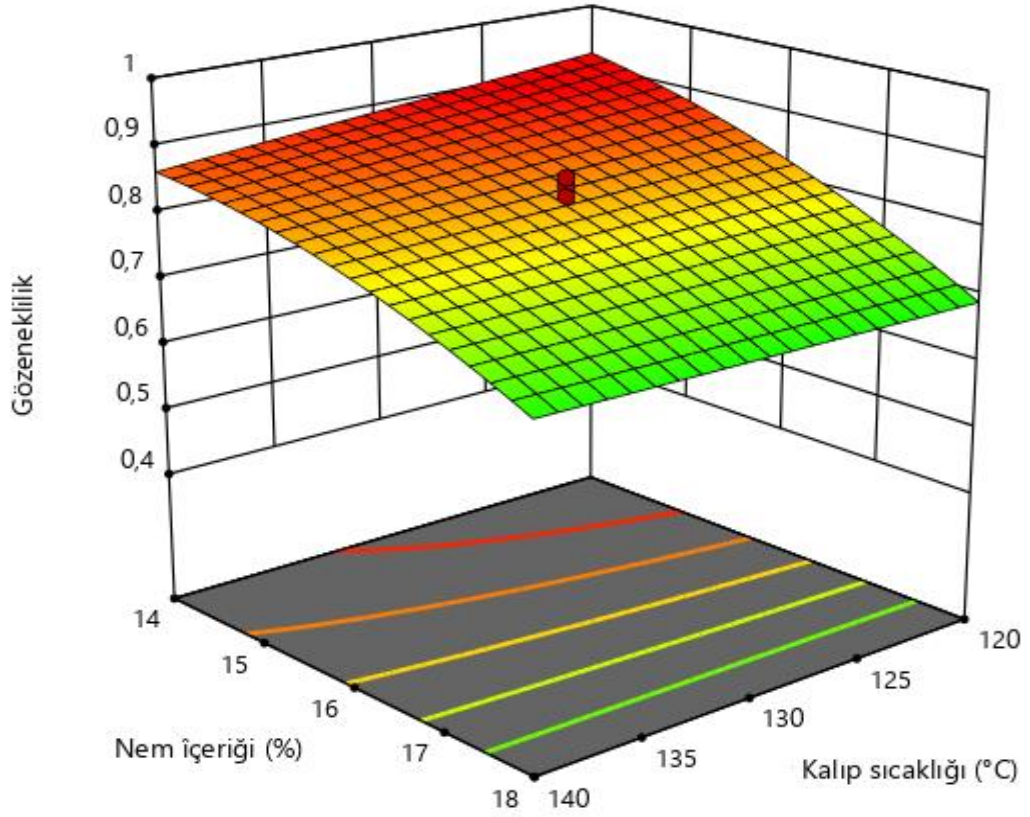


Şekil 4.26. Mısır nişastası ve nem içeriğinin 140 °C kalıp sıcaklığı ve %16 ruşeym oranında görünür yoğunluğa etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

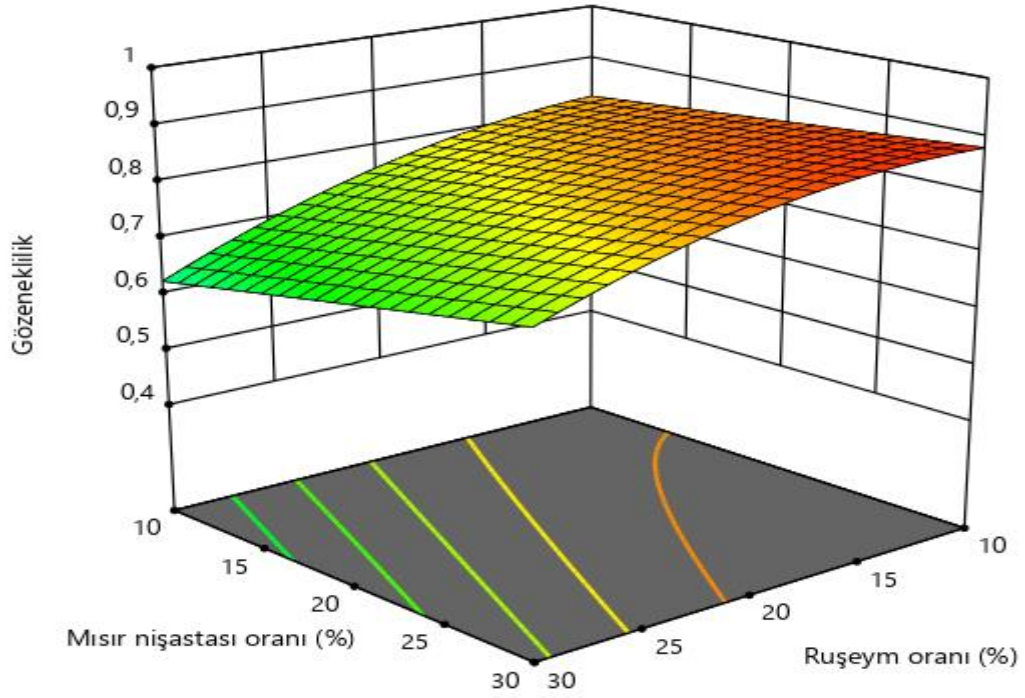
Ruşeym oranı, RKEMÇ'lerin genişleme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerinde etkisi önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Ruşeym oranı arttıkça genişleme oranı ve gözeneklilik azalırken, görünür yoğunluk artmıştır (Şekil 4.23, Şekil 4.25 ve Şekil 4.27) Ruşeym, lif içeriği yüksek bir yan üründür. Lifler nişasta jelatinizasyonunu olumsuz etkileyerek, ekstrüde ürünlerin genişlemesinin azalmasına neden olmaktadır (Mendonca ve ark., 2000; Yanniotis ve ark., 2007; Frohlich ve ark., 2012). Ayrıca lifler yapıdaki suyu bağladığı için suyun buharlaşmasını engellemekte ve ürünler genişememektedir (Mendonca ve ark., 2000; Yanniotis ve ark., 2007; Frohlich ve ark., 2012). Sert ve sıkı tekstürlü ekstrüde ürünlerin görünür yoğunlukları yüksek ve gözenek yapısı küçüktür (Moore ve ark., 1990; Lue ve ark. 1991). Lifler dolgu materyali gibi hücrelerin genişmesini etkileyerek, daha küçük hücre yapılarının oluşmasını sağlamaktadır (Yacu, 2012). Ying ve ark. (2017), diyet lifi bakımından zengin pirinayı (%5-10), farklı ekstrüzyon koşullarında (sıcaklık, 50-90 °C, nem içeriği %20, vida hızı 500 dev/dk) ekstrüde çerez üretiminde kullanmışlardır. Pirina oranı arttıkça genişlemenin azaldığı, yoğunluğun arttığını bildirmişlerdir.

Mısır nişastasının RKEMÇ'lerin genişleme, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerinde etkisi önemli bulunmuştur. Mısır nişastası oranı artarken, genişleme oran ve gözeneklilik artmış, görünür yoğunluk ise azalmıştır (Şekil 4.24, Şekil 4.26 ve Şekil 4.28). Ekstrüzyon sırasında nişasta jelatinizasyon, depolimerizasyon ve dekstrinizasyon gibi yapısal değişikliklere uğramaktadır. İşlem sırasında uygulanan yüksek sıcaklık kristal yapıya zarar vererek nişasta ve moleküller arası hidrojen bağlarını kırar. Kırılan yerlerden su alan nişasta molekülü şişer (Wang ve ark., 2017) ve nişastanın su absorpsiyonu ve viskozitesinin artmasına sebep olur (Moscicki ve van Zuilichem, 2011). Kalıptan çıkarken basınç aniden düştüğü için, suyun buharlaşması ekstrüde ürünlerde istenen genişmeyi ve gözenekli yapının oluşmasını sağlamakta ve gaz tutma özelliğini geliştirmektedir (Zhang, 2019). Yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvveti etkisi altında meydana gelen nişasta jelatinizasyonu, nişastanın sindirilebilirliğini ve degradasyonunu etkilemektedir (Bao ve Bergman, 2004). Düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğinde granül nişasta değişmeden kalırken, düşük genişleme özelliği göstermektedir (Noguchi ve ark., 1982; Richmond ve Smith, 1985). Sıcaklık arttıkça (150 °C ve üstü), nişasta granülleri orijinal yapılarını kaybetmektedirler (Richmond ve Smith, 1985). Faubion ve Hosney (1982b), ekstrüde ürünlerin hacimlerinin nişasta oranına bağlı olarak artarken, protein oranının artması ile azaldığını raporlamışlardır. Faubion ve Hosney (1982a), genişlemenin, nişastada buğday ekstrüde ürünlerine göre

daha yüksek olduğunu ve artan nem oranında azalma meydana geldiğini bulmuşlardır. Son ürünlerdeki nişastanın fonksiyonu nem içeriği, vizkosite, tekstür ve raf ömrü gibi kalite özelliklerini önemli derecede etkilenmektedir (Falade ve ark., 2019). Proteinli (Lawton ve ark., 1985) ve nişastalı (Gomez ve Aguilera, 1983) karışımlardan oluşan sistemlerdeki ekstrüzyon çalışmalarında genişlemenin sıcaklık ile doğru, nemle ters orantılı olduğu rapor edilmiştir. Nişastalı bir ürünün ekstrüzyonuna protein eklenmesi genişlemeyi olumsuz etkilerken, nişastada amilopektin genişlemeyi pozitif, amiloz ise negatif etkide bulunabilmektedir.



Şekil 4.27. Nem içeriği ve kalıp sıcaklığının %30 mısır nişastası %16 ruşeym oranında gözenekliliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği



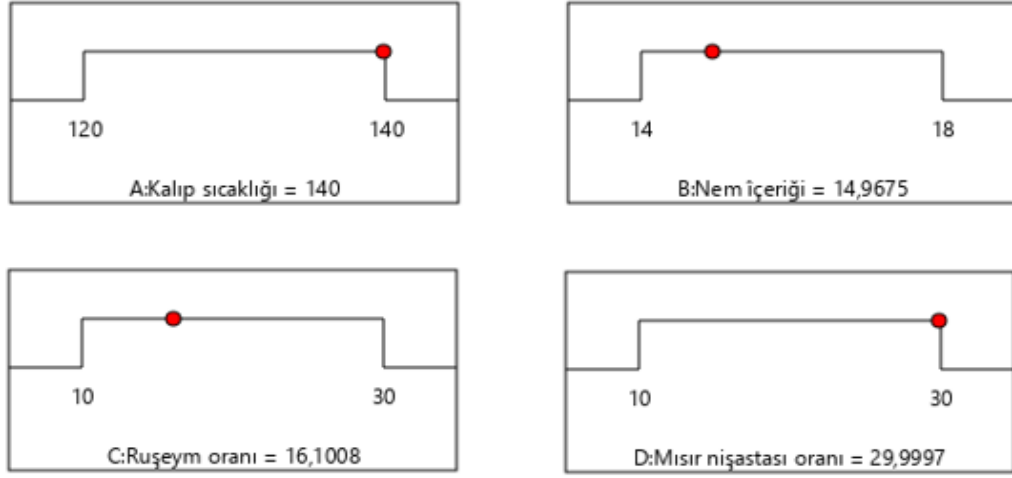
Şekil 4.28. Ruşeym ve mısır nişastası oranının %14.98 nem içeriği ve 140 °C kalıp sıcaklığında gözenekliliğe etkisinin Yanıt Yüzey grafiği

4.2.2. Ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi üretiminin doğrulanması

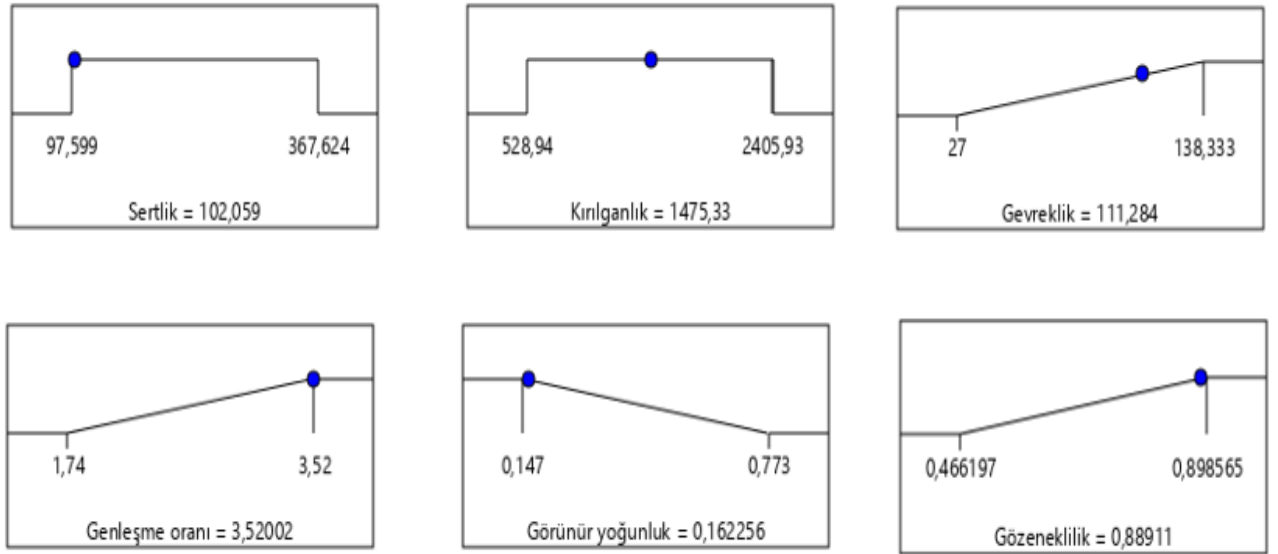
MKT-YYM kullanılarak ekstrüzyon koşulları ve karışım miktarı optimize edilerek, belirlenen şartlarda (Şekil 4.29; kalıp sıcaklığı 140 °C, nem içeriği %14.98, ruşeym oranı%16 ve mısır nişastası oranı %30) en iyi tekstürel ve fiziksel özelliklere sahip RKEMÇ üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ürünlerin analizleri yapılarak doğrulamaları yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.19’da gösterilmiştir. RKEMÇ için MKT-YYM’unda tahminlenen tekstür ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçları ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$) çıkmıştır. Bu sonuç RKEMÇ üretiminin MKT-YYM ile optimizasyonunun uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın devamında MKT-YYM optimizasyonu sonucunda belirlenen optimum ruşeyme (%16) ilave oranı kademeli olarak artırılarak dört farklı RKEMÇ (%18, 20, 22 ve 24) daha üretilmiştir. Böylece ruşeym katkılama oranının artışına bağlı olarak ürün özelliklerinde meydana gelen değişimlerin analizleri (tekstür ve fiziksel analizleri) gerçekleştirilmiştir. Analizden elde edilen sonuçların doğrulamaları yapılmıştır (Çizelge 4.20). RKEMÇ için YYM tahminlenen tekstür ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçları ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$)

çıkmiştir. Bu sonuca göre mısır çerezlerine %24'e kadar ruşeym katkılması kabul edilebilir ekstrüde mısır çerezlerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.29. Bağımsız değişkenlerin optimize değerleri (a) ve %16 RKEMÇ'nin optimizasyon sonucunda elde edilen yanıtlarının teorik değerleri (b)

Çizelge 4.19. En iyi ürünün (%16 RKEMÇ) tekstür, fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Sertlik (N)			Kırılgenlık (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Ürün	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Mısır nişastası oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır
%16 RKEMÇ	140	14.98	16	30	51.85	143.34	153.41	1001.10	1475.36	2408.20	84.06	108.50	138.32
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri					Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm ³)			Gözeneklilik		
Ürün	Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Mısır nişastası oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel veri	%95 Güven aralığı - Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır
%16 RKEMÇ	140	14.98	16	30	2.99	3.42	4.09	0.09	0.14	0.24	0.84	0.90	0.94

Çizelge 4.20. RKEMÇ'lerin ürünlerin tekstür, fiziksel analiz sonuçları ve doğrulamaları

Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri				Sertlik (N)			Kırılganlık (N x s)			Gevreklik (pik sayısı)		
Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Mısır nişastası oranı (%)	%95 Güven aralığı-Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
140	15.07	18	30	46.95	124.92	148.25	996.88	1496.10	2382.97	86.72	130.50	140.77
140	15.23	20	30	46.98	119.75	148.22	1001.93	1397.47	2394.77	88.21	118.00	142.13
135	15.19	22	30	46.95	140.09	148.26	922.95	1347.23	2077.44	82.46	124.00	135.53
128	14.94	24	30	46.82	134.58	148.38	798.15	1236.60	1673.43	71.43	110.00	124.39
Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri				Genleşme oranı			Görünür yoğunluk (g/cm3)			Gözeneklilik		
Kalıp sıcaklığı (°C)	Nem içeriği (%)	Ruşeym oranı (%)	Mısır nişastası oranı (%)	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı -Üst sınır	%95 Güven aralığı- Alt sınır	Deneysel değer	%95 Güven aralığı - Üst sınır
140	15.07	18	30	2.94	3.39	4.02	0.10	0.16	0.25	0.83	0.89	0.93
140	15.23	20	30	2.86	3.20	3.93	0.12	0.16	0.27	0.82	0.89	0.92
135	15.19	22	30	2.81	3.18	3.87	0.12	0.18	0.26	0.82	0.87	0.92
128	14.94	24	30	2.79	3.17	3.84	0.09	0.18	0.24	0.83	0.88	0.93

4.2.3. Optimize edilen şartlarda üretilen ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezlerini kimyasal bileşimi

RKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddelerin ve MKT-YYM ile belirlenen en iyi ekstrüde ürünün (%16 RKEMÇ) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Ruşeymin ortalama nem, kül, yağ ve protein miktarları sırasıyla %9.22±0.31, %4.04±0.00, %8.44±0.73 ve %27.90±0.14 olarak belirlenmiştir. Mısır irmiği için aynı değerler sırasıyla %10.58, %0.42, %0.93 ve %7.75 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre ruşeym kül, yağ ve protein bakımından mısır irmiğinden daha üstün özellikler sergilemiştir.

Optimizasyon sonucunda belirlenen %16 RKEMÇ’inde nem %6.06, kül %0.96, yağ %0.28 ve protein % 9.25 olarak belirlenmiş hesaplanmıştır. Hammadde olarak kullanılan mısır irmiği ile karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine %16 oranında ruşeym katılmasının kül ve protein miktarını artırırken yağ miktarını azalttığı Çizelge 4.21’den izlenmektedir. Kül ve protein miktarındaki artış ruşeymin zengin kül ve protein miktarına atfedilirken, yağ miktarındaki azalmanın sebebi 4.2.3 başlığı altında açıklanmıştır.

Yapılan çalışmalar ticari ruşeymin %10-15 yağ, %26-35 protein, %17 şeker, %1.5-4.5 lif, %4 mineral madde (özellikle K, Mg, Ca, P, Zn ve Mn) ve yüksek oranlarda biyoaktif bileşenler (tokoferol 300-740 mg/kg, fitosterol 24-50 mg/kg, flavonoid (3.5 g/kg rutin eşdeğeri), polikosanol 10 mg/kg, karetonoid 4-38 mg/kg, tiamin 15-23 mg/kg ve riboflavin 6-10 mg/kg) içerdiğini göstermektedir (Panfili ve ark., 2003; Bilgiçli ve ark., 2006; Zhu ve ark., 2006; Brandolini ve Hidalgo, 2012).

Çizelge 4.21. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%16 RKEMÇ) kimyasal analiz sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Nem (%)	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)
Ruşeym	9.22±0.31	4.04±0.00	8.44±0.73	27.90±0.14
Mısır irmiği	10.58±0.06	0.42±0.04	0.93±0.09	7.75±0.07
%16 RKEMÇ	6.06±0.25	0.96±0.00	0.28±0.01	9.25±0.11

Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

RKEMÇ üretiminde kullanılan ruşeym ve mısır irmiği ile %16 RKEMÇ’ine ait fitik asit sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir. Ruşeym, mısır irmiği ile %16 RKEMÇ örneklerinde sırasıyla 2881.88±31.77, 2147.30±210.95 ve 1176.38±87.56 mg/100g fitik asit miktarı belirlenmiştir. Hammadde olarak kullanılan ruşeymin ve mısır irmiğinin

fitik asit içerikleri ile karşılaştırıldığında %16 RKEMÇ'nin fitik asit miktarının ekstrüzyon koşullarında azaldığı anlaşılmaktadır. Yapılan bir çalışmada mercimeğin antibesinsel özelliklerinin azaltılması için farklı ekstrüzyon koşulları (kalıp sıcaklığı, 140-180 °C; vida hızı 150-250 dev/dk; besleme oranı, 340g/dk; nem içeriği, %14-22) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ekstrüzyonun protein içeriğinde değişme olmaksızın antibesinsel faktörleri azaltmada en etkili yöntem olduğu, fitik asit (%99.30), tripsin inhibitörleri (% 99.54) ve tanen (%98.53) miktarında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Nişasta ve protein sindirilebilirlikleri geleneksel yöntem ile karşılaştırıldıklarında ekstrüzyon sonucunda %96 ve %89 oranlarında artış meydana gelmiştir (Rathod ve Annapure, 2016).

RKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %16 RKEMÇ'ine ait toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 4.22'de verilmiştir. Ruşeym ve mısır irmiğinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite özellikleri sırasıyla 398.5±0.91 mgGAE/100g ve 144.50±0.25 mg GAE/100g, %94.85±0.41 ve %94.00±0.94, DPPH engelleme gücü 1.34 ±0.03 mMol Trolox/g ve 1.13±0.01 mMol Trolox/g olarak bulunmuştur. Buna göre ruşeym toplam fenolik madde miktarı bakımından mısır irmiğinden daha yüksek değere sahiptir. %16 RKEMÇ'in toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 31.15±0.94 mg GAE/100g, %94.56 ±1.29 DPPH engelleme gücü ve 0.49 mMol Trolox/g olarak belirlenmiştir.

Ekstrüzyon koşullarında %16 RKEMÇ'in toplam fenolik madde, antioksidan kapasite ve TEAC değerlerinde hammaddeye göre bir azalma meydana gelmiştir. Yağcı ve Doğan (2016) farklı ekstrüzyon koşullarının yeşil mercimekten bulgur benzeri ürün üretimi için uygunluğunu denemişlerdir. Yeşil mercimek unu pirinç unu ile farklı oranlarda (%0, 25 ve 50) karıştırılarak ve farklı ekstrüzyon koşullarında (nem içeriği, %30-50; vida hızı, 200 dev/dk) üretimleri gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonucunda ürünlerin toplam fenolik içerikleri, hammaddeye göre %50 oranında azalmıştır. Dlamini ve ark., (2007), sorgum çeşitlerinin ve farklı işlemlerin sorgum bazlı gıdaların toplam fenolik madde ve antioksidan özellikleri üzerine etkisine çalışmışlardır. Ekstrüzyon işlemi sonucunda (vida hızı, 230 dev/dk; besleme oranı 550 kg/sa; nem oranı, %18; kalıp sıcaklığı 150-160 °C) ürünlerin, işlem görmemiş ürünlere göre toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitelerinin azaldığını bildirmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada ekstrüzyon prosesinin adzuki fasulyesinin antioksidan ve alfa glikozidaz inhibisyonu üzerine etkisine çalışılmıştır. Ekstrüde edilmiş adzuki fasulyesi ekstraktı ile ekstrüde edilmemiş adzuki fasulyesi ekstraktı arasında

polisakkarit içeriği, protein içeriği ve toplam flavanoid içeriği bakımından önemli bir fark bulunmamıştır. Toplam fenolik madde ve DPPH yöntemi ile belirlenen toplam antioksidan kapasite içeriğinde ise ekstrüzyon sonrasında ciddi azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Yao ve Ren 2014).

Çizelge 4.22. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%16 RKEMÇ) fitik asit, toplam fenolik madde ve toplam antioksidan kapasite sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Fitik asit (mg/100g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100g)	Antioksidan kapasite (%)	TEAC ² (mMol Trolox/g)
Ruşeym	2881.88±31.77	398.50±2.91	94.85±0.41	1.34±0.03
Mısır irmiği	2147.30±210.95	144.50±0.25	94.00±0.94	1.13±0.01
%16 RKEMÇ	1176.38±87.56	31.15±0.94	94.56±0.08	0.49±0.01

¹Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir. ²TEAC: Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite

RKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %16 RKEMÇ'ine ait diyet lifi sonuçları Çizelge 4.23'de verilmiştir. Ruşeymin çözünmez diyet lifi %17.68±0.10, çözünebilir diyet lifi %0.86±0.75 iken toplam diyet lifi %18.54±0.84 olarak belirlenmiştir. Mısır irmiğinin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifleri ise sırasıyla %3.53, %0.20 ve %3.73 olarak bulunmuştur. Mısır irmiği ile karşılaştırıldığında ruşeym çözünmez diyet lifi ve toplam diyet lif bakımından zengin bir kaynak olduğu görülmektedir. %16 RKEMÇ'in çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriği sırasıyla %4.23±0.46, %2.66±0.37 ve %6.89±0.09 olarak belirlenmiştir. Hammadde olarak kullanılan mısır irmiği ile karşılaştırıldığında %16 oranında ruşeym ilavesinin çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriklerini artırdığı görülmektedir.

Zhong ve ark. (2019), acı bakla tohum kabuğunun lif içeriğine ekstrüzyon teknolojisinin etkisini incelemiştir. Çözünebilir diyet lifi içeriğinde %211'e (29.03 g/kg'dan 90.28 g/kg) kadar artış meydana gelirken, çözünmez diyet lifinde ise %7.8 (898.91 g/kg'dan 828.85 g/kg) oranında azalma meydana gelmiştir. Nem içeriği, kalıp sıcaklığı ve vida hızının çözünebilir diyet lifi içeriğini değiştirmede en önemli bağımsız değişkenler olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.23. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%16 RKEMÇ) çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Çözünmez diyet lifi (%)	Çözünebilir diyet lifi (%)	Toplam diyet lifi (%)
Ruşeym	17.68±0.10	0.86±0.75	18.54±0.84
Mısır irmiği	3.53±0.19	0.20±0.29	3.73±0.48
%16 RKEMÇ	4.23±0.46	2.66±0.37	6.89±0.09

Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

RKEMÇ üretiminde kullanılan hammaddeler ile %16 RKEMÇ'ine ait mineral madde sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir. Ruşeym ve mısır irmiğinin mineral madde içerikleri sırası ile, Fe 6.74; 2.01 mg/100 g, K 1039.86; 140.82 mg/100 g, Mg 135.43; 28.48 mg/100 g, P 932.44; 86.94 mg/100 g, Se 3.92; 0.92 mg/100 g ve Zn 11.75; 1.12 mg/100 g olarak bulunmuştur. Ruşeym, mısır irmiğine göre Fe, K, Mg, P, Se ve Zn miktarları bakımından oldukça üstün özelliklere sahiptir. Hammadde ile mısır irmiği karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine ruşeym ilave edilmesinin ekstrüde mısır çerezlerinin Fe (3.24 mg/100 g), K (279.76 mg/100 g), Mg (52.34 mg/100 g), P (231.84 mg/100 g), Se (3.77 mg/100 g) ve Zn (2.87 mg/100 g) miktarlarını geliştirdiği görülmektedir

Çizelge 4.24. Hammaddelerin ve en iyi ürünün (%16 RKEMÇ) mineral madde sonuçları

Hammaddeler/Ürün	Fe	K	Mg	P	Se	Zn
Ruşeym	6.74±0.05	1039.86±5.62	135.43±0.58	932.44±9.79	3.92±3.73	11.75±0.02
Mısır İrmigi	2.01±0.01	140.82±1.67	28.48±0.20	86.94±0.72	0.92±0.61	1.12±0.06
%16 RKEMÇ	3.24±0.02	279.76±0.36	52.34±0.18	231.84±2.48	3.77±1.67	2.87±0.09

Sonuçlar kuru madde esasına göre mg/100g olarak verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda ruşeymin mineral madde kompozisyonu Ca 40.50-365.10 mg/100g, Mg 189.83-310.3 mg/100g, K 750.11-1365.10 mg/100g, P 739.82-864.52 mg/100g, Cu 0.06-0.92 mg/100g, Fe 5.48-9.45 mg/100g ve Zn 9.05-864.52 mg/100g arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Bilgiçli ve ark., 2006; Arshad ve ark., 2007; Rizzello ve ark., 2010; Aktaş ve ark., 2014; Cankurtaran, 2016; Çakır, 2018). Bu çalışma da en iyi ürünlerdeki mineral madde artışının hammadde (ruşeym) kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Ekstrüzyon teknolojisinin ekstrüde ürünlerin mineral madde içeriğinde geliştirici bir etkisinin olmadığı, mineral madde içeriğinin ve biyoyararlılığının ekstrüzyon sırasında genellikle korunduğu düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada bezelye ve barbunya tohumlarından hazırlanan karışımlar ekstrüde edilmiş ve elde edilen karışımın mineral madde (Ca, Mg, Zn, Cu, Mn ve P) bileşimi Fe hariç etkilenmemiştir. Bu durum işlenmeye bağlı olarak ya da ekstrüderin parçalarında özellikle vidalarda meydana gelen metalik aşınmanın sonucu olarak ekstrüde edilen karışımda meydana gelebilecek kontaminasyon sonucu olarak değişebileceği sonucuna varılmıştır (Alonso ve ark., 2001). Martínez-Monzó ve ark. (2020), alternatif protein ve mineral kaynağı olarak yenilebilir böcek türleri ve bezelye tozunu ekstrüde mısır çerezi üretiminde

kullanmışlardır. Zenginleştirme materyallerini %5, mısır irmiğini %95 oranında kullanarak karışım hazırlanmış tek vidalı ekstrüder kullanmışlardır. Yenilebilir böcek ve bezelye tozu kullanımının mineral içeriğinde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı bununda %5 oranında kullanımının yeterli miktarda yükseltmediği sonucuna varılmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda da ekstrüzyon işlemi sırasında verilen sudan kaynaklı mineral madde artışlarının olabileceği sonucu çıkarılmıştır (Singh ve ark., 2000).

4.2.4. Ruşeym katkı oranının optimum şartların üzerine çıkarılmasının ekstrüde ürün özelliklerine etkileri

MKT-YYM ile optimize edilerek üretilen en iyi ürün (%16 RKEMÇ) ve katkı oranı (%18, 20, 22 ve 24) artırılarak üretilen 4 ürünün (toplamda en iyi 5 üründe) üretimleri gerçekleştirilmiştir. Fiziksel analizler ve doğrulamalar yapılarak kimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir. Ruşeym oranı artırılarak üretilen 4 ürünün nem %5.25-6.53, kül %0.96-1.31, yağ %0.28-0.48 ve protein miktarları %9.25-11.10 arasında belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre RKEMÇ'nin nem, kül, yağ ve protein miktarlarındaki değişimler önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. En düşük kül, yağ ve protein miktarları %16 RKEMÇ'te iken, en yüksek %24 RKEMÇ'te belirlenmiştir (Çizelge 4.25). Ruşeym katkı oranının artmasına bağlı olarak ekstrüde mısır çerezlerinde kül, yağ ve protein miktarlarında artış meydana gelmiştir. Yağ içeriğinde ruşeym katkılama oranının artmasına bağlı olarak bir artış meydana gelmesine rağmen, genel olarak hammadde ile karşılaştırıldığında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum daha önce bahsedildiği üzere yağların ekstrüzyon koşullarında karbonhidratlarla ve proteinlerle oluşturduğu kompleks sonucunda hegzan ve petrol eteri gibi çözücülerle elde edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Strange ve Schaich, 2000; Nebesny ve ark., 2005; De Pilli ve ark., 2008; De Pilli ve ark., 2011; De Pilli ve ark., 2012; De Pilli ve Alessandrino, 2018). Ayrıca ekstrüzyon koşullarında hidrolitik enzimlerin inaktive olduğu, buna bağlı olarak ransit tatların daha geç geliştiği ve daha uzun sürelerde depolama yapıldığı bildirilmiştir (Camire, 2000). Formülasyonda kullanılan mısır nişastası ürünün teknolojik özelliklerini olumlu etkilerden, RKEMÇ'lerin kimyasal analiz sonuçlarında bir miktar azalma meydana gelmiştir.

Çizelge 4.25. RKEMÇ'lerin kimyasal analiz sonuçları

Ruşeym katkı oranı (%)	Nem (%)	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)
16	6.06±0.25 b	0.96±0.00 e	0.28±0.01 e	9.25±0.11 d
18	5.83±0.01 b	1.06±0.01 d	0.31±0.01 d	9.60±0.14 c
20	6.53±0.18 a	1.14±0.03 c	0.37±0.00 c	10.30±0.00 b
22	5.96±0.06 b	1.20±0.01 b	0.42±0.01 b	10.95±0.07 a
24	5.25±0.10 c	1.31±0.01 a	0.48±0.01 a	11.10±0.00 a
p	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

En iyi 5 üründe (%16, 18, 20, 22 ve 24) fitik asit miktarları sırasıyla 1176.38±87.56, 987.81±27.86, 1426.85±67.66, 1153.86±39.80 ve 1283.32±31.84 mg/100g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.26). ANOVA sonuçlarına göre ekstrüde mısır çerezlerinin fitik asit miktarı değişimleri önemli (p<0.01) bulunmuştur. Ekstrüzyon teknolojisinin uyguladığı yüksek sıcaklık, basınç ve kayma gerilimi kuvveti ürünlerdeki antibesinselleri parçaladığı için hammaddeye göre ürünlerin fitik asit miktarında azalma meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere bu durum ekstrüzyon sırasında meydana gelen yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvvetinden kaynaklanacağı gibi, bileşik olarak bulunan myoinositol 1,2,3,4,5,6-heksakis dihidrojen fosfatın termal bozunması sonucu daha düşük molekül ağırlıklı formlara dönüşmesi (Alonso ve ark., 2000; Anton ve ark., 2009) veya kimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelebilmektedir. Yağcı ve Doğan (2015), ekstrüzyon teknolojisi kullanarak ürettikleri mercimek bulgurunun işlem koşullarında fitik asit miktarının azaldığını bildirmişlerdir. Fitik asit miktarındaki azalma antibesinsel madde olarak düşünüldüğünde avantaj gibi durmaktadır. Ancak fitik asitin fonksiyonel özellikleri olduğu için, bu özelliğinde de azalma meydana gelmektedir (Cankurtaran, 2016).

En iyi 5 RKEMÇ'nin ürünün toplam fenolik madde miktarları 31.15-45.91 mg GAE/100 olarak belirlenmiştir. Antioksidan kapasite (DPPH radikali engelleme gücü) ise %89.90-94.56 arasında belirlenmiştir. TEAC değeri ise ve 0.47-0.72 mMol Trolox/g arasında çıkmıştır. ANOVA sonuçlarına göre RKEMÇ'lerin toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasite ve TEAC değişimleri önemli (p<0.01) bulunmuştur. Ekstrüde çerez üretiminde kullanılan ruşeym miktarının artırılması çerezlerin toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasite ve TEAC değerlerinin artmasını sağlamıştır (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. RKEMÇ'lerin fitik asit, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite sonuçları

Ruşeym katkı oranı (%)	Fitik asit (mg/100g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100g)	Antioksidan kapasite (%)	TEAC ² (mMol Trolox/g)
16	1176.38±87.56 b	31.15±0.94 d	94.56±0.08 a	0.49±0.01 d
18	987.81±27.86 c	39.37±0.47 c	94.23±0.04 b	0.47±0.00 d
20	1426.85±67.66 a	43.53±0.47 b	93.17±0.04 c	0.53±0.00 c
22	1153.86±39.80 b	44.69±0.47 b	90.82±0.15 d	0.65±0.01 b
24	1283.32±31.84 ab	45.91±0.45 a	89.90±0.00 e	0.72±0.04 a
p	0.004	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ¹Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir. ²TEAC: Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite

En iyi beş RKEMÇ'nin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi miktarları Çizelge 4.27'de verilmiştir. Çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi miktarları sırasıyla %4.05-6.30, %1.19-3.31 ve %6.89-7.49 arasında değişmiştir. Ruşeym ilavesi ekstrüde mısır çerezlerinin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriğini hammaddeye göre artış sağlamıştır ancak farklı oranlarda kullanımı çözünmez diyet lifi içeriğinde bir miktar artışa sebep olurken, çözünebilir diyet lifi miktarındaki etkisi daha sınırlı olmuştur. Özellikle ruşeym oranının artmasına rağmen %24 RKEMÇ'inin çözünebilir diyet lifi miktarında azalma meydana gelmiştir. Toplam diyet lifi miktarı ise ruşeym oranının artmasından etkilenmemiş elde edilen değerler aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4.27).

Ekstrüzyon teknolojisinde uygulanan hammaddelerde genellikle çözünebilir diyet lifi miktarında bir artış söz konusudur (Camire ve ark., 1997; Larrea ve ark, 2005; Gajula ve ark. 2008). Bu durum kovalent ve kovalent olmayan bağların kırılması sonucu küçük ve çözünebilir formların oluşması ile açıklanmaktadır (Rashid ve ark., 2015). Oluşan yapılar kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini artırarak bağırsak mikroflorasının sağlığına katkı sağlamaktadır (Arcila ve ark., 2015). Larrea ve ark. (2005), tek vidalı ekstrüder kullanarak portakal posasının diyet lifi içeriğini modifiye etmişlerdir. Ekstrüzyon işlemi sonrasında çözünebilir diyet lifi %80 oranında artarken, çözünemeyen diyet lifi miktarı %39 oranında azalmıştır. Portakal posasının lif yapısının değişiminden kalıp sıcaklığının önemli bir bağımsız değişken olduğu, bunu kalıp sıcaklığı ile vida hızı etkileşiminin takip ettiği bildirilmiştir. Camire ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, buharla ve aşındırma soyma ile elde ettikleri patates kabuklarını ekstrüde etmişlerdir. Buharla soyma ile elde edilen patates kabuklarının ekstrüzyon sonucunda nişasta içeriğinin azaldığı, toplam diyet lifi miktarının arttığını, aşındırma ile soyulan patates kabuklarının toplam diyet lifi miktarında değişme olmadığı ancak çözünebilir diyet lifinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.27. RKEMÇ'lerin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi sonuçları

Ruşeym katkı oranı (%)	Çözünmez diyet lifi (%)	Çözünebilir diyet lifi (%)	Toplam diyet lifi (%)
16	4.23±0.46 c	2.66±0.37 b	6.89±0.09 a
18	5.16±0.15 b	2.25±0.00 b	7.41±0.15 a
20	4.05±0.37 c	3.31±0.10 a	7.36±0.46 a
22	5.14±0.06 b	2.09±0.35 b	7.23±0.40 a
24	6.30±0.03 a	1.19±0.49 c	7.49±0.52 a
p	0.003	0.002	0.424

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar kuru madde esasına göre verilmiştir.

En iyi beş RKEMÇ'ler 90 günlük depolama süresi boyunca 0., 30. ve 90. günlerde duyu analize tabi tutulmuştur. Ürünler renk, tat, koku, kırılabilirlik, sertlik, gevreklik, gözeneklilik ve genel beğeni açısından değerlendirilmiş sonuçlar Çizelge 4.28-4.30 ve Şekil 4.30-4.32'de verilmiştir.

Duyusal değerlendirme renk sonuçlarına göre, üretim sonrasında %18 RKEMÇ, 30. gün sonunda %16 ve 18 RKEMÇ'leri, 90. günün sonunda ise %16 RKEMÇ yüksek renk puanları almıştır. Tat puanlarına göre üretim sonrası ve 30 günlük depolama da %18 RKEMÇ, 90. gün sonunda ise %20 ve 22 RKEMÇ'leri en yüksek skorları almıştır.

Koku değerlendirme sonuçlarına göre üretim sonrası ve 30. günün sonunda RKEMÇ'lerin koku puanları birbirine yakın çıkmış tüm değerler aynı grupta yer almıştır. 90. günün sonunda ise yüksek oranlı (%20, 22 ve 24) RKEMÇ'ler yüksek koku değerlendirme puanları almıştır. Fakat 30 gün boyunca elde edilen değerlendirme puanlarına göre 90. günün sonundaki puanlarda bir miktar azalma meydana gelmiştir.

Kırılabilirlik değeri üretim sonrasında en yüksek %22 ve 24 RKEMÇ'lerinde, 30 günlük depolama sonucunda %18 RKEMÇ'inde belirlenmiştir. 90 günlük depolama sonunda ise RKEMÇ'lerin kırılabilirlik değerleri birbirlerine yakın çıkarak aynı grupta yer almıştır.

Sertlik skoru sonuçlarına göre, üretim sonrasında yüksek oranlı RKEMÇ'ler (%22 ve 24), 30 günlük depolama sonucunda %16 ve 22 RKEMÇ'ler ve 90. günün sonunda ise %24 RKEMÇ'ler en yüksek sertlik puanlarını almıştır.

RKEMÇ'lerin gevreklik puanları değerlendirildiğinde ise üretim sonrasında ürünlerin gevreklik değerleri birbirine yakın çıkarak gruplar arasındaki fark önemli bulunmamıştır. 30 günlük depolama sonucunda en yüksek gevreklik skorunu %16 RKEMÇ, 90. günün sonunda ise %24 RKEMÇ elde edilmiştir.

Gözeneklilik sonuçları değerlendirildiğinde üretim sonrasında ruşeym oranı arttıkça gözeneklilik puanları artarken, 30. günün sonunda ise bütün ürünler aynı grupta

yer almıştır. 90 günlük depolama sonucunda ise %16 RKEMÇ diğer çerezlerden yüksek gözeneklilik sonuçları elde etmiştir.

Sonuçlar depolamaya bağlı olarak genel beğeni değerleri açısından değerlendirildiğinde; ruşeym oranının artırılması ile üretilen ekstrüde çerezlerin tüketiciler tarafından beğenildiği üretim sonrasında en çok beğenilen ürün %20 RKEMÇ olurken, 30 günlük depolama sonucunda %18 ve 22 RKEMÇ, 90. günün sonunda ise %22 RKEMÇ en yüksek skoru elde etmiştir (Çizelge 4.28-4.30, Şekil 4.30-4.32).

Besleyicilik ve fonksiyonellik özelliği yüksek olan ruşeymin ekstrüde mısır çerezinde kullanımı tüketiciler tarafından beğenilmiştir. Ruşeyme değer katan ancak ürünlerin depolanmasında sorun teşkil eden fazla yağ içeriği ekstrüde çerezlerde 90 gün boyunca depolama da sorun oluşturmamıştır. Elde edilen ürünler depolama boyunca büyük ölçüde özelliklerini korumuşlardır (Çizelge 4.28-4.32). Bunun sebebi olarak yapılan çalışmalarda belirtilen ekstrüzyon prosesinde hidrolitik enzimlerin denatüre olduğu ve serbest yağ asitlerinin oluşmadığı ve bu prosesin lipit oksidasyonunu minimize etmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu sayede besinsel ve duyu kalitede artış meydana gelmektedir (Camire, 2000; Singh ve ark., 2007).

Syed ve ark. (2019), mısır unu ile pirinç kepeğini (%10) karıştırarak farklı ekstrüzyon koşullarında (nem içeriği, %14; kalıp sıcaklığı 135 °C; vida hızı 300 dev/dk) ekstrüde etmişler. 4 ay boyunca yüksek yoğunluklu polietilen poşetlerde ve oda koşullarında ekstrüde ürünleri depolamışlardır. 30 günlük zaman periyotlarında nem içeriği, su aktivitesi, serbest yağ asitliği, tekstür, toplam canlı sayısı ve genel beğeni özelliklerini değerlendirmişlerdir. 4 ay sonunda kalitede ve genel beğenide herhangi bir değişiklik olmadığı ve zamanla nem içeriklerinde artış meydana geldiği için tekstürel özelliklerinde bir miktar düşme meydana geldiği bildirilmiştir. Ekstrüde çerezlerin yüksek yoğunluklu poşetlerde 4 ay boyunca depolanmanın önemli bir kalite kaybına sebep olmadığı sonucuna varılmıştır.

Wani ve Kumar (2016), yulaf unu (%21.72), kurutulmuş yeşil bezelye unu (%8.62), çemen otu tohumu (%0.66) ve çemen otu yaprağı tozunu (%1.78), pirinç ve mısır (80:20) ile karıştırarak ekstrüde çerez üretiminde kullanmışlardır. Ürettikleri ürünleri düşük yoğunluklu polietilen ve laminasyon poşetlerde 4 ay boyunca depolamışlardır. Bu süre zarfında tüketicilerin genel beğenisi ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre her iki ambalaj materyalinde depolanan ürünlerde 4 ay boyunca kabul edilebilir bulunmuştur.

Szterk ve ark. (2016), keten tohumu yağı ekledikleri ekstrüde mısır çerezlerinin 6 ay boyunca depolama sonucunda duyusal ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. %5 oranında keten tohumu yağı eklemenin 100 gr ekstrüde mısır çerezinin 2 gr alfa linoleik asit içerdiğini %100 argon gazı kullanılarak paketlenince 6 ay depolama boyunca keten tohumu yağı içermeyen kontrol ile benzer duyusal özellik gösterdiğini bildirilmiştir.

Çizelge 4.28. RKEMÇ'lerin üretim sonrası (0. gün) duyuusal değerlendirme sonucu

Ruşeym katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılgnalık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
16	5.00±0.00 b	5.20±0.28 c	4.99±0.26 a	4.09±0.12 b	3.60±0.00 c	4.88±0.18 a	4.27±0.09 b	4.90±0.14 b
18	5.50±0.00 a	4.90±0.14 a	4.99±0.26 a	3.84±0.23 b	4.00±0.24 b	4.80±0.28 a	4.59±0.12 ab	4.67±0.23 bc
20	4.42±0.12 c	5.45±0.07 b	5.38±0.53 a	4.09±0.12 b	4.10±0.14 b	4.80±0.88 a	4.90±0.14 a	5.65±0.21 a
22	4.84±0.23 b	4.92±0.12 c	5.17±0.23 a	4.67±0.23 a	4.92±0.12 a	5.19±0.02 a	5.48±0.26 a	4.96±0.41 b
24	4.74±0.09 b	4.67±0.00 d	4.72±0.16 a	4.88±0.18 a	4.80±0.00 a	4.84±0.00 a	4.90±0.14 a	4.17±0.23 c
p	0.003	0.023	0.414	0.010	0.001	0.456	0.027	0.023

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

²Kırılgnalık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek

Çizelge 4.29. RKEMÇ'lerin 30. gün duyuusal değerlendirme sonucu

Ruşeym katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılgnalık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
16	5.55±0.07 a	4.79±0.06 c	4.75±0.59 a	4.09±0.12 c	4.30±0.14 a	5.00±0.24 a	5.00±0.00 a	4.90±0.14 b
18	5.54±0.11 a	5.37±0.05 a	4.59±0.12 a	3.42±0.12 a	3.34±0.03 bc	4.25±0.11 bc	4.82±0.02 a	5.20±0.00 a
20	4.72±0.16 b	4.78±0.04 c	4.17±0.23 a	3.67±0.00 b	3.17±0.12 c	3.90±0.14 c	4.84±0.23 a	5.00±0.00 b
22	4.92±0.12 b	5.09±0.12 b	5.17±0.23 a	3.74±0.09 b	4.38±0.00 a	4.75±0.35 ab	4.84±0.23 a	4.99±0.00 a
24	4.17±0.00 c	4.64±0.05 c	4.67±0.23 a	3.83±0.00 b	4.00±0.09 ab	4.59±0.12 ab	5.10±0.14 a	5.00±0.00 b
p	0.001	0.001	0.179	0.005	0.020	0.021	0.400	0.021

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

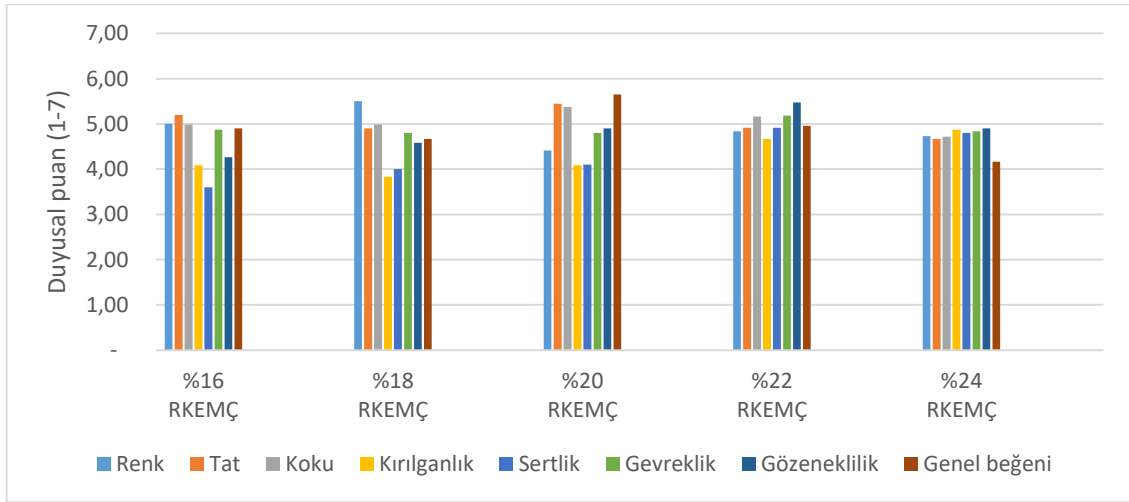
²Kırılgnalık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek

Çizelge 4.30. RKEMÇ'lerin 90. gün duyuusal değerlendirme sonucu

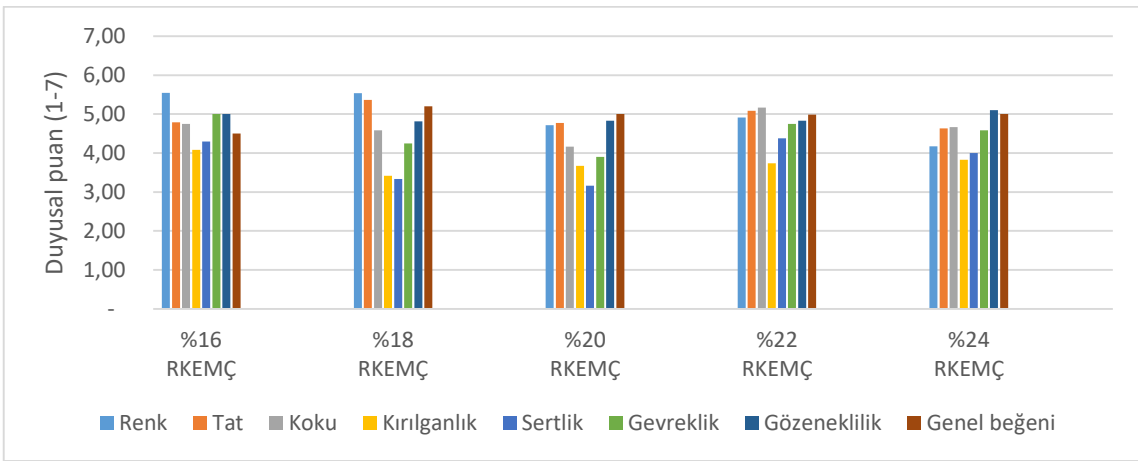
Ruşeym katkı oranı (%)	Renk ¹	Tat ¹	Koku ¹	Kırılgnalık ²	Sertlik ²	Gevreklik ²	Gözeneklilik ¹	Genel beğeni ¹
16	4.84±0.23 a	3.84±0.23 b	3.75±0.11 ab	3.42±0.35 a	3.50±0.24 b	4.10±0.14 b	4.59±0.12 a	4.33±0.10 b
18	4.25±0.11 bc	3.33±0.11 c	3.25±0.35 b	3.84±0.23 a	3.72±0.16 b	4.09±0.12 b	3.82±0.02 b	4.10±0.14 b
20	4.35±0.21 ab	4.42±0.12 a	4.17±0.00 a	3.67±0.23 a	3.59±0.12 b	4.00±0.00 b	4.10±0.14 b	4.25±0.11 b
22	4.50±0.24 ab	4.60±0.00 a	4.34±0.23 a	3.75±0.35 a	3.79±0.06 b	4.17±0.23 b	4.17±0.23 b	5.09±0.12 a
24	3.82±0.02 c	3.32±0.02 c	4.00±0.24 a	4.10±0.14 a	4.42±0.12 a	4.80±0.28 a	4.09±0.12 b	3.83±0.00 c
p	0.020	< 0.001	0.030	0.300	0.010	0.040	0.030	< 0.001

¹Renk, Tat, Koku, Gözeneklilik Genel beğeni: 1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

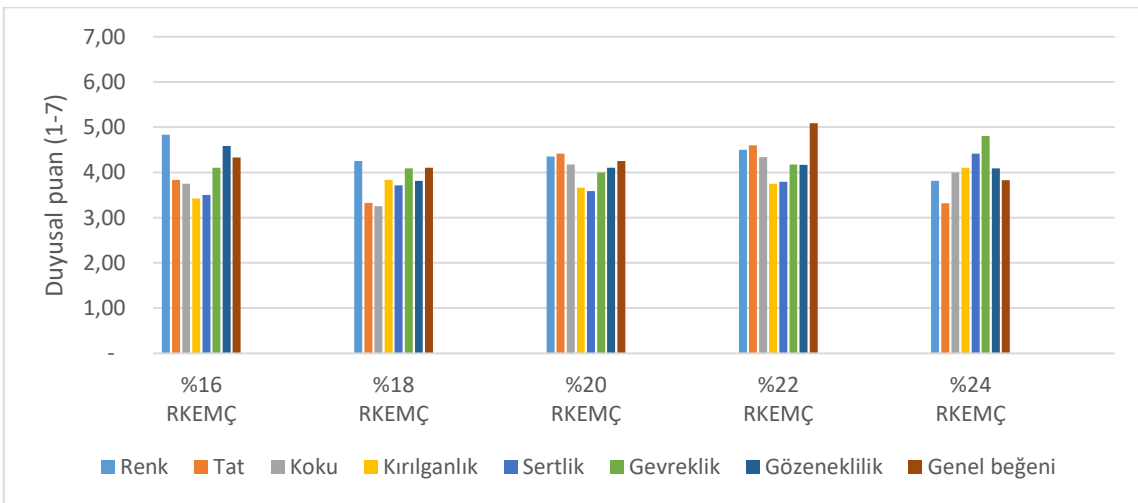
²Kırılgnalık, Sertlik, Gevreklik: 1-Çok düşük 2- Hafif Düşük 3- Düşük 4- Ne çok düşük ne çok yüksek 5- Hafif Yüksek 6- Yüksek 7-Çok yüksek



Şekil 4.30. Üretim sonrası (0. gün) RKEMÇ'lerin duyuşal değerlendirme sonuçları



Şekil 4.31. 30. gün RKEMÇ'lerin duyuşal değerlendirme sonuçları



Şekil 4.32. 90. gün RKEMÇ'lerin duyuşal değerlendirme sonuçları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışmanın ilk aşamasında değirmencilik yan ürünleri bonkalite un ve ruşeymin ekstrüde mısır çerezi üretimi denemeleri ayrı ayrı farklı ekstrüzyon koşullarında yürütülmüştür. Optimizasyon işlemi yapılarak en iyi ürünlerin üretim koşulları belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında değirmencilik yan ürünleri daha fazla kullanmak adına optimum koşullarda bonkalite un ve ruşeym oranları kademeli artırılarak tekstürel özellikleri optimum koşullardaki ürünlere benzer ürünler elde edilmiştir. BUKEMÇ için belirlenen oranlar %20, 25, 30, 35 ve 40 iken, RKEMÇ için %16, 18, 20, 22 ve 24 olmuştur. Belirlenen oranlarda üretimler yapıldıktan sonra, tekstürel analizleri ve doğrulamaları yapılmıştır. Fiziksel doğrulamaları geçen BUKEMÇ'ler ve RKEMÇ'lerin kimyasal bileşimleri (nem, kül, yağ ve protein), fonksiyonel özellikleri (fitik asit, toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, diyet lifi ve mineral madde) ve duyu özellikleri (renk, tat, koku, kırılgenlik, sertlik, gevreklik, gözeneklilik ve genel beğeni) en az iki tekerrürlü olarak çalışılmıştır.

BUKEMÇ üretiminde vida hızı (325, 450 ve 575 dev/dk), nem içeriği (%10, 15 ve 20), bonkalite un oranı (%20, 40 ve 60) ve kalıp sıcaklığı (110, 130 ve 150 °C) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Besleme hızı (2.5 kg/sa) ve ekstrüder zone sıcaklıkları (50, 60, 70, 90 ve 100 °C) ön deneme sonuçlarına göre sabit tutulmuştur. Sertlik (N), kırılgenlik (N x s), gevreklik (pik sayısı), genleşme oranı, görünür yoğunluk (g/cm³) ve gözeneklilik değerleri yanıt (responses) olarak kabul edilmiştir. Box-Behnken YYM deneme deseninde toplanan verilere göre en düşük sertlik, en yüksek gevreklik, kırılgenlik ise sertlik ve gevreklik ile uyumlu, en yüksek genleşme oranı, en düşük görünür yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik hedeflenerek modellenmiştir. BUKEMÇ üretiminde tekstür özelliklerini belirlemede kullanılan en uygun modellerin sertlik ve gevreklik için ikinci dereceden (p<0.01), kırılgenlik için ise iki faktör etkileşimli modelin önemli (p<0.01) olduğu saptanmıştır.

BUKEMÇ'lerin sertliği, kırılgenliği ve gevrekliği sırasıyla 263.59-801.9 N, 456.14-1391.76 (Nxs) ve 0-38 (pik sayısı) arasında değişmektedir. ANOVA sonuçlarına göre sertliğin, kırılgenliğin ve gevrekliğin üzerine nem içeriği, bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının etkisi önemli (p<0.05) bulunmuştur. BUKEMÇ'lerin genleşme oranları, görünür yoğunluğu ve gözenekliliği sırasıyla 1.30-3.41, 0.13-0.68 g/cm³ ve

0.53-0.90 arasında değişmektedir. ANOVA sonuçlarına göre BUKEMÇ'lerin genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine nem içeriği, bonkalite un oranı ve kalıp sıcaklığının etkileri önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine vida hızının etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. BUKEMÇ için Box-Benken-YYM kullanılarak optimize edilen şartlarda (Vida hızı 468 dev/dk, nem içeriği %13.5, bonkalite un oranı %20 ve kalıp sıcaklığı 110 °C) üretim denemeleri yürütülerek doğrulamaları yapılmıştır.

Ekstrüde mısır çerezlerine bonkalite un ilavesi (%20, 25, 30, 35 ve 40) BUKEMÇ'lerin kül ve protein miktarlarının artmasına sebep olmuştur. Yağ miktarında ise bonkalite un ilave oranının artmasına bağlı olarak bir artış olsa da beklenen düzeyde bir artış meydana gelmemiştir. Kül ve protein miktarındaki artış bonkalite unun zengin kül ve protein miktarına atfedilirken, yağ miktarında beklenen artışın olmaması yağların karbonhidratlar ve proteinlerle oluşturduğu kompleks yapılardan kaynaklanabileceğinden düşünülmüştür.

Bonkalite un genel olarak fitik asit miktarında bir artışa neden olmuştur. Hammadde ile karşılaştırıldığında ise ekstrüzyon koşullarında fitik asit miktarında azalma meydana gelmiştir. Ekstrüzyon teknolojisinin uyguladığı yüksek sıcaklık, basınç ve kayma gerilimi kuvveti ürünlerdeki antibesinselleri parçaladığı için hammaddeye göre ürünlerin fitik asit miktarında azalma meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere bu durum ekstrüzyon sırasında meydana gelen yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvvetinden kaynaklanacağı gibi, bileşik olarak bulunan myoinositol 1,2,3,4,5,6-heksakis dihidrojen fosfatın termal bozunması sonucu daha düşük molekül ağırlıklı formlara dönüşmesi veya kimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelebilmektedir.

Mısır irmiği ile karşılaştırıldığında bonkalite un çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lif bakımından zengin bir kaynak olarak belirlenmiştir. Mısır çerezine bonkalite un ilavesinin (%20, 25, 30, 35 ve 40) çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriklerini artırdığı görülmektedir. Yüksek oranlardaki bonkalite un katkılması ekstrüde mısır çerezlerinin toplam fenolik madde ve TEAC değerini artırmıştır. Hammadde ile karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine bonkalite un ilave edilmesinin ekstrüde mısır çerezlerinin Fe, K, Mg, P ve Se miktarlarını geliştirdiği görülmektedir. Bonkalite un ilavesi ekstrüde mısır çerezlerinin fonksiyonel özelliklerini geliştirmiştir.

Ekstrüde mısır çerezine bonkalite un ilave edilerek üretilen çerezler panelistler tarafından beğenilmiştir. Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre depolama boyunca tüketici tercihlerinde ciddi değişiklikler olmamıştır. 90 gün boyunca oda koşullarında

(24 °C), polietilen poşetlerde depolanan BUKEMÇ'ler, üretim sonrası özelliklerini korumuşlardır. Bunun sebebi olarak daha önce bahsedilen ekstrüzyon koşullarının hidrolitik enzimleri inaktive ederek oda koşullarında daha uzun depolanmasını sağlamaktadır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde %30 BUKEMÇ üstün özelliklere sahip ekstrüde çerez olmuştur.

Ruşeym katkılı ekstrüde mısır çerezi (RKEMÇ) üretiminde Merkezi Kompozit Tasarımı-Yanıt Yüzey Metodu (MKT-YYM) yöntemi kullanılarak deneme deseni oluşturulmuştur. Deneme deseninde her bir çalışma deseni için birer kilogramlık karışımlar hazırlanmıştır. Kalıp sıcaklığı (110, 120, 130, 140 ve 150 °C), nem içeriği (%12, 14, 16, 18 ve 20), ruşeym oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40) ve mısır nişastası oranı (%0, 10, 20, 30 ve 40) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Sertlik (N), kırılgenlik (N x s), gevreklik (pik sayısı), genleşme oranı, görünür yoğunluk (g/cm³) ve gözeneklilik değerleri yanıt (responses) olarak kabul edilmiştir. MKT-YYM deneme deseninde elde edilen verilere göre en düşük sertlik, en yüksek gevreklik, kırılgenlik ise sertlik ve gevreklik ile uyumlu, en yüksek genleşme oranı, en düşük görünür yoğunluk ve en yüksek gözeneklilik hedeflenerek Design-Expert® programında modellenmiştir. RKEMÇ üretiminde tekstür özelliklerini belirlemede kullanılan sertlik, gevreklik ve kırılgenlik için ikinci dereceden modelin önemli olduğu (p<0.01) saptanmıştır.

RKEMÇ'lerin sertliği, kırılgenliği ve gevrekliği 97.60-367.62 N, 528.94-2405.93 (Nxs) ve 27-138.33 (pik sayısı) arasında değişmektedir. RKEMÇ'lerin sertliği, kırılgenliği ve gevrekliği üzerinde nem içeriği, ruşeym oranı ve mısır nişastası oranının etkileri önemli (p<0.05) bulunmuştur. Kalıp sıcaklığının kırılgenlik ve gevreklik üzerine etkisi önemli (p<0.05) bulunmuştur.

RKEMÇ üretiminde fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik için en uygun ikinci derece modelin önemli (p<0.01) olduğu belirlenmiştir. Genleşme oranı, görünür yoğunluk ve gözeneklilik değerleri için geliştirilen tüm modeller ise uyumlu çıkmıştır (p>0.05). RKEMÇ'lerin genleşme oranları, görünür yoğunluk ve gözeneklilik 1.74-3.52, 0.15-0.77 ve 0.53-0.90 arasında değişmiştir. Ürün genleşme özelliklerine nem içeriği, ruşeym oranı ve mısır nişastası oranının etkisi önemli (p<0.05) bulunmuştur. Görünür yoğunluk ve gözeneklilik üzerine kalıp sıcaklığının etkisi önemli (p<0.05) bulunmuştur.

RKEMÇ için MKT-YYM kullanılarak ekstrüzyon koşulları ve karışım miktarı optimize edilmiş, belirlenen şartlarda (kalıp sıcaklığı 140 °C, nem içeriği %14.98; ruşeym oranı %16 ve mısır nişastası oranı %30) en iyi tekstürel ve fiziksel özelliklere

sahip RKEMÇ üretimi gerçekleştirilmiştir. RKEMÇ için YYM'unda tahminlenen tekstür ve fiziksel analiz sonuçları doğrulama denemelerinin sonuçları ile uyumlu ve istatistiksel olarak farksız ($p>0.05$) çıkmıştır.

Ekstrüde mısır çerezlerine ruşeym ilavesi RKEMÇ'lerin (%16, 18, 20, 22 ve 24) kül ve protein miktarlarının artmasına sebep olmuştur. Yağ miktarında ruşeym katkılama oranının artmasına bağlı olarak bir artış meydana gelmesine rağmen, genel olarak hammadde ile karşılaştırıldığında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Daha önce bahsedildiği üzere bu durum lipitlerin karbonhidratlarla ve proteinlerle oluştuğu komplekslerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan mısır nişastasası da RKEMÇ'lerin kimyasal özelliklerinin beklenen düzeyde iyileşmemesine sebep olabileceği düşünülmektedir.

Ruşeym ilavesi fitik asit miktarında genel olarak bir artışa sebep olmuştur. Hammadde ile karşılaştırıldığında RKEMÇ'lerin fitik asit miktarında ekstrüzyon koşullarında azalma meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere bu durum ekstrüzyon sırasında meydana gelen yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvvetinden kaynaklanacağı gibi, bileşik olarak bulunan myoinositol 1,2,3,4,5,6-heksakis dihidrojen fosfatın termal bozunması sonucu daha düşük molekül ağırlıklı formlara dönüşmesi veya kimyasal olarak parçalanmasıyla meydana gelebileceğinden düşünülmektedir.

Ekstrüde çerez üretiminde kullanılan ruşeym miktarının artırılması çerezlerin toplam fenolik madde miktarı, antioksidan kapasite ve TEAC değerinin artmasını sağlamıştır.

Ruşeym ilavesi ekstrüde mısır çerezlerinin çözünmez, çözünebilir ve toplam diyet lifi içeriğini hammaddeye göre artış sağlamış ancak farklı oranlarda kullanımı çözünmez diyet lifi içeriğinde bir miktar artışa sebep olurken, çözünebilir diyet lifi miktarındaki etkisi daha sınırlı olmuştur. Özellikle ruşeym oranının artmasına rağmen %24 RKEMÇ'inin çözünebilir diyet lifi miktarında azalma meydana gelmiştir. Toplam diyet lifi miktarı ise ruşeym oranının artmasından etkilenmemiş elde edilen değerler aynı grupta yer almıştır

Ruşeym, mısır irmiğine göre Fe, K, Mg, P, Se ve Zn miktarları bakımından oldukça üstün özelliklere sahiptir. Hammadde ile karşılaştırıldığında, mısır çerezlerine ruşeym ilave edilmesinin ekstrüde mısır çerezlerinin Fe, K, Mg, P, Se ve Zn miktarlarını geliştirdiği görülmektedir.

Ekstrüde mısır çerezine ruşeym ilave edilmesi panelistler tarafından beğenilmiştir. Ruşeyme bu çalışmada herhangi bir stabilizasyon işlemi

uygulanmamasına rağmen oda koşullarında 90 gün boyunca rahatlıkla depolanmıştır. Bu durum ekstrüzyon işleminin iyi bir stabilizasyon aracı olduğunu göstermektedir. Tüm analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise %20 RKEMÇ en çok tercih edilen ürün olmuştur.

5.2. Öneriler

1. Bonkalite un ve ruşeymin yüksek oranlarda kullanımı ekstrüde çerezlerin tekstürel ve fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemiştir. RKEMÇ'lerde kullanılan mısır nişastasası bu durumu kısmen düzeltmiştir. Farklı katkı maddeleri kullanılarak ürün özelliklerinin geliştirilmesi üzerine daha çok çalışma yapılabilir.

2. Bonkalite un değirmencilik yan ürünü olarak ortaya çıkan, besleyici ve fonksiyonel özellikleri tam anlaşılammış bir üründür. Bonkalite un ile yapılan çalışmalar çok sınırlı olup özellikle kimyasal kompozisyonu üzerinedir. Bonkalite unun farklı ürün gruplarında (kek, bisküvi, yufka ve mayalı gibi) kullanım imkânının artırılması üzerine daha çok çalışma yapılabilir.

3. Ekstrüde mısır çerezlerin düşük lif ve zayıf besinsel, duyuşsal özellikleri nedeniyle çerez tüketiminin arttığı toplumlarda çocukların ve gençlerin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Bu durum son yıllarda daha sağlıklı ve besleyici özellikte gıdalara olan ilgiyi artırmıştır. Çocukların ve gençlerin gelişimine katkı sağlayacak farklı atıştırmalık gıdalar (kahvaltılık gevrek gibi) besleyici ve fonksiyonel özellikleri bakımından zengin bonkalite un ve ruşeym kullanılarak geliştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Balentić, J. P. and Šubarić, D., 2018, Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 517-524.
- Adhikari, K., Cole, A., Grün, I., Heymann, H., Hsieh, F. H. and Huff, H., 2009, Physical and sensory characteristics of processed cheeses manufactured by extrusion technology, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1428-1433.
- Agbisit, R., Alavi, S., Cheng, E., Herald, T. and Trater, A., 2007, Relationships between microstructure and mechanical properties of cellular cornstarch extrudates, *Journal of Texture Studies*, 38(2), 199-219.
- Akbaş, Ö., 2010, Farklı kepek fraksiyonlarından hazırlanan un paçalarının değişik depolama koşullarında hamur ve ekmek özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aktaş, K., Bilgiçli, N. and Levent, H., 2015, Influence of wheat germ and β -glucan on some chemical and sensory properties of Turkish noodle, *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 6055-6060.
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H. and Gupta, K., 2015, Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445-473.
- Al-Kahtani, H. A., 1989, Studies of Saudi Arabian locally produced wheat germ, *Food Chemistry*, 34(2), 121-130.
- Alonso, R., Aguirre, A. and Marzo, F., 2000, Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in feba and kindey beans, *Food Chemistry*, 68, 159-165
- Alonso, R., Rubio, L. A., Muzquiz, M. and Marzo, F., 2001, The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals, *Animal Feed Science and Technology*, 94(1-2), 1-13.
- Alonso-Coello, P., Mills, E. D., Heels-Ansdell, D., López-Yarto, M., Zhou, Q., Johanson, J. F. and Guyatt, G., 2006, Fiber for the treatment of hemorrhoids complications: a systematic review and meta-analysis, *American Journal of Gastroenterology*, 101(1), 181-188.
- Altan, A., 2008, Production and properties of snack foods developed by extrusion from composite of barley, and tomato and grape pomaces, Ph.D. Dissertation, *University of Gaziantep, Food Engineering Department*, Gaziantep.

- Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M., 2008, Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing, *Journal of Food Engineering*, 84(2), 231-242.
- Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M., 2008, Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(9), 1648-1659.
- Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M., 2008, Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions, *Journal of Food Engineering*, 89(1), 24-32.
- Álvarez, P., Alvarado, C., Mathieu, F., Jiménez, L. and De la Fuente, M., 2006, Diet supplementation for 5 weeks with polyphenol-rich cereals improves several functions and the redox state of mouse leucocytes, *European Journal of Nutrition*, 45(8), 428-438.
- Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P. and Harper, J. M., 1988, A general model for expansion of extruded products, *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615.
- Anal, A., 2018, *Food Processing By-products and Their Utilization*, John Wiley and Sons, Incorporated.
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., ... and Williams, C. L., 2009, Health benefits of dietary fiber, *Nutrition Reviews*, 67(4), 188-205.
- Andersson, Y., Hedlund, L. and Svensson, S., 1981, Extrusion of a high fiber cereal product with crisp bread character, *Cereal Chemistry*. 58(5), 370–374.
- Anonim, 2000a, American Association of Cereal Chemists, Approved methods of the AACC, 10th ed., St. Paul, MN, USA.
- Anonim, 2000b, AOAC Official Method. Association of Official Agricultural Chemists, by the United States Department of Agriculture.
- Anonim, 2012, Bonkalite kullanıldığı alanlar, <http://www.caglayanlarun.com/tr/219/Bonkalite>, [Ziyaret Tarihi: 21 Mart 2020].
- Anonim, 2017, 30 Milyar Dolarlık Cips Pazarı Doğdu, *Doğuştan*, 12-13s.
- Anonim, 2020, Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, [Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2020].
- Anton, A. A., Fulcher, R. G. and Arntfield, S. D., 2009, Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking, *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.

- Aravind, N., Sissons, M., Egan, N. and Fellows, C., 2012, Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti, *Food Chemistry*, 130(2), 299-309.
- Arcila, J. A., Weier, S. A., and Rose, D. J., 2015, Changes in dietary fiber fractions and gut microbial fermentation properties of wheat bran after extrusion and bread making, *Food Research International*, 74, 217-223.
- Arshad, M. U., Anjum, F. M. and Zahoor, T., 2007, Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ, *Food Chemistry*, 102(1), 123-128.
- Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E. and Afoakwa, E. O., 2004, Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice–cowpea–groundnut blends, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5), 431-439.
- Athar, N., Hardacre, A., Taylor, G., Clark, S., Harding, R. and McLaughlin, J., 2006, Vitamin retention in extruded food products, *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4), 379-383.
- Baik, B. K., Powers, J. and Nguyen, L. T., 2004, Extrusion of regular and waxy barley flours for production of expanded cereals, *Cereal Chemistry*, 81(1), 94-99.
- Balandrán-Quintana, R. R., Mercado-Ruiz, J. N. and Mendoza-Wilson, A. M., 2015, Wheat bran proteins: a review of their uses and potential, *Food Reviews International*, 31(3), 279-293.
- Bao, J. and Bergman, C. J., 2004, The functionality of rice starch, starch in: Food: Structure, Function and Application, A. C. Eliasson (Ed.), pp. 258–294, Woodhead Publishing, Cambridge.
- Barrett, A. H. and Ross, E. W., 1990, Correlation of extrudate infusibility with bulk properties using image analysis, *Journal of Food Science*, 55(5), 1378-1382.
- Bartnik, M. and Jakubczyk, T., 1989, Chemical composition and the nutritive value of wheat bran, *Nutritional Value of Cereal Products, Beans and Starches*, 60, 92-131.
- Bhatnagar, S. and Hanna, M. A., 1994, Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches, *Cereal Chemistry*, 71(6), 582-586.
- Bhattacharya, S., 2011, Raw materials for extrusion of foods, *Advances in Food Extrusion Technology*, 69-87.
- Bilgiçli, N., 2002, Fitik asitin beslenme açısından önemi ve fitik asit miktarı düşürülmüş gıda üretim metotları, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 16(30), 79-83.
- Bilgiçli, N., Elgün, A., Herken, E. N., Ertaş, N. and İbanoğlu, Ş., 2006, Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a

- fermented wheat flour-yoghurt product, *Journal of Food Engineering*, 77(3), 680-686.
- Bilgiçli, N. and İbanoğlu, Ş., 2007, Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity, phytic acid content and color of tarhana, a wheat flour–yoghurt mixture, *Journal of Food Engineering*, 78, 681-686.
- Bilgiçli N. and Levent H., 2013, Improvement of nutritional properties of cake with wheat germ and resistant starch, *Journal of Food and Nutrition Research*, 52(4), 210-218.
- Brandolini, A. and Hidalgo, A., 2012, Wheat germ: not only a by-product, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63 (sup1), 71-74.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. L. W. T., 1995, Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E. and Tiwari, B. K., 2011, Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods, *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570-575.
- Brennan, J. G. and Grandison, A. S., 2006, Food processing handbook.
- Brewer, L.R., Kubola, J., Siriamornpun, S., Herald, T.J. and Shi, Y.C., 2014, Wheat bran particle size influence on phytochemical extractability and antioxidant properties, *Food Chemistry*, 152, 483–490.
- Brouns, F., Hemery, Y., Price, R. and Anson, N.M., 2012, Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 553-568.
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W. and Sacks, F. M., 1999, Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(1), 30-42.
- Camire, M. E., Zhao, J. and Violette, D. A., 1993, In vitro binding of bile acids by extruded potato peels, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(12), 2391-2394.
- Camire, M. E., 1998, Chemical changes during extrusion cooking. In process-induced chemical changes in food (pp. 109-121). *Springer*, Boston, MA.
- Camire, M. E., 2000, Chemical and nutritional changes in food during extrusion, *Extruders in Food Applications*, 127-147.
- Cankurtaran, T. ve Bilgiçli, N. 2019, Farklı depolama sürelerinin dolgulu yaş makarnanın bazı kalite özellikleri üzerine etkisi, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(4), 451-462.

- Casas, G. A., Rodriguez, D. A. and Stein, H. H., 2018, Nutrient composition and digestibility of energy and nutrients in wheat middlings and red dog fed to growing pigs, *Journal of Animal Science*, 96(1), 215-224.
- Chanvrier, H., Appelqvist, I. A., Bird, A. R., Gilbert, E., Htoon, A., Li, Z. ... and Topping, D. L., 2007, Processing of novel elevated amylose wheats: functional properties and starch digestibility of extruded products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(25), 10248-10257.
- Cheftel, J. C., 1986, Nutritional effects of extrusion-cooking, *Food Chemistry*, 20(4), 263-283.
- Chen, T., Palmer, L. R., Fenske, D. B., Lam, A. M., Wong, K. F., and Cullis, P. R., 2004, Distal cationic poly (ethylene glycol) lipid conjugates in large unilamellar vesicles prepared by extrusion enhance liposomal cellular uptake, *Journal of Liposome Research*, 14(3-4), 155-173.
- Chessari, C. J. and Sellahewa, J. N., 2001, Effective process control. Edited by Guy, R., Extrusion cooking, technologies and applications, *CRC Pres Inc.*, FL, USA, pp.83-107.,
- Chinnaswamy, R. and Hanna, M. A., 1988, Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch, *Journal of Food Science*, 53(3), 834-836.
- Choton, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Anjum, N. and Choudary, A. 2020. Extrusion technology and its application in food processing: A review, *The Pharma Innovation Journal*, 9(2), 162-168.
- Choudhury, G. S. and Gautam, A., 2003, Hydrolyzed fish muscle as a modifier of rice flour extrudate characteristics, *Journal of Food Science*, 68(5), 1713-1721.
- Colonna, P., 1989, Extrusion cooking of starch and starchy products, *Extrusion Cooking*, 247-319.
- Conti-Silva, A. C., Menis-Henrique, M. E. C. and Janzantti, N. S., 2017, Identification of sensory and non-sensory factors involved in food consumption: A study with extruded corn-based snacks, *Journal of Sensory Studies*, 32(6), 1-8.
- Cornell, H., 2003, The chemistry and biochemistry of wheat, In: cauvain, S. (Ed), Bread making, improving quality, Cambridge: Woodhead publishing limited, p. 31-66.
- Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G. and Vittadini, E., 2013, Effect of the addition of bran fractions on bread properties, *Journal of Cereal Science*, 57, 325-332.
- Çakır, N., 2018, Bazı değirmencilik yan ürünlerinin kek üretiminde kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Çelik, K., Ertürk, M. M. ve Ersoy, İ. E., 2003, Farklı yem fabrikalarından örneklenen karma yem ve yem ham maddelerinde bazı kalite öğelerinin kantitatif araştırılması, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 161-168.
- Çetinyürek, F., 2012, Buğday ruşeymi ve buğday ruşeym yağının antioksidan parametrelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın.
- Dapčević-Hadnađev, T., Hadnađev, M., and Pojić, M., 2018, The healthy components of cereal by-products and their functional properties, in: Sustainable recovery and reutilization of cereal processing by-products, pp. 27-61, Woodhead Publishing, Cambridge.
- Dar, A. H., Sharma, H. K. and Kumar, N., 2014, Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 212-222.
- Dar, B. N., Sharma, S. and Nayik, G. A., 2016, Effect of storage period on physiochemical, total phenolic content and antioxidant properties of bran enriched snacks, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(4), 755-761.
- Davidson, V. J., Paton, D., Diosady, L. L. and Rubin, L. J., 1984, A model for mechanical degradation of wheat starch in a single-screw extruder, *Journal of Food Science*, 49(4), 1154-1157.
- De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A. and Severini, C., 2008, Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour, *Journal of Food Engineering*, 87(4), 495-504.
- De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K. and Severini, C., 2011, Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 610-616.
- De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K. and Severini, C., 2012, Starch–lipid complex formation during extrusion-cooking of model system (rice starch and oleic acid) and real food (rice starch and pistachio nut flour), *European Food Research and Technology*, 234(3), 517-525.
- De Pilli, T. and Alessandrino, O., 2020, Effects of different cooking technologies on biopolymers modifications of cereal-based foods: Impact on nutritional and quality characteristics review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4), 556-565.
- Delcour, J. A. and Hosney, R. C., 2010, Principles of Cereal Science and Technology. (3rd ed.). *AACC International*: St. Paul, MN, USA.
- Delgado, E., Vences-Montaño, M., Rodríguez, J. H., Rocha-Guzmán, N., Rodríguez-Vidal, A., Herrera-Gonzalez, S., Medrano-Roldan, H., Solís-Soto, A. and Ibarra-

- Perez, F., 2012. Inhibition of the growth of rats by extruded snacks from bean (*Phaseolus vulgaris*) and corn (*Zea mays*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(3), 255.
- Demir, M. K., Bilgiçli, N., Türker, S. ve Demir, B., 2019, Farklı stabilizasyon işlemleri uygulanmış buğday ruşeymlerinin depolama özellikleri, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 67-75.
- Devi, B. K., Kuriakose S. P., Krishnan, A., Choudhary, P. Rawson, A., 2016, Utilization of by-product from tomato processing industry for the development of new product, *Journal of Food Processing and Technology*, 7, 608.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H., 2005, The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 66(3), 283-289.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G. and Marson, H., 2006, The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148.
- Dlamini NR, Taylor J. R. N. and Rooney L. W., 2007, The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods, *Food Chemistry* 105: 1412–1419.
- Doğan, F., 2014, Nohut bazlı ekstrüde ürünlerin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 112 s. Mersin.
- Doğan, H., and Karwe, M. V., 2003, Physicochemical properties of quinoa extrudates, *Food Science and Technology International*, 9(2), 101-114.
- Dongh, H., Zhang, J., Hou, H., and Dai, Y., 2012, Effects of bran, shorts and feed flour by ultra-fine grinding on rheological characteristics of dough and bread qualities, *African Journal of Biotechnology*, 11(15), 3631-3639.
- Dubois, M., Geddes, W. F. and Smith, F., 1960, The carbohydrates of the Gramineae, 10, A quantitative study of the carbohydrates of wheat germ, *Cereal Chemistry*, 37, 557-568.
- Duizer, L. M. and Winger, R. J., 2006, Instrumental measures of bite forces associated with crisp products, *Journal of Texture Studies*, 37(1), 1-15.
- Dunford, N. T. and Zhang, M., 2003, Pressurized solvent extraction of wheat germ oil, *Food Research International*, 36(9-10), 905-909.
- Duță, D. E., Culețu, A. and Mohan, G., 2018, Reutilization of cereal processing by-products in bread making, *In Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*, pp. 279-317.
- Elgün, A. ve Ertugay, Z., 1995, Tahıl İşleme Teknolojisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 718, 376.

- Elgün, A., 2004a., Tahıl İşleme Teknolojisi (ders notları), *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü*, Konya.
- Elgün A., 2004b, Öğütme Teknolojisi I ve II, Yayınlanmamış ders notları, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Konya.
- Elgün A ., Artık, N., Kıvanç M. ve Poyrazoğlu E. S., 2010, Bitkisel Ürünlerin Kalite Kontrolü. 9. Ünite Un Değirmenciliği ve Un Kalitesi, *Anadolu Üniversitesi Web Ofset Tesisleri*, Eskişehir.
- Elliott, D. C., Orth, R. J., Gao, J., Werpy, T. A., Eakin, D. E., Schmidt, A. J. and Neuenschwander, G. G., 2002, Biorefinery concept development based on wheat flour milling, *Fuel Chemistry Division Preprints*, 47(1), 361-362.
- Ertop, M. H., Kutluk, K., Çoşkun, K. ve Canlı, S., 2016, Gıda endüstrisi yan ürünleri kullanımıyla cips üretimine yeni bir yaklaşım: zenginleştirilmiş gluten cipsi, *Akademik Gıda*, 14(4), 398-406.
- Ezejiofor, T. I. N., Enebaku U. E., and Ogueke, C., 2014, Waste to wealthvalue recovery from agro-food processing wastes using biotechnology: a review, *British Biotechnology Journal*, 4, 418–481.
- Fairweather-Tait, S. J., Portwood, D. E., Symss, L. L., Eagles, J. and Minski, M. J., 1989, Iron and zinc absorption in human subjects from a mixed meal of extruded and nonextruded wheat bran and flour, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 49(1), 151-155.
- Falade, K. O., Offiah, V. and Kontogiorgos, V., 2019, Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(18), 2979-2998.
- Falcone, R. G. and Phillips, R. D., 1988, Effects of feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snack-like products prepared from cowpea and sorghum flours by extrusion, *Journal of Food Science*, 53(5), 1464-1469.
- Fardet, A., 2010, New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?, *Nutrition Research Reviews*, 23(1), 65-134.
- Faubion, J. M. and Hoseneý, R. C., 1982a, High-temperature shorttime extrusion cooking of wheat starch and flour. I., Effect of moisture and flour type on extrudate properties, *Cereal Chemistry*, 59, 529–533.
- Faubion, J. M. and Hoseneý, R. C., 1982b, High-temperature short time extrusion cooking of wheat starch and flour. II. Effect of protein and lipid on extrudate properties, *Cereal Chemistry*, 59, 533–537.
- Fellows, P., 2012, *Extrusion of Foods*. Practical Action Technology Challenging Poverty, United Kingdom.

- Fleischman, E. F., Kowalski, R. J., Morris, C. F., Nguyen, T., Li, C., Ganjyal, G. and Ross, C. F., 2016, Physical, textural, and antioxidant properties of extruded waxy wheat flour snack supplemented with several varieties of bran, *Journal of Food Science*, 81(11).
- Fletcher, S. I., Richmond, P. and Smith, A. C., 1985, An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits, *Journal of Food Engineering*, 4(4), 291-312.
- Frame, N. D., 1994, Operational characteristics of the co-rotating twin-screw extruder, *In The Technology Of Extrusion Cooking* ed. N.D. Frame, Blackie Academic and Professional, Glasgow, 1–51.
- Frohlich, P., G. Boux. and L. Malcolmson., 2012, Effect of fiber enrichment level and fiber particle size on the extrusion properties of split yellow pea flour, *AACC International Annual Meeting*, 30 September – 3 October 2012, Florida.
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K. and Herald, T., 2008, Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: Dietary fiber profile and sensory characteristics, *Journal of Food Science*, 73(4), 173-179
- Gallardo, C., Jimenez, L. and Garcia-Conesa, M. T., 2006, Hydroxycinnamic acid composition and in vitro antioxidant activity of selected grain fractions, *Food Chemistry*, 99(3), 455-463.
- Ge, Y., Sun, A., Ni, Y. and Cai, T., 2001, Study and development of a defatted wheat germ nutritive noodle, *European Food Research and Technology*, 212(3), 344-348.
- Geetha, R., Mishra, H. N. and Srivastav, P. P., 2014, Twin screw extrusion of kodo millet-chickpea blend: process parameter optimization, physico-chemical and functional properties, *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3144-3153.
- Gomez, M. H. and Aguilera, J. M., 1983, Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn, *Journal of Food Science*, 48(2), 378-381.
- Gómez, M., González, J. and Oliete, B., 2012, Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality, *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2409-2418.
- Grandison, A. S. and Brennan, J. G., 2012, *Food Processing Handbook*, United Kingdom: John Wiley and Sons.
- Grasso, S., 2020, Extruded snacks from industrial by-products: A review, *Trends in Food Science and Technology*, 99, 284-294.
- Guha, M. and Ali, S. Z., 2006, Extrusion cooking of rice: Effect of amylose content and barrel temperature on product profile, *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(6), 706-716.

- Gulla, S. and Waghray, K., 2012, Blending of oils: A case study on storage stability and sensory characteristics of a ready to eat extruded snack, *Journal of Nutrition and Food Science*, 2(1), 1-12.
- Gumul, D., Ziobro, R., Ziğba, T. and Roj, E., 2011, The influence of addition of defatted blackcurrant seeds on pro-health constituents and texture of cereal extrudates, *Journal of Food Quality*, 34(6), 395-402.
- Gumus, Z. P., Guler, E., Demir, B., Barlas, F. B., Yavuz, M., Colpankan, D., ... and Timur, S., 2015, Herbal infusions of black seed and wheat germ oil: Their chemical profiles, in vitro bio-investigations and effective formulations as phyto-nanoemulsions, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 133, 73-80.
- Guy, R. C. E., 1994, Raw materials for extrusion cooking processes, *In the Technology of Extrusion Cooking* (pp. 52-72), Springer, Boston, MA.
- Guy, R. E., 2001, Raw materials for extrusion cooking. *In Extrusion Cooking: Technologies. and Applications*, ed. R.C.E. Guy, 5–28. Cambridge, England: Woodhead publishing.
- Güven, M. ve Kara, H. H., 2015, Some chemical and physical properties, fatty acid composition and bioactive compounds of wheat germ oils extracted from different wheat cultivars, *Journal of Agricultural Sciences*, 22, 433-443.
- Han, Y. J. And Tran, T. T. T., 2018, Corn snack with high fiber content: effects of different fiber types on the product quality, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 96, 1-6.
- Haridas Rao, P., Kumar, G. V., Ranga Rao, G. C. P. and Shurpalekar S. R., 1980, Studies on stabilization of wheat germ, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 13, 302-307.
- Harper, J. M., 1981, *Extrusion of Foods*, vol. 2, CRC Press. Boca Raton, FL.
- Harper, J. M., 1986, Processing characteristics of food extruders, *Food Engineering and Process Applications*, 2, 101-114. , Unit Operations, ed. M.L. Mauger, P. Jelem, Elsevier Applied Science, London.
- Harper, J. M., 1989, Food extruders and their applications, C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper (Eds.) *Extrusion cooking*, 1-15, American Association of Cereal Chemists, MN, USA.
- Hashimoto, J. M. and Grossmann, M. V. E., 2003, Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates, *International Journal of Food Science and Technology*, 38(5), 511-517.
- Hauck, B.W., 1994, An overview of single screw cooking extruder ¶, The Center for Professional Advancement.

- Hauck, B. W., 1994, An Overview of single screw cooking, *American Association of Cereal Chemists*, 1-15, MN, USA.
- Haug, W. and Lantsch, H. J., 1983, Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereals product, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 1423-1426.
- Heaney R. P., Weaver C. M. and Fitzsimmons M. L. 1991, Soybean phytate content: effect on calcium absorption, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 745-747.
- Heldman, D. R. and Hartel, R. W., 1997, Principles of food processing, *Springer Science and Business Media*, Chapman and Hall, New York.
- Helkar, B. P., Sahoo, A. K. and Patil, N. J., 2016, Review: Food industry byproducts used as a functional food ingredients, *International Journal of Waste Resources*, 6, 248.
- Hemdane, S., Leys, S., Jacobs, P. J., Dornez, E., Delcour, J. A. and Courtin, C. M., 2015, Wheat milling by-products and their impact on bread making, *Food Chemistry*, 187, 280-289.
- Hill, F. W., Anderson, D. L., Renner, R. and Carew Jr, L. B., 1960, Studies of the metabolizable energy of grain and grain products for chickens, *Poultry Science*, 39(3), 573-579.
- Hoseney, R. C., 1986, Principles of Cereal Science and Technology. A.A.C.C. Inc.
- Hossain, K., Ulven, C. and Glover, K., 2013, Interdependence of cultivar and environment on fibre composition in wheat bran, *Australian Journal of Crop Science*, 7, 525-531.
- Hsieh, F., Huff, H. E., Lue, S. and Stringer, L., 1991, Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 24(6), 495-500.
- Hsieh, F., Mulvaney, S. J., Huff, H. E., Lue, S. and Brendt J. R., J., 1989, Effect of dietary fiber and screw speed on some extrusion processing and product variables, *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 22(4), 204-207.
- Ilo, S. and Berghofer, E., 1999, Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits, *Journal of Food Engineering*, 39(1), 73-80.
- Janicki, J., Warchalewski, J., Skupin, J. and Kowalczyk, J., 1970, Trypsin inhibitors of plant origin, *Postepy Biochemii*, 16(1), 101-118.
- Janssen, L. P. B.M. 1993, Extrusion Cooking— Principals and Practice, in *Encyclopedia of Food Science Food Technology and Nutrition*, ed. R. Macrae, R. K. Robinson, M. J. Sadler, Academic Press, London, 1700-1705.

- Javed, M. M., Zahoor, S., Shafaat, S., Mehmooda, I., Gul, A., Rasheed, H., ... and Aftab, M. N., 2012, Wheat bran as a brown gold: nutritious value and its biotechnological applications, *African Journal of Microbiology Research*, 6(4), 724-733.
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. and Bawa, A. S., 2012, Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 278-293.
- Jenkins, A. L., Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Rogovik, A. L., Jovanovski, E., Božikov, V., ... and Vuksan, V., 2008, Comparable postprandial glucose reductions with viscous fiber blend enriched biscuits in healthy subjects and patients with diabetes mellitus: acute randomized controlled clinical trial, *Croatian Medical Journal*, 49(6), 772.
- Jin, Z., Hsieh, F. and Huff, H. E., 1995, Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate, *Journal of Cereal Science*, 22(2), 185-194.
- Jozinović, A., Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Babić, J., Pajin, B., Miličević, B., ... and Šubarić, D., 2019, Cocoa husk application in the enrichment of extruded snack products, *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(2).
- Kahlon T., 1989, Nutritional implications and uses of wheat and oat kernel oil, *Cereal Food World*, 34, 872-875.
- Karaman, M., and Erdemir, S., 2018, Kanatlı hayvanların beslenmesinde kullanılan bazı karma yemlerin kimyasal kompozisyonunun near infrared reflektans spektroskopisi (NIRS) ile belirlenmesi, *Black Sea Journal of Agriculture*, 1(2), 24-28.
- Karwe, M. V., 2009, Food extrusion. *Food Engineering-Volume III*, 226.
- Kasapidou, E., Sossidou, E. and Mitlianga, P., 2015, Fruit and vegetable co-products as functional feed ingredients in farm animal nutrition for improved product quality, *Agriculture*, 5(4), 1020-1034.
- Kasprzak, K., Oniszczyk, T., Wojtowicz, A., Waksmundzka-Hajnos, M., Olech, M., Nowak, R., ... and Oniszczyk, A., 2018, Phenolic acid content and antioxidant properties of extruded corn snacks enriched with kale, *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1-7.
- Kasum, C. M., Jacobs Jr, D. R., Nicodemus, K. and Folsom, A. R., 2002, Dietary risk factors for upper aerodigestive tract cancers, *International Journal of Cancer*, 99(2), 267-272.
- Kataria, A., Chauhan, B. and Punia, D., 1989, Antinutrients and protein digestibility (*in vitro*) of mungbean as affected by domestic processing and cooking, *Food Chemistry*, 32(1), 9-17.

- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S. and Dar, B. N., 2012, Functional properties of pasta enriched with variable cereal bran, *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 467-474.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B. and Dar, B. N., 2015, Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal bran, *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1670-1676.
- Kies C., 1985, Effect of dietary fat and fibre and calcium bioavailability. In: Kies C, editor. Nutritional bioavailability of calcium, *ACS Symposium Series 275*, Washington, DC: American Chemical Society. pp 175–187.
- Kim, K. H., Tsao, R., Yang, R. and Cui, S. W., 2006, Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions, *Food Chemistry*, 95(3), 466-473.
- Kim, Y., Flores, R., Chung, O. and Bechtel, D., 2003, Physical, chemical, and thermal characterization of wheat flour milling coproducts. 1, 2, *Journal of Food Process Engineering*, 26(5), 469-488.
- Kokini, J. L., Chang, C. N. and Lai, L. S., 1992, The role of rheological properties on extrudate expansion, *Food Extrusion Science and Technology*, 7(4), 631-652.
- Kothakota, A., Jindal, N. and Thimmaiah, B., 2013, A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products, *African Journal of Food Science*, 7(12), 485-497.
- Köksel, H., Ryu, G. H., Özboy-Özbas, Ö., Basman, A. and Ng, P. K. W., 2003, Development of a bulgur-like product using extrusion cooking, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(7), 630-636.
- Kumar, G. S., and Krishna, A. G., 2015, Studies on the nutraceuticals composition of wheat derived oils wheat bran oil and wheat germ oil, *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 1145-1151.
- Larrea, M. A., Chang, Y. K. and Bustos, F. M., 2005, Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp, *Food Chemistry*, 89(2), 301-308.
- Larsson M, Hulthen L, Sandstrom B. and Sandberg A. S., 1996, Improved zinc and iron absorption from breakfast meals containing malted oats with reduced phytate content, *British Journal of Nutrition*, 76:677–688.
- Lattimer, J. M. and Haub, M. D., 2010, Effects of dietary fiber and its components on metabolic health, *Nutrients*, 2(12), 1266-1289.
- Launay, B. and Lisch, J. M., 1983, Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates, *Journal of Food Engineering*, 2(4), 259-280.

- Lawton, J. W., Davis, A. B. and Behnke, K. C., 1985, High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction, *Cereal Chemistry*, 62(4), 267-271.
- Lazou, A. and Krokida, M., 2010, Structural and textural characterization of corn lentil extruded snacks, *Journal of Food Engineering*, 100, 392–408.
- Le Meste, M., Champion, D., Roudaut, G., Blond, G. and Simatos, D., 2002, Glass transition and food technology: A critical appraisal, *Journal of Food Science* 67, 2444–2458.
- Levent, H. and Bilgiçli, N., 2013, Quality evaluation of wheat germ cake prepared with different emulsifiers, *Journal of Food Quality*, 36 (5), 334-341.
- Levic, J., 2010. Extrusion technology in feed and food processing. In *2nd Workshop Feed-to- Food FP7 REGPOT-3, Thematic Proceedings. Novi Sad, Serbia, 19-21 October, 2010*. Novi Sad: Institute for Food Technology.
- Likes, R., Madl, R. L., Zeisel, S. H. and Craig, S. A., 2007, The betaine and choline content of a whole wheat flour compared to other mill streams, *Journal of Cereal Science*, 46(1), 93.
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H. and Huff, H. E., 2000, Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff, *Journal of Food Science*, 65(7), 1253-1259.
- Liyana-Pathirana C. M. and Shahidi F., 2007, The antioxidant potential of milling fractions from bread, wheat and durum, *Journal of Cereal Science*, 45, 238–247.
- Lobato, L. P., Anibal, D., Lazaretti, M. M. and Grossmann, M. V. E., 2011, Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour, *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 933-939.
- Lohani, U. C. and Muthukumarappan, K., 2017, Process optimization for antioxidant enriched sorghum flour and apple pomace based extrudates using liquid CO₂ assisted extrusion, *LWT-Food Science and Technology*, 86, 544-554.
- Lue, S., Hsieh, F. and Huff, H.E., 1991, Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: Effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content, *Cereal Chemistry*, 68(3), 227-234.
- Luthria, D. L., Lu, Y. and John, K. M., 2015, Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties, *Journal of Functional Foods*, 18, 910-925.
- Maes C. and Delcour J. A., 2002, Structural characterisation of water extractable and water unextractable arabinoxylans in wheat bran, *Journal of Cereal Science*, 35, 315–326.

- Maga, J.A. and Sizer, C. E., 1978, Ascorbic acid and thiamine retention during extrusion of potato flakes, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 11, 192–194.
- Mahmoud, A. A., Mohdaly, A. A. and Elneairy, N. A., 2015, Wheat germ: an overview on nutritional value, antioxidant potential and antibacterial characteristics, *Food and Nutrition Sciences*, 6(2), 265.
- Majzoobi, M., Darabzadeh, N. and Farahnaky, A., 2012, Effects of percentage and particle size of wheat germ on some properties of batter and cake, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 827-836.
- Majzoobi, M., Farhoodi, S., Farahnaky, A. and Taghipour, M. J., 2012, Properties of dough and flat bread containing wheat germ, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1053-1065.
- Makowska, A., Polcyn, A., Chudy, S. and Michniewicz, J., 2015, Application of oat, wheat and rye bran to modify nutritional properties, physical and sensory characteristics of extruded corn snacks, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14(4), 375-386.
- Marti, A., Torri, L., Casiraghi, M. C., Franzetti, L., Limbo, S., Morandin, F., ... and Pagani, M. A., 2014, Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties, *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1100-1106.
- Martínez-Bustos, F., Viveros-Contreras, R., Galicia-García, T., Nabeshima, E. H. and Verdalet-Guzmán, I., 2011, Some functional characteristics of extruded blends of fiber from sugarcane bagasse, whey protein concentrate, and corn starch, *Food Science and Technology*, 31(4), 870-878.
- Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Igual, M. and Noguerol, A. T., 2020, Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks, *European Food Research and Technology*, 246(4), 703-712.
- Masatcıoğlu, M. T., 2013, Ekstrüzyon pişirmenin maillard reaksiyonu üzerine etkileri, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 126 s. Ankara.
- Maskan, M. and Altan, A., 2016, *Advances in Food Extrusion Technology*. 130, CRC press.
- Matucci, A., Veneri, G., Dalla Pellegrina, C., Zoccatelli, G., Vincenzi, S., Chignola, R., ... and Rizzi, C., 2004, Temperature-dependent decay of wheat germ agglutinin activity and its implications for food processing and analysis, *Food Control*, 15(5), 391-395.
- Mendonca, S., Grossmann, M. V. E. and Verhé, R., 2000, Corn bran as a fibre source in expanded snacks, *LWT-Food Science and Technology*, 33(1), 2-8.

- Menga, V., Fares, C., Troccoli, A., Cattivelli, L. and Baiano, A., 2010, Effects of genotype, location and baking on the phenolic content and some antioxidant properties of cereal species, *International Journal of Food Science and Technology*, 45(1), 7-16.
- Menis-Henrique, M. E. C., Scarton, M., Piran, M. V. F. and Clerici, M. T. P. S., 2020, Cereal fiber: extrusion modifications for food industry, *Current Opinion in Food Science*, 3, 141-148.
- Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs Jr, D. R., Slavin, J., Sellers, T. A. and Folsom, A. R., 2000, Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(4), 921-930.
- Mohamad Mazlan, M., Talib, R. A., Mail, N. F., Taip, F. S., Chin, N. L., Sulaiman, R., ... and Mohd Nor, M. Z., 2019, Effects of extrusion variables on corn-mango peel extrudates properties, torque and moisture loss, *International Journal of Food Properties*, 22(1), 54-70.
- Moore, D., Sanei, A., Van Hecke, E. and Bouvier, J. M., 1990, Effect of ingredients on physical/structural properties of extrudates, *Journal of Food Science*, 55(5), 1383-1387.
- Moraru, C. I. and Kokini, J. L., 2003, Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165.
- Moscicki, L. and van Zuilichem, D. J., 2011, Extrusion-cooking and related technique, *Extrusion-cooking techniques: applications, theory and sustainability*, Wiley, Weinheim, 1-24. Germany.
- Moscicki, L., M. Mitrus, A. Wojtowicz, T. Oniszcuk, and A. Rejak., 2013, Extrusion cooking of starch. In *Advances in Agrophysical Research*, eds. S. Grundas, and A. Stepniewski, 319–346.
- Mukhopadhyay, N. and Bandyopadhyay, S., 2003, Extrusion cooking technology employed to reduce the anti-nutritional factor tannin in sesame (*Sesamum indicum*) meal, *Journal of Food Engineering*, 56(2-3), 201-202.
- Nebesny, E., Rosicka, J. and Tkaczyk, M., 2005, Influence of Selected Parameters of Starch Gelatinization and Hydrolysis on Stability of Amylose-Lipid Complexes, *Starch-Stärke*, 57(7), 325-331.
- Neves, M. A. D., Kimura, T., Shimizu, N. and Shiiba, K., 2006, Production of alcohol by simultaneous saccharification and fermentation of low-grade wheat flour, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(3), 481-490.
- Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., ... and Roohinejad, S., 2017, Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview, *Food Control*, 79, 62-73.

- Noguchi, A., Mosso, K., Aymanrd, C., Jevnink, J. and Cheftel, J. C., 1982, Millard reactions during extrusion cooking of proteinenriched biscuits, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 15, 105–110.
- Nurtama, B. and Lin, J., 2009, Effects of process variables on the physical properties of taro extrudate, *World Journal of. Dairy Food and Science*, 4, 154-159.
- Nwabueze, T. U., 2006, Gelatinization and viscosity behavior of single-screw extruded African breadfruit (*Treculia africana*) mixtures, *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(6), 717-731.
- Obadina, A. O., Oyewole, O. B. and Archibong, U. E., 2011, Short communication effect of processing on the qualities of noodles produced from corn grit and cassava flour, *International Food Research Journal*, 18(4).
- Obatolu, V. A., Skonberg, D. I., Camire, M. E. and Dougherty, M. P., 2005, Effect of moisture content and screw speed on the physical chemical properties of an extruded crab-based snack, *Food Science and Technology International*, 11(2), 121-127.
- Oke, M. O., Awonorin, S. O. and Workneh, T. S., 2013, Expansion ratio of extruded water yam (*Dioscorea alata*) starches using a single screw extruder, *African Journal of Agricultural Research*, 8(9), 750-762.
- Oladiran, D. A., and Emmambux, N. M., 2017, Effects of extrusion cooking and wheat bran substitution on the functional, nutritional, and rheological properties of cassava-defatted toasted soy composite, *Starch-Stärke*, 69, 7-8.
- Onwulata, C. I., Konstance, R. P., Smith, P. W. and Holsinger, V. H., 2001, Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products, *LWT-Food Science and Technology*, 34(7), 424-429.
- Özdoğan, A., 2018, Ruşeym ile zenginleştirilmiş sakızın fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 58 s, Tekirdağ.
- Özer, E. A., 2007, Ekstrüzyon yöntemi ile besleyici değeri yüksek çerez tipi fonksiyonel bir ürün geliştirme, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 222 s, Adana.
- Özkaya, H. ve Özkaya, B., 2005, Öğütme Teknolojisi, *Ankara Üniversitesi Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları* No: 30.
- Palmarola-Adrados, B., Galbe, M. and Zacchi, G., 2005, Pretreatment of barley husk for bioethanol production, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 80(1), 85-91.

- Panfili, G., Cinquanta, L., Fratianni, A. and Cubadda, R., 2003, Extraction of wheat germ oil by supercritical CO₂: oil and defatted cake characterization, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(2), 157-161.
- Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Saalia, F. K., Eitenmiller, R. R., and Phillips, R. D., 2008, Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks, *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 632-641.
- Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, V. and Singla, S., 2013, Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3), 1040-1049.
- Poliszko, N., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., Kubiak, P. and Poliszko, S., 2019, The effect of pumpkin flour on quality and acoustic properties of extruded corn snacks, *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14(2), 121-129.
- Pomeranz, Y., 1987, Extrusion Products, in *Modern Cereal Science and Technology*, VCH Publishers, 453-463.
- Pomeranz, Y., 1988, Wheat: Chemistry and Technology, Vol. I, American Association of Cereal Chemists. Inc., St. Paul, MN, USA, 214.
- Rashid, S., Rakha, A., Anjum, F. M., Ahmed, W. and Sohail, M., 2015, Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates, *International Journal of Food Science and Technology*, 50(7), 1533-1537.
- Rathod, R. P. and 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.
- Rayas-Duarte, P., Majewska, K. and Doetkott, C., 1998, Effect of extrusion process parameters on the quality of buckwheat flour mixes, *Cereal Chemistry*, 75(3), 338-345.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. A., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Riaz, M. N., 2000, Extruders in food applications I. Head, Extrusion Technology Program, Food Protein Research and Development Center, Texas A&M University, 225s, USA.
- Riaz, M. N., 2010, Extrusion of cereals, Published online at www.newfoodmagazine.com/article/2515/extrusion-of-cereals. *New Food Magazine, Issue 4*.
- Riaz, M. N., Asif, M. and Ali, R., 2009, Stability of vitamins during extrusion, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 361-368.

- Richmond, P. and Smith, A. C., 1985, The influence of processing on biopolymeric structures, *British Polymer Journal*, 17(2), 246-250.
- Rickard, S. E. and Thompson, L. U., 1997, Interactions and biological effects of phytic acid. In F. Shahidi (Ed.), *Antinutrients and phytochemicals in foods*, Washington D.C: American Chemical Society.
- Rimm, E. B., Ascherio, A., Giovannucci, E., Spiegelman, D., Stampfer, M. J. and Willett, W. C., 1996, Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men, *Jama*, 275(6), 447-451.
- Rizzello, C. G., Nionelli, L., Coda, R., De Angelis, M. and Gobbetti, M., 2010, Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. *Food Chemistry*, 119(3), 1079-1089.
- Ruby-Figueroa, R., 2016, Response surface methodology (RSM). *Encyclopedia of Membranes; Drioli, E., Giorno, L., Eds*, 1729-1730.
- Ruiz-Armenta, X. A., Zazueta-Morales, J. D. J., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Nieblas, C. I., López-Díaz, A., Camacho-Hernández, I. L., ... and Martínez-Bustos, F., 2018, Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process, *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 172-180.
- Sá, F. C., Vasconcellos, R. S., Brunetto, M. A., Filho, F. O. R., Gomes, M. O. S. and Carciofi, A. C., 2013, Enzyme use in kibble diets formulated with wheat bran for dogs: effects on processing and digestibility, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97, 51-59.
- Sacchetti, G., Pittia, P. and Pinnavaia, G. G., 2005, The effect of extrusion temperature and drying-tempering on both the kinetics of hydration and the textural changes in extruded ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk, *International Journal of Food Science and Technology*, 40(6), 655-663.
- Samir, A., Hamad, E. M. and Ashoush, I. S., 2016, Effect of partial fat replacement by whey protein, oat, wheat germ and modified starch on sensory properties, viscosity and antioxidant activity of reduced fat ice cream, *Food and Nutrition Sciences*, 7(6), 397-404.
- Samuel, L., Dogan, H. and Kokini, J. L., 2005, Textural analysis method development for two-phase food products, *Annual Meeting of the Institute of Food Technologists*, July 15–20, New Orleans, Louisiana.
- Sandberg, A. S., Brune, M., Carlsson, N. G., Hallberg, L., Skoglund, E. and Rossander-Hulthén, L., 1999, Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in humans, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(2), 240-246.

- Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A.W. and de Francisco, A., 2018, Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 3427–3436.
- Sandström, B. and Lönnerdal, B., 1989, Promoters and antagonists of zinc absorption, In *Zinc in Human Biology* (pp. 57-78). Springer, London.
- Sarfaraz, A., Azizi, M. H., Gavlighi, H. A. and Barzegar, M., 2017, Physicochemical and functional characterization of wheat milling co-products: Fine grinding to achieve high fiber antioxidant-rich fractions, *Journal of Cereal Science*, 77, 228-234.
- Sayaslan, A., Akarçay, E. and Tokatlı, M., 2016, Kavrulmuş mısır, buğday ve nohut leblebi çerezlerinin beslenme açısından önemli karbonhidrat fraksiyonları, *Akademik Gıda*, 14(3), 284-292.
- Schultz, M. F., 1984, Properties of extruded wheat starch: wheat germ mixtures as affected by temperature, moisture, and level of wheat germ. Master's Thesis. *Kansas State University, USA*, 66 pages.
- Schweizer, T. F., Frølich, W., Del Vedovo, S. and Besson, R., 1984, Minerals and phytate in the analysis of dietary fiber from cereals, *Cereal Chemistry*, 61, 116-119.
- Scragg, R. K., McMichael, A. J. and Baghurst, P. A., 1984, Diet, alcohol, and relative weight in gall stone disease: a case-control study, *British Medical Journal*, 288(6424), 1113-1119.
- Seker, M., 2005, Selected properties of native or modified maize starch/soy protein mixtures extruded at varying screw speed, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(7), 1161-1165.
- Shaviklo, A. R., Azaribeh, M., Moradi, Y. and Zangeneh, P., 2015,. Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks, *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 307-314.
- Shurpalekar, S. R. and Rao, P. H., 1977, Wheat germ, in advances in food research, *Academic Press*, 23, 187-304, New York.
- Singh, D., Chauhan, G. S., Suresh, I. and Tyagi, S. M., 2000, Nutritional quality of extruded snacks developed from composite of rice brokens and wheat bran, *International Journal of Food Properties*, 3(3), 421-431.
- Singh, S., Wakeling, L. and Gamlath, S., 2007, Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8779-8786.
- Singha, P. and Muthukumarappan, K., 2017, Effects of processing conditions on the system parameters during single screw extrusion of blend containing apple pomace, *Journal of Food Process Engineering*, 40(4).

- Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M., 1999, Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent, In *Methods in Enzymology*, Academic Press, 152-178
- Skujins, S., 1998, Handbook for ICP-AES (Varian-Vista). *A short guide to vista series ICP-AES operation. Varian Int. AG, Zug, Version, 1.*
- Snyder, H. and Woods, C. D., 1904, *Wheat Flour and Bread*, US Department of Agriculture.
- Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P. and Kuzawinska, E., 2015, Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta, *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 111–119.
- Soetan, K. O. and Oyewole, O. E., 2009, The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review, *African Journal of Food Science*, 3(9), 223-232.
- Sokhansanj, S., Tumuluru, J. S., Bandyopadhyay, S. and Bawa, A. S., 2013, Changes in moisture, protein, and fat content of fish and rice flour coextrudates during single-screw extrusion cooking, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 403–415.
- Steel, C. J., Leoro, M. G. V., Schmiele, M., Ferreira, R. E. and Chang, Y. K., 2012, Thermoplastic extrusion in food processing, *Thermoplastic Elastomers*, 265.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. and İbanoğlu, S., 2008, The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology, *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469-479.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. and İbanoğlu, Ş., 2009, The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products, *Food Chemistry*, 114(1), 226-232.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E. and İbanoğlu, Ş., 2008, Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 87(4), 554-563.
- Strange, E. D. and Schaich, K. M., 2000, Extraction of lipids from extruded corn-soy blends 1, *Journal of Food Lipids*, 7(4), 217-224.
- Suknark, K., Phillips, R. D. and Chinnan, M. S., 1997, Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch, *Food Research International*, 30(8), 575-583.
- Sun, Y. and Muthukumarappan, K., 2002, Changes in functionality of soy-based extrudates during single-screw extrusion processing, *International Journal of Food Properties*, 5(2), 379-389.

- Syed, A., Naik, H. R. and Hussain, S. Z., 2019, Storage stability studies of corn based rice bran incorporated extruded snacks, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 492-494.
- Szterk, A., Rogalski, M., Nowak, K. and Fiedor, P., 2016, Corn crisps enriched in omega-3 fatty acids sensory characteristic and its changes during storage, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(9), 1275-1287.
- Şahin, N., Bilgiçli, N. ve Sayaslan, A., 2021, Kepek katkılı ekstrüde mısır çerezinin besleyicilik ve fonksiyonel özelliklerinin araştırılması, *Food and Health*, 7(2), 103-119.
- Tekin, H., 2009, Köftenin fizikokimyasal özellikleri üzerine buğday kepeği, yağ ve tuzun etkisinin yanıt yüzey yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 130 s, Konya.
- Thakur, S. and Saxena, D. C., 2000, Formulation of extruded snack food (gum based cereal–pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology, *LWT-Food Science and Technology*, 33(5), 354-361.
- Thompson, L. U., 1994, Antioxidants and hormone-mediated health benefits of whole grains, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(5-6), 473-497.
- Threapleton, D. E., Greenwood, D. C., Evans, C. E., Cleghorn, C. L., Nykjaer, C., Woodhead, C., ... and Burley, V. J., 2013, Dietary fiber intake and risk of first stroke: a systematic review and meta-analysis, *Stroke*, 44(5), 1360-1368.
- Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A. and Maroulis, Z. B., 2005, Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering*, 519–526.
- Tiwari, A. and Jha, S. K., 2017, Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks–An overview, *International Journal of Food Studies*, 6, 113–128.
- Ünalı, Z., 2012, Farklı stabilizasyon ve depolama sıcaklıklarının buğday ruşeym yağı oksidasyonuna etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 57s.
- Vaher, M., Matso, K., Levandi, T., Helmja, K. and Kaljurand, M., 2010, Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties, *Procedia Chemistry*, 2(1), 76-82.
- Varzakas, T., Zakyntinos, G. and Verpoort, F., 2016, Plant food residues as a source of nutraceuticals and functional foods, *Foods*, 5(4), 88.
- Veillard, P. V., Moraru, C. I. and Kokini, J. L., 2003, Development of instrumental methods for the textural characterization of low moisture extrudates. In *IFT Annual Meeting, Chicago, IL*.

- Vincent, J. F., 1998, The quantification of crispness, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78(2), 162-168.
- Vitaglione P, Napolitano A. and Fogliano V., 2008, Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut, *Trends Food and Science Technology*, 19, 451–463.
- Wang, T. and Johnson, L. A., 2001, Refining high-free fatty acid wheat germ oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(1), 71-76.
- Wang, P., Fu, Y., Wang, L., Saleh, A. S., Cao, H. and Xiao, Z., 2017, Effect of enrichment with stabilized rice bran and extrusion process on gelatinization and retrogradation properties of rice starch, *Starch-Stärke*, 69, 7-8.
- Wani, S. and Kumar, P., 2016, Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 166-173.
- White, G., 1994, Defining the true meaning of snacks, *Food Technology International Europe*, 2, 115-117.
- Williams, G. D. and Rosentrater, K. A., 2007, Design considerations for the construction and operation of flour milling facilities, Part I: planning, structural, and life safety considerations, in 2007, ASAE Annual Meeting (p. 1), American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Yacu, W. A., 2012, Extruder selection, design, and operation for different food applications, *Advances in Food Extrusion Technology*, 23-68.
- Yadav, U., Singh, R. R. B. and Arora, S., 2018, Evaluation of quality changes in nutritionally enriched extruded snacks during storage, *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 3939-3948.
- Yadava, D. K., Vasudev, S., Singh, N., Mohapatra, T. and Prabhu, K. V., 2012, Breeding major oil crops: Present status and future research needs. In *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Springer, 1, 17-51, New York.
- Yağcı, S. and Göğüş, F., 2008, Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products, *Journal of Food Engineering*, 86(1), 122-132.
- Yağcı, S., 2008, The use of durum clear flour in combination with hazelnut cake and different pomaces in the production of extruded food. Doktora Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 145 s, Gaziantep.
- Yağcı S., 2015, Ekstrüzyon ile Pişirme Yöntemleri Ders Notu.

- Yağcı, S. ve Doğan, F. 2016, Ekstrüzyon yöntemi ile mercimek (*Lens culinaris*) bazlı glutensiz bulgurbenzeri ürün geliştirilmesi ve fiziksel-fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi, *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(1), 59-67
- Erim Köse, Y., 2020, Kavut ununun besinsel bileşimi ve antioksidan kapasitesinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2639-2648.
- Yalçınkaya, S., Ahmet, A. and Elgün, A., 2003, Buğday ruşeymi ve fitaz ilavesiyle besin değeri yüksek yoğurt üretimi, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 17(32),57-63.
- Yan, X., Ye, R. and Chen, Y., 2015, Blasting extrusion processing: the increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble- fiber polysaccharides from wheat bran, *Food Chemistry*, 180, 106–115.
- Yanniotis, S., Petraki, A. and Soumpasi, E., 2007, Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded corn starch, *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594-599.
- Yao, Y. and Ren, G., 2014, Suppressive effect of extruded adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in rats, *Industrial Crops and Products*, 52, 228-232.
- Yaseen, A. A. E. and Shouk, A. A., 2005, Effect of extrusion variables on physical, structure and sensory properties of wheat germ-corn grits extrudates, *Egyptian Journal of Food Science*, 33(1), 57.
- Yaşarlar, E. E., 2004, Farklı Tahıl kepeği kombinasyonları kullanılarak tekirdağ köftesinin diyet lifi açısından zenginleştirilmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 103 s.
- Ying, D., Hlaing, M. M., Lerisson, J., Pitts, K., Cheng, L., Sanguansri, L. and Augustin, M. A., 2017, Physical properties and FTIR analysis of rice-oat flour and maize-oat flour based extruded food products containing olive pomace, *Food Research International*, 100, 665-673.
- Zeng, H., Lazarova, D. L. and Bordonaro, M., 2014, Mechanisms linking dietary fiber, gut microbiota and colon cancer prevention, *World Journal of Gastrointestinal Oncology*, 6(2), 41.
- Zhang, P , Leonard, W. Ying, D. and Fang, Z., 2019, Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218-246.
- Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M. L., Hodgson, J. M. and Johnson, S. K., 2019, Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat, *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 99, 547-554.

- Zhu K.X., Lian C. X., Guo X. N., Peng W. and Zhou H. M., 2011, Antioxidant activities and total phenolic content of various extracts from defatted wheat germ, *Food Chemistry*, 126, 1122–1126.
- Zhu K. X., Zhou, H. M., Qian, H., F., 2006. Comparative study of chemical composition and physicochemical properties of defatted wheat germ flour and its protein isolate, *Journal of Food Biochemistry*, 30, 329–341.
- Žilić, S., Mogol, B. A., Akilloğlu, G., Serpen, A., Delić, N. and Gökmen, V., 2013, Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 45–51.
- Zoran D. L., Turner N. D., Taddeo S. S., 1997, Wheat bran diet reduced tumor incidence in a rat model of colon cancer independent of effects on distal luminal butyric acid concentrations, *Journal of Nutrition*, 127, 2217–2225.
- Zuckerman, M. J., 2006, The role of fiber in the treatment of irritable bowel syndrome: therapeutic recommendations. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 40(2), 104-108.

EKLER

EK-1 EKSTRÜDE MISIR ÇEREZİ İÇİN DUYUSAL ANALİZ PANELİST FORMU

Sevgili Panelistler, Örnekleri değerlendirirken soldan sağa doğru bir sıra takip ediniz. Her örneği tattığınızda ağızınızı su ile çalkalayınız.

(A) Renk: Rengini beğendiniz mi? Rengin albenisi nasıl?

	1	2	3	4	5	6	7
Örnek							

1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

(B) Tat Testi: Tadını beğendiniz mi?

	1	2	3	4	5	6	7
Örnek							

1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

(C) Koku-Aroma Testi: Kokusunu beğendiniz mi?

	1	2	3	4	5	6	7
Örnek							

1- Hiç beğenmedim 2- Beğenmedim 3- Biraz beğenmedim 4- Ne beğenmedim ne beğendim 5- Biraz beğendim 6- Beğendim 7- Çok beğendim

(D) Doku Testi

Kırılgenlik: Maddenin ufalanması, yarılması ve dağıtılması için gerekli kuvvet.

	1 (Çok düşük)	2	3	4 (Ne çok düşük ne çok yüksek)	5	6	7 (Çok yüksek)
Örnek							

Sertlik: Gıdayı ağızda azı dişleri arasında sıkıştırarak belirli bir deformasyon sağlamak için gerekli kuvvet.

	1 (Çok düşük)	2	3	4 (Ne çok düşük ne çok yüksek)	5	6	7 (Çok yüksek)
Örnek							

Gevreklilik: Isırma sırasında çıkan sesin derecesi.

	1 (Çok düşük)	2	3	4 (Ne çok düşük ne çok yüksek)	5	6	7 (Çok yüksek)
Örnek							

Gözenekli yapı: Örnek içerisindeki birim alandaki gözenek sayısı

	1 (Çok kötü)	2	3	4 (Ne sevdim ne sevmedim)	5	6	7 (Çok iyi)
Örnek							

Genel beğeni

	1 (Çok kötü)	2	3	4 (Ne sevdim ne sevmedim)	5	6	7 (Çok iyi)
Örnek							

EK-2 BONKALİTE UN KATKILI EKSTRÜDE MISIR ÇEREZLERİ (BUKEMÇ) VE RUŞEYM KATKILI EKSTRÜDE MISIR ÇEREZLERİNE (RKEMÇ) AİT RESİMLER



%20
BUKEMÇ

%25
BUKEMÇ

%30
BUKEMÇ

%35
BUKEMÇ

%40
BUKEMÇ



%16
RKEMÇ

%18
RKEMÇ

%20
RKEMÇ

%22
RKEMÇ

%24
RKEMÇ