



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSRAF EDİLEN EKMEKLERİN KÖPEK YEMLERİNDE YENİ
BİR HAMMADDE OLARAK KULLANIMI VE ÜRÜNLERİN
FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE İNVİTRO
SİNDİRİLEBİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ercan MEVLİYAOĞULLARI

**ZOOTEKNİ, HAYVAN BESLEME ve BESLENME HASTALIKLARI
ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mehmet Akif KARSLI**

**ORTAK DANIŞMAN
Prof. Dr. Behiç MERT**

KIRIKKALE-2022



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSRAF EDİLEN EKMEKLERİN KÖPEK YEMLERİNDE YENİ
BİR HAMMADDE OLARAK KULLANIMI VE ÜRÜNLERİN
FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE İNVİTRO
SİNDİRİLEBİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ercan MEVLİYAOĞULLARI

**ZOOTEKNİ, HAYVAN BESLEME ve BESLENME HASTALIKLARI
ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mehmet Akif KARSLI**

**ORTAK DANIŞMAN
Prof. Dr. Behiç MERT**

KIRIKKALE-2022

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- o Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- o Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- o Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- o Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- o Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ercan Mevliyaoğulları

09/09/2022

ÖZET

İSRAF EDİLEN EKMEKLERİN KÖPEK YEMLERİNDE YENİ BİR HAMMADDE OLARAK KULLANIMI VE ÜRÜNLERİN FİZİKO- KİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE İNVİTRO SİNDİRİLEBİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Zootekni, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı,
Doktora Tezi Danışman: Prof. Dr. Mehmet Akif KARSLI
Ortak Danışman: Prof. Dr. Behiç MERT

Eylül 2022, 130 sayfa

Evcil hayvan maması sektörü düzenli bir biçimde üretim hacminin arttığı milyarlarca liralık bir endüstridir. Özellikle köpek maması üretiminde önemli oranda tahıl kullanılabilmektedir. Günümüzde artan gıda fiyatları gıda israfının önemini bir kez daha vurgulamakta ve önemli bir karbon ayak izine sahip olan mama üretiminde gıda artıklarının değerlendirilmesi için araştırmalar yapılması gerektirmektedir. Ekmek atığı, dünyanın birçok bölgesinde gıda israfının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Genellikle, fırınlar ve perakendeciler arasında oluşturulan iade sistemi, diğer gıda atık maddeleri ile kontamine olmayan ekmek atıklarının geri toplanabilmesine olanak vermektedir. Bu durum ekmek atıklarının köpek maması üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, tüketilmeyen ekmek artıklarının ekstrüde köpek mamalarında kullanım olanaklarının araştırılması ve yine yeni bir yöntem olarak fırınlanmış mama üretim prosesinin araştırılmasıdır. Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerde pirinç, mısır, buğday gibi tahılların ekmekle ikame edilerek bir deney planı oluşturulmuştur. Mamalardaki besinsel içeriği mümkün olduğunca sabit tutabilmek için ekmek tahıllar yerine kullanılmıştır. Elde edilen ekstrüde ve fırınlanmış ürünler fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından kapsamlı bir şekilde analiz edilmişlerdir. Kütlece %0 %11,0 %29,5 ve %47,5 ekmek içeren ekstrüde ve fırınlanmış mama örnekleri pilot ölçekli cihazlar kullanılarak üretilmiştir. Ürünlerin genleşme oranı, renk, tekstür nitelikleri ve sindirilebilirlik gibi araştırılan özellikler, herhangi bir ekmek içermeyen kontrol örneğiyle karşılaştırılmıştır. Diyet formülasyonlarındaki ekmek içeriği arttığında numuneler daha yüksek genleşme oranlarına, daha fazla kalınlığa, daha açık bir renge ve daha gözenekli bir yapıya sahip olmalarına neden olmuştur. Formülasyonlarda bulunan ekmek içeriği, ham protein ve yağın sindirilebilirliğinde kısmi bir azalmaya neden olmuş, ancak nişastanın daha yüksek bir sindirilebilirliğe (%29,5 ve %47,5 oranlarında) sahip olmasına neden olmuştur. Dolayısıyla tahılların %30 ve daha az oranlarda ekmek ile yer değiştirmesinin ürünlerde önemli bir değişikliğe neden olması beklenmemektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüzyon, fırınlama, evcil hayvan maması, ekmek, doku özellikleri, atık değerlendirilmesi

ABSTRACT

THE USE OF WASTED BREAD AS A NEW RAW MATERIAL IN DOG FEED AND THE DETERMINATION OF THE PHYSIO-CHEMICAL PROPERTIES AND INVITRO DIGITABILITY OF THE PRODUCTS

Kırıkkale University
Graduate School of Health Sciences
Department of Zootechnics, Animal Nutrition and Nutritional Disease
Ph.D Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Akif KARSLI
Co-Supervisor: Prof. Dr. Behiç MERT

September 2022, 130 pages

Pet food is an industry of billions of Lira in which the volume of production is increasing on a regular basis. Especially in the production of dog food, a significant amount of grain can be used. Today, increasing food prices once again emphasize the importance of food waste and require research to evaluate food residues in food production, which has a significant carbon footprint. Bread waste accounts for a significant portion of food waste in many parts of the world. The return system, which is created between bakeries and retailers, allows the collection of bread waste that is not contaminated with other food waste items.

The aim of this study is to investigate the possibilities of using unconsumed bread residues in extruded dog foods and to investigate the possibilities of baked food production as a new method. In extruded and baked products, the possibilities of substituting cereals such as rice, corn and wheat with bread were evaluated. Bread was used instead of cereals to ensure that the nutritional content in foods tasted as constant as possible. The resulting extruded and baked products have been extensively analyzed for their physical and chemical properties. Extruded and baked food samples containing 0%, 11.0%, 29.5% and 47.5% bread by mass were produced using pilot-scale devices. The investigated properties, such as the expansion rate of the products, color, texture qualities (including porosity), and digestibility, were compared with any bread-free control sample. When the bread content in the dietary formulations increased, the samples resulted in higher rates of expansion, greater thickness, a lighter color and a more porous structure. The greater bread content in their formulation resulted in a partial reduction in the digestibility of crude protein and fat, but resulted in higher digestibility of starch (at rates of 29.5% and 47.5%). Therefore, 30% or less bread replacement of grains is not expected to cause a significant change in products.

Key Words: Extrusion cooking, baking, pet food, bread, texture properties, waste valorization

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca vizyoner bakış açılarıyla, doktora ilk başladığım günden bugüne hem maddi hem manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, multidisipliner çalışmanın önemini bana öğreten her daim desteklerini yanımda hissettiğim saygıdeğer danışman hocalarım Prof. Dr. Mehmet Akif KARSLI ve Prof. Dr. Behiç MERT ‘e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilir ve bilimsel gelişimime vermiş oldukları sonsuz katkılardan dolayı kendilerine çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca akademik bilgi ve tecrübelerini bana aktaran desteklerini hiç esirgemeyen ve hep yanımda olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Mehmet BAŞALAN, Prof. Dr. İlkey AYDOĞAN, Prof. Dr. Naim Deniz AYAZ, Prof. Dr. Miyase ÇINAR, Prof. Dr. Serkan ERAT, Prof. Dr. Süleyman ÇİLEK ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Şen ‘e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Ekstrüzyon pişirme teknolojisi	2
1.2. Ekstrüzyon İşleme Teknolojisinde Kullanılan Hammaddeler	4
1.2.1. Yapı Oluşturan Malzemeler	4
1.2.2. Dağınık-Fazlı Dolgu Malzemeleri.....	5
1.2.3. Plastikleştirici ve Kayganlaştırıcı Rol Oynayan Malzemeler	6
1.2.4. Çözünen Katı Maddeler	6
1.2.5. Gözenek Oluşturucu Maddeler.....	7
1.2.6. Lezzet Verici Maddeler (Palatants)	7
1.3. Ekstrüzyon İşleme Teknolojisinde Kullanılan Parametreler	8
1.4. Ekstrüde Ürünlerin Özellikleri.....	8
1.4.1. Genleşme İndeksi	8
1.4.2. Yığın Yoğunluğu	10
1.4.3. Tekstür Özellikleri.....	10
1.4.4. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi	11
1.5. Ekstrüzyon Pişirme ve Köpek Maması Üretimi	12
1.5.1. Ekstrüzyonun Nişasta Üzerindeki Etkileri.....	15
1.5.2. Ekstrüzyonun Lipit Üzerindeki Etkileri.....	17
1.5.3. Ekstrüzyonun Protein Üzerindeki Etkileri	18
1.5.4. Ekstrüzyonun Mamaların Lezzetine (Palatability) Etkileri	20
1.6. Köpek Maması Üretimi ve Fırıncılık Teknolojisi.....	20
1.7. Gıda İsrafi	21
1.7.1. Ekmeğin Bayatlaması ve Ekmek İsrafi.....	22

1.7.2. Buğday Tanesi ve Ekmek Yapımındaki Rolü.....	23
1.8. Buğday Tanesi ve Ekmek Yapımındaki Rolü.....	24
1.8.1. Un	24
1.8.2. Su.....	25
1.8.3. Tuz.....	25
1.8.4. Maya	25
1.9. Ekmek Yapım İşlemleri.....	26
1.9.1. Yoğurma İşlemi.....	26
1.9.2. Fermantasyon işlemi.....	27
1.10. Hamur İşleme ve Pişirme İşlemi	28
1.10.1. Ekmeğin Pişirilmesi Sırasında Oluşan Değişimler.....	28
1.10.2. Fırın Sıcraması	28
1.10.3. Nişastanın Jelatinizasyonu	29
1.10.3.1. Nişastanın Yapısı	29
1.10.3.2. Jelatinizasyon	31
1.10.4. Glutenin Koagülasyonu	33
1.10.5. Aroma Maddelerinin Oluşumu.....	34
1.10.6. Ekmeğin Bayatlaması	34
1.10.7. Nişasta Retrogradasyonu	35
1.11. Hammadde Olarak Artık Ekmeklerin Kullanımı	36
2. GEREÇ VE YÖNTEM	40
2.1. Yem Maddelerinin Analizi	40
2.1.1. HP Oranının Belirlenmesi.....	40
2.1.2. HY Oranının Belirlenmesi	40
2.1.3. HS Oranının Belirlenmesi.....	40
2.1.4. Nişasta oranının belirlenmesi.....	40
2.1.5. HK Oranının Belirlenmesi	41
2.2. Ekstrüde Ürünlerin Hazırlanması.....	41
2.3. Fırınlanmış ürünlerin hazırlanması	46
2.4. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerde Yapılan Analizler.....	47
2.4.1. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Makro Besinsel İçerikleri.....	47
2.4.2. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Genleşme İndeks Değerleri	47
2.4.3. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Yıgın ve Parça Yoğunluk Değerleri. 47	
2.4.4. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Tekstür Ölçümleri.....	48
2.4.5. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerde Gözeneklilik Analizleri.....	50

2.4.6. Ekstrüzyon İşleminin Spesifik Mekanik Enerji (SME) Değerlerinin Belirlenmesi.....	51
2.4.7. Fırınlama İşleminde Kullanılan Termal Enerji Değerlerinin Belirlenmesi.....	51
2.4.8. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Renk Değerleri.....	51
2.4.9. Hammadde Karışımlarının RVA Analizi.....	52
2.4.10. İn-Vitro Sindirilebilirlik Analizleri	52
2.5. İstatistik Analizleri	53
3. BULGULAR.....	55
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	78
4.1. Viskozite Analizleri.....	78
4.2. Fiziksel Analizler	80
4.3. Spesifik Mekanik Enerji	83
4.4. Ürünlerde Tekstür Ölçümleri.....	84
4.5. Ürünlerde Gözeneklilik Analizleri	86
4.6. Ürünlerin İn Vitro Sindirilebilirlik Değerlerinin Belirlenmesi	87
KAYNAKLAR.....	91
EKLER.....	113
Ek-1: Etik Kurul Onay Belgesi.....	113
ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Tipik bir ekstrüzyon işleme hattının akış şeması (Guy, 2001).	3
Şekil 2.	Ekstrüder: 1 motor, 2 besleyici, 3 soğutma ceket, 4 ısı ölçer (thermo couple), 5 vida, 6 namlu, 7 ısıtma ceket, 8 baş, 9 kalıp, 10 bıçak, I aktarma bölümü, II sıkıştırma bölümü, III eritme ve plastikleştirme bölümü (Mościcki ve van Zuilichem, 2011).	4
Şekil 3.	Ekstrüzyon pişirmede hammadde özellikleri, işlem değişkenleri ve ürün özelliklerinin etkileşimi (Offiah ve ark., 2019).	8
Şekil 4.	Buğday tanesinin yapısı	23
Şekil 5.	Polarize ışık altında nişasta granüllerinin görünümü (https://www.micromagus.net/pharma/starch.html)	30
Şekil 6.	Lineer formda bulunan amiloz ve dallı yapıda bulunan amilopektin (Hubbe, 2011).	31
Şekil 7.	(a): α -1,4-glikozidik bağları ile bağlı α -D-glikoz'dan oluşan amilozun yapısı, (b): α -D-(1-6) glikozidik bağları ile bağlı α -D-(1-4) glikoz'dan oluşan amilopektinin yapısı.....	32
Şekil 8.	Jelatinizasyon prosesi süresince nişastanın yapısındaki değişim	33
Şekil 9.	Retrogradasyon prosesi süresince nişastanın yapısındaki değişim (https://biologyreader.com/retrogradation-of-starch.html)	36
Şekil 10.	Estrüder işlemi ile üretilen mamaların üretim akış şeması.....	44
Şekil 11.	Ekstrüder cihazı ve kısımları	45
Şekil 12.	Fırınlanmış ürünlerin hazırlanmasında hamur inceltme ve şekillendirme işlemi.	46
Şekil 13.	Tekstür analizi sırasında kullanılan kırma ve delme aparatları	49
Şekil 14.	Tekstür analizi sırasında elde edilen tipik bir kuvvet-zaman grafiğın pikler ve sertlik değerin belirlenmesi.....	50
Şekil 15.	İn vitro sindirim analizinin aşamaları	54
Şekil 16.	Formülasyonları oluşturan hammadde karışımlarının RVA viskozite profilleri.....	56

Şekil 17. Formülasyonları oluşturan hammadde karışımlarının RVA viskozite değerleri. A: soğuk viskozite, B: pik viskozite, C: son viskozite değerini göstermektedir. Bar grafiklerinde bulunan farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	57
Şekil 18. Ekstrüde ürünler, F1, F2, F3 ve F4 ürünlerin hazırlanmasında kullanılan formülasyonları göstermektedir.....	58
Şekil 19. 4 farklı formülasyonda hazırlanmış fırınlanmış ürünlerin görünümü. F1, F2, F3 ve F4 ürünlerin hazırlanmasında kullanılan formülasyonları göstermektedir	59
Şekil 20. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin genleşme indeksi değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	60
Şekil 21. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin yığın yoğunluğu değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	61
Şekil 22. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin tane yoğunluğu değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	62
Şekil 23. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin L* renk değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	63
Şekil 24. Ekstrüzyon işlemi sırasında harcanan spesifik mekanik enerji (SME) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	64
Şekil 25. Ekstrüzyon ve fırınlama işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümleri. A: kırılma deneyi sonuçları, B: delme deneyi sonuçları	65
Şekil 26. Ekstrüzyon (A) ve fırınlama (B) işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden pik sayılarının elde edilmesi	66
Şekil 27. Ekstrüzyon işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden elde edilen toplam pik sayısı (A), kırma deneyi maksimum sertlik (B), penetrasyon deneyi maksimum sertlik (C) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	67
Şekil 28. Fırınlama işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden elde edilen toplam pik sayısı (A), kırma deneyi maksimum sertlik (B),	

penetrasyon deneyi maksimum sertlik (C) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$)......	68
Şekil 29. Ülkemizde tenim edilen ve 10 farklı marka ekstrüde köpek mamasının delme deneyi ile elde edilen sertlik değerleri.	69
Şekil 30. Stereo mikroskop ile elde edilen kesit resimlerinin incelenmesi.....	69
Şekil 31. Dört farklı formülasyon ile üretilmiş ekstrüde mamaların kesit yüzeyleri.	70
Şekil 32. Dört farklı formülasyon ile üretilmiş fırınlanmış mamaların kesit yüzeyleri.....	70
Şekil 33. Çoklu seviyeli eşikleme (multi level thresholding) kullanılarak elde edilen resimlerde gözenek boyutu ve miktarının belirlenmesi aşamaları (Rabbani ve ark., 2014; Ezeakacha ve ark., 2018)	71
Şekil 34. Kesit resimlerinden elde edilmiş ekstrüde ürünlere ait gözenekleri gösteren resimler.....	72
Şekil 35. Kesit resimlerinden elde edilmiş fırınlanmış ürünlere ait gözenekleri gösteren resimler.....	73
Şekil 36. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış ekstrüde mamaların kesit resimlerinden elde edilmiş gözenek boyut dağılımı (A), gözeneklilik değerleri (B) ve ortalama gözenek boyutları (C). Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	74
Şekil 37. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış fırınlanmış mamaların kesit resimlerinden elde edilmiş gözenek boyut dağılımı (A), gözeneklilik değerleri (B) ve ortalama gözenek boyutları (C). Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	75
Şekil 38. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış ekstrüde mamaların in vitro koşullardaki ham protein (A), ham yağ (B) ve nişasta (C) sindirilebilirlik değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	76
Şekil 39. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış fırınlanmış mamaların in vitro koşullardaki ham protein (A), ham yağ (B) ve nişasta (C) sindirilebilirlik değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).	77

TABLÖLAR DİZİNİ

- Tablo 1.** Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerin üretiminde kullanılan yem maddelerinin besin madde içerikleri. Burada HP: ham proteini, HY: ham yağı, HS: ham selülozu ifade etmektedir 42
- Tablo 2.** Üretilen numunelerde kullanılan yem maddelerinin oransal dağılımı..... 43
- Tablo 3.** Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerin üretiminde kullanılan formülasyonların besin madde içerikleri. Burada KM: kuru maddeyi, HP: ham proteini, HY: ham yağı, HS: ham selülozu ifade etmektedir..... 56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

% : Yüzde

< : Küçük

°C : Santigrat derece

μ : Mikron

Ca : Kalsiyum

CH₄ : Metan gazı

Cl : Klor

CO₂ : Karbondioksit

H₂O : Su

H₂SO₄ : Sülfürik asit

HCl : Hidroklorik asit

HCO₃ : Bikarbonat

HCT : Hemotokrit

K : Potasyum

kW : kilovat

N : Newton

Na : Sodyum

NaOH : Sodyum hidroksit

p : Significance (Anlamlılık)

pH : Hidrojen iyonlarının negatif logaritması

τ : tork değeri (N.m cinsinden)

Kısaltmalar

AOAC : Association of Official Analytical Chemists

cm : Santimetre

dk : Dakika

F1 : Formülasyon 1

F2 : Formülasyon 2

F3 : Formülasyon 3

F4 : Formülasyon 4

gr : Gram

HK : Ham kül

HP : Ham protein

HY : Ham yağ

kg : Kilogram

KM : Kuru madde

L* : renk değeri (açıklık - koyuluk)

mg : Miligram

ml : Mililitre

mm : Milimetre

RPM : Devir / dakika

RVA : Rapid Visco Analyzer

RVU : RVA viskozite birimi

SME : spesifik mekanik enerji

TS ISO: Türk Standartları International Organization for Standardization

1. GİRİŞ

Küresel evcil hayvan maması pazar büyüklüğü 2021 yılında 94,76 milyar ABD doları olarak değerlendirilmiştir ve 2022'den 2030'a kadar %4,4'lük bir yıllık büyüme oranında genişlemesi beklenmektedir. Kuru mamalar, taşıma, depolanması ve besinsel ihtiyacı karşılaması bakımından sağladığı kolaylıklar nedeniyle diğer mama çeşitlerine kıyasla hızlı bir büyümeye sahip olmaktadır. Özellikle, kentlerde yaşayan tüketicilerin kuru evcil hayvan mamasını giderek daha fazla tercih ettiği gözlenmektedir.

Ekstrüzyon işlemi yaklaşık bir asırdır kullanılmakta olan bir prosestir. İlk uygulamaları kauçuk endüstrisinde hortum ve kayış gibi ürünlerin üretimi için kullanılmasıyla başlamıştır. Ekstrüzyon, çok uzun bir süredir makarna gibi gıda ürünlerinin üretimi için de kullanılmaktadır. Sürekli ekstrüzyon prosesinin ilk uygulamaları ise insan gıdalarının üretilmesi ile başlamıştır. 1940'larda mısır unu ve irmik kullanılarak genleşmiş atıştırmalıklar ve makarna sürekli yöntemle üretilmeye başlamıştır. Günlük besin ihtiyacını karşılayan diyet bileşenlerinin ekstrüzyonla işlenmesi ve evcil hayvanlar için ticari yem/mama üretilmesi ise 1950'lerde başlamıştır.

Ekstrüzyon işlemi, yüksek sıcaklıkta, kısa süreli bir prosestir ve işlem sırasında farklı oranlarda karıştırılan hammaddeler tüketiciler tarafından beğenilen son ürünlere dönüştürülmektedir. Üretim miktarı bakımından düşünüldüğünde ise evcil hayvan maması ekstrüde ürünler arasında üst sırada yer almaktadır. Günümüzde evcil hayvan maması endüstrisi, ABD'de tek başına 13 milyar ABD Doları değerindedir ve Avrupa'da da hemen hemen aynı değere sahiptir (Combelles, 2004). Ekstrüzyon teknolojisi, gıdalarda bulunan nişasta ve nişasta fraksiyonlarının sürekli olarak pişirilmesini sağlayan yüksek verimliliğe sahip bir prosestir. Bu durum nişastanın sindirimini mümkün kılarak evcil hayvanların enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir unsurdur. Öte yandan ekstrüzyon ile çok farklı şekillerde ürün üretilmesi evcil hayvan sahiplerinin de ilgisini çekebilmektedir.

1.1. Ekstrüzyon Pişirme Teknolojisi

Plastik sanayinde sıklıkla kullanılan ekstrüzyon teknolojisi, çok sayıda farklı uygulama ile son yıllarda gıda endüstrisinde de yaygın olarak kullanılan bir işleme teknolojisidir. Gıda işleme sanayinde kullanılan ilk ekstrüderler; et ve sosis işlemeye yönelik pistonlu ve ram tipi ekstrüderlerdir (Guy, 2001). Gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan ekstrüderler tek vidalı ve çift vidalı sistemlerden oluşmaktadır. Ancak çift vidalı sistemler, esneklikleri nedeniyle daha yaygın olarak kullanıma sahip olup özellikle atıştırmalık ve gevrek ürünlerinin işlenmesinde kullanılmaktadır. Ekstrüzyon teknolojisi, çerez gıdalar, kahvaltılık gevrekler, makarna, önceden jelatinize edilmiş unlar, pelet ürünler, bebek mamaları, kullanıma hazır konsantreler ve evcil hayvan yemleri gibi gıda ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda bu işleme teknolojisinin et analoglarının üretiminde kullanılması nedeniyle popülaritesi artmıştır (Gu vd, 2017).

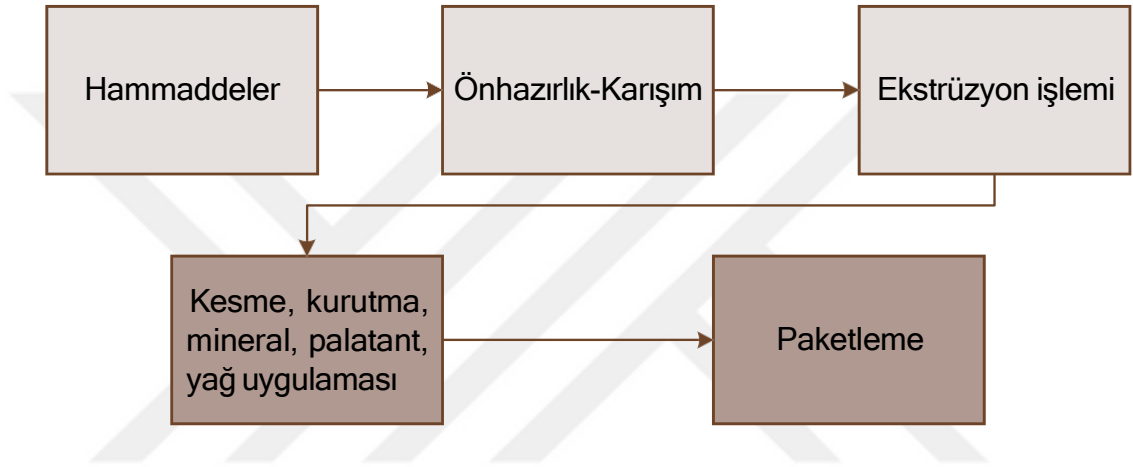
Ekstrüzyon pişirme yöntemi; yem işleme sanayinde de kullanılan bir teknoloji olup ekstrüzyon pişirme yöntemi öğütülmüş hammaddenin yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek kesme koşullarına maruz bırakılarak işlenmesi olarak tanımlanabilmektedir. Ekstrüzyon pişirme yöntemi geleneksel pişirme teknolojilerine kıyasla nispeten düşük nem içerikli bir işleme yöntemidir (Riaz, 2000).

Gıda hammaddeleri tek bir vida veya bir dizi vida kullanan küçük bir açıklıktan zorlanarak geçirildiği için ekstrüder içerisinde vidanın dönmesi ile ortaya çıkan kesme gerilimine ve namlunun ısıtılması sonucunda erime noktası veya plastikleşme noktasına kadar ısıya maruz kalmaktadır. Sonuç olarak ekstrüzyon işleme sırasında hammaddelerin reolojik özellikleri bir dizi değişime maruz kalarak erimiş, akışkan bir kütleye dönüşmektedir. Bu erimiş haldeki ara ürün ekstrüder çıkışında basıncın azalması ile suyun buharlaşması nedeniyle şişerek son şeklini almaktadır. Ekstrüzyon işleme sürekli işleme teknolojisi olup bir dakikadan daha kısa sürede gıdalar işlenebilmektedir (Riaz, 2000; Guy, 2001; Mian N. Riaz ve Rokey, 2011).

Şekil 1’de gösterildiği gibi ekstrüzyon işleme teknoloji sırasında hammaddelerin homojenliği sağlamak oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca hammaddelerin partikül büyüklüğü, sertliği, partiküllerin sürtünme özellikleri ile sıvıların kayganlaştırma ve

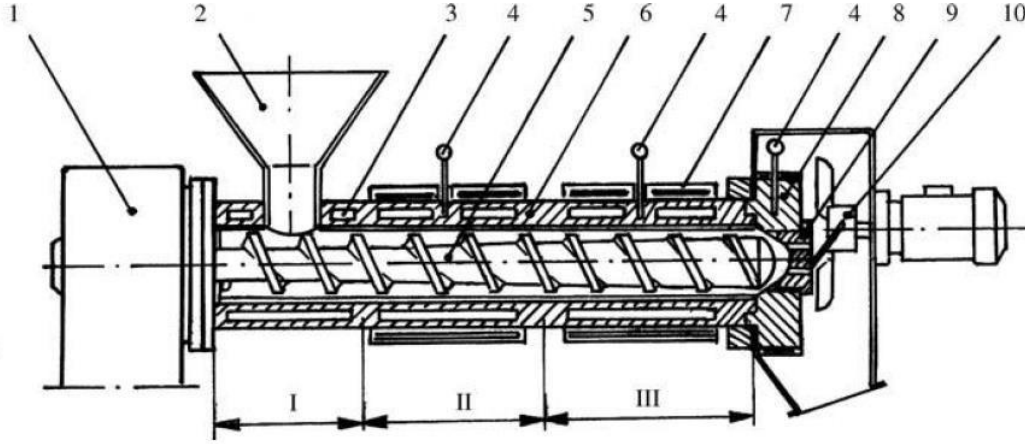
plastikleştirme gibi fiziksel özellikleri oldukça önem taşımaktadır (Samray ve ark., 2019).

Ekstrüzyon işleme sırasında ürünler pişirilir. Ekstrüde edilen ürünlere; ürünlerin uygun boyutlarda kesilmesi, ürünlerin istenilen neme kadar kurutulma işlemine tabi tutulması, ambalajlamadan önce ürünlere istenilen aromanın kazandırılması amacıyla baharat uygulaması veya kaplama vb. gibi ekstrüzyon sonrası işlemler de uygulanmaktadır (Şekil 1) (Guy, 2001).



Şekil 1. Tipik bir ekstrüzyon işleme hattının akış şeması (Guy, 2001).

Şekil 2’de görüldüğü gibi ekstrüzyon sırasında gıda bileşenleri kısa bir süre için yüksek kesme, sıcaklık ve basınca maruz bırakılır. Hammaddeler ekstrüderin içinde erimiş hale dönüşmektedir. Ekstrüderin içinde eritilmiş forma dönüştürülen hammaddeler daha sonra ekstrüderin çıkışında atmosfer basıncına ve sıcaklık düşüşüne maruz kalarak genişmiş ve pişmiş bir ürüne dönüşmektedir. Ekstrüde ürün kalitesi, kullanılan hammaddelinin özellikleri, ekstrüzyon işleme koşulları, ekstrüderin çalışma kapasitesine ve ekstrüzyon işleme işleme sonrası koşullar dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır (Campden, 2001; Ryu ve Ng, 2001).



Şekil 2. Ekstrüder: 1 motor, 2 besleyici, 3 soğutma ceket, 4 ısı ölçer (thermo couple), 5 vida, 6 namlu, 7 ısıtma ceket, 8 baş, 9 kalıp, 10 bıçak, I aktarma bölümü, II sıkıştırma bölümü, III eritme ve plastikleştirme bölümü (Mościcki ve van Zuilichem, 2011).

1.2. Ekstrüzyon İşleme Teknolojisinde Kullanılan Hammaddeler

Ekstrüzyon işleme teknolojisinde kullanılan hammaddeler, ‘Guy Sınıflandırma Sistemi’ne göre sınıflandırılabilir. Bu sistemde bileşenler fizikokimyasal bir yaklaşım kullanılarak fonksiyonel özelliklerine göre aşağıda belirtildiği gibi 6 farklı şekilde gruplandırılabilir.

1.2.1. Yapı Oluşturan Malzemeler

Ekstrüde ürünlere istenilen yapı, biyopolimerlerin erimiş haldeki akışkan bir kütle haline getirilmesi ve köpüksü bir yapı elde edecek şekilde su buharı kabarcıklarının bu kütle içerisine transferi ile kazandırılmaktadır. Biyopolimer film, aşırı ısıtılmış su atmosfer basıncında çok hızlı bir şekilde serbest hale gelirken kabarcıkların genişlemesine izin vermek için kabarcık duvarına kolayca akmalıdır. Bu erimiş ve akışkan haldeki biyopolimer kütlesi gaz kabarcıklarının hücre duvarlarını oluşturmakta ve gaz kabarcıklarının genişlemesini sağlamaktadır. Buharlaşmanın neden olduğu sıcaklıktaki ani azalma ve nem kaybından kaynaklanan viskozitedeki artış oluşan hücresel yapıda sertleşmeye neden olmaktadır. Bu reolojik değişimi camsı halin oluşması takip etmektedir. Özellikle buğday, mısır, pirinç veya patates gibi nişasta polimerleri yapı oluşturan malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Doğada en bol

halde bulunan doğal nişastalarda bulunan ortalama polimer boyutu, optimum genişleme için çok büyüktür. Yüksek oranda küçük amiloz polimerlerinden oluşan amilomaize, en fazla genişlemeye uğrayan doğal nişastadır (Frame ve Harper, 1994; Guy, 1994)

Yapı oluşturan polimerlerin hem ekstrüde ürünün maksimum genişlemesine olanak vermesi hem de gaz hücrelerinin çatlamasından sonra ürünün büzülmesini engelleyecek veya kontrol edecek nitelikte yeterli viskoziteyi sağlayabilecek bir molekül ağırlığına sahip olması gerekmektedir. Viskozitenin çok yüksek olması halinde, Ekstrüde ürün hızlı büzülme ve genişlemeden kaynaklı kayıplar olacaktır.

Proteinler, örneğin soya proteini gibi bakliyat proteini ve buğday proteini gibi tahıl proteini de ekstrüde ürün yapı oluşturan malzemeler olarak kullanılmaktadır. Proteinler agrega olarak ve yüksek viskoziteli kompleksler oluşturarak film yapısı oluştururlar ve genişleyen su buharının bir kısmını yapısında tutabilir. Soğutma sırasında viskoziteleri büzülmeyi önlemek için yeterlidir ve alveolar yapının oluşmasını sağlar (Campden, 2001).

1.2.2. Dağınık-Fazlı Dolgu Malzemeleri

Gevrekler ve hayvan yemi gibi nişastaca zengin ekstrüde çerez ürünlerinin mikroskobik yapısı nişasta polimerinden oluşan sürekli bir faz ile birlikte, bu yapının içerisinde yer alan çok sayıda dağınık fazın bulunduğu göstermiştir. Bu dağınık fazda özellikle protein ve selüloz veya kepek gibi lifli maddeler belirgin olarak göze çarpmakta ve sürekli nişasta fazının içerisinde ayrı fazlar halinde bulunmaktadır. Bu dağınık fazların bir ekstrüde ürünlerdeki gerek şekil gerekse boyutları, onların orijinal partikül boyutuna ve ekstrüzyon işlemi sırasında kesme gerilimine karşı gösterdikleri dirence bağlı olarak değişmektedir. %30'dan daha düşük oranlarda ilave edilen ve suda hidratasyona uğrayıp yumuşak hamurlar oluşturan gluten gibi proteinler, işleme şiddeti oranında vida tarafından parçalanır ve ekstrüde işleme sonrası partikül büyüklükleri 5 µm kadar azalabilmektedir. Albümin gibi suda çözünen proteinler ise yüksek sıcaklıkta koagüle olur ve yapıları vida tarafından benzer şekilde parçalanarak boyutları küçültülür (Chessari ve Sellaheva, 2001; Mościcki ve van Zuilichem, 2011).

Tahıl ve tohumların kabuk ve kepek kısımlarında bulunan hemiselüloz, selüloz ve lignin gibi maddeler ekstrüzyon teolojisinde kullanılan lifli malzemeleri

oluşturmaktadır. Bu lifli malzemeler ekstrüzyon işlemi boyunca sert ve stabil kalma eğilimi göstermekte ve boyutları fazla azalmamaktadır. Dağınık fazlı malzemelerin hücre duvarları içerisindeki varlığı, nişasta filminin genişleme potansiyelini azaltmaktadır. Saf nişastadan oluşan erimiş haldeki akışkan kütleler çok elastiktirler. Bu kütleler, namlu çıkış kalıbına girip deforme olduklarında elastik enerjiyi depolarlar. Molekül içinde depolanan bu enerji, akışkanın namlu çıkış kalıbından çıkmasıyla serbest kalır ve akışkanın kalıp içerisindeki akış yönüne dik yönde bir genişlemesine neden olur. Bu nedenle, protein veya kepek içeren buğday nişastasının ekstrüzyonu sırasında kullanılan protein veya kepek oranı arttıkça kalıpta genişleme azalmakta, hatta belli bir oranın üzerine kullanıldıklarında genişleme tamamen ortadan kalkmaktadır (Xu ve ark., 2016; Kallu ve ark., 2019).

1.2.3. Plastikleştirici ve Kayganlaştırıcı Rol Oynayan Malzemeler

Düşük nem içerikli ekstrüzyon pişirme işlemlerinde, ilk görülen fiziksel etkiler sürtünme ve mekanik enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu enerji kaybı ise hamur kütesinin ısınmasını sağlar. Düşük nem içerikli sistemlerde ise bu ısınma oranı çok yüksek olmaktadır. Örneğin, %25 nem içeriğinde hammaddeler için 150°C'lik bir işletme sıcaklığına ulaşmak için dışarıdan herhangi bir ilave ısı enerjisi vermeye ihtiyaç duyulmaz. Su gibi bileşenlerin ilavesi, kuru polimer formlarının plastikleştirilmesi ve katı halden, deforme olabilen plastik akışkanlara dönüştürülmesi suretiyle etkileşimlerin azalmasını sağladığı için suyun eklenmesi mekanik enerji kaybını ve buna bağlı olarak sisteme olan ısı girişini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Guy, 1994).

Ekstrüderin vida sistemi, nişasta, lif ve protein partiküllerini mekanik olarak kesme gerilimine maruz bırakarak fiziksel formlarını değişikliğe uğratmaktadır. Sıvı ve katı yağ kullanımı hem hamur kütesi içerisinde etkileşen partikülleri, hem de namlu ve vidaların metal yüzeylerine sürtünen partikülleri kayganlaştırarak uygulanan kesme geriliminin seviyesi azaltılabilmektedir (Huber, 2001; Su ve Kong, 2007; Navale ve ark., 2015).

1.2.4. Çözünen Katı Maddeler

Formülasyonlarda, şeker ve tuz gibi düşük molekül ağırlığına sahip bazı maddeler aroma verme veya nem tutma amacıyla kullanılabilir. Ekstrüzyon pişirme

işleminin ön karıştırma safhasında, bu maddeler serbest hamur suyunda çözünebilir. Bu çözünen maddelerin ekstrüzyon işlemindeki etkileri konsantrasyonlarına ve nişasta ile protein polimerleriyle olan kimyasal etkileşimlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu maddelerin nişastanın yerine kullanılması halinde büyük polimerlerin viskoz etkisi azalacaktır ve su seviyesi sabit kaldığı sürece erimiş haldeki kütlenin viskozitesini azaltmada rol onacaktır (Gomez ve Aguilera, 1983; Leonard ve ark., 2020)

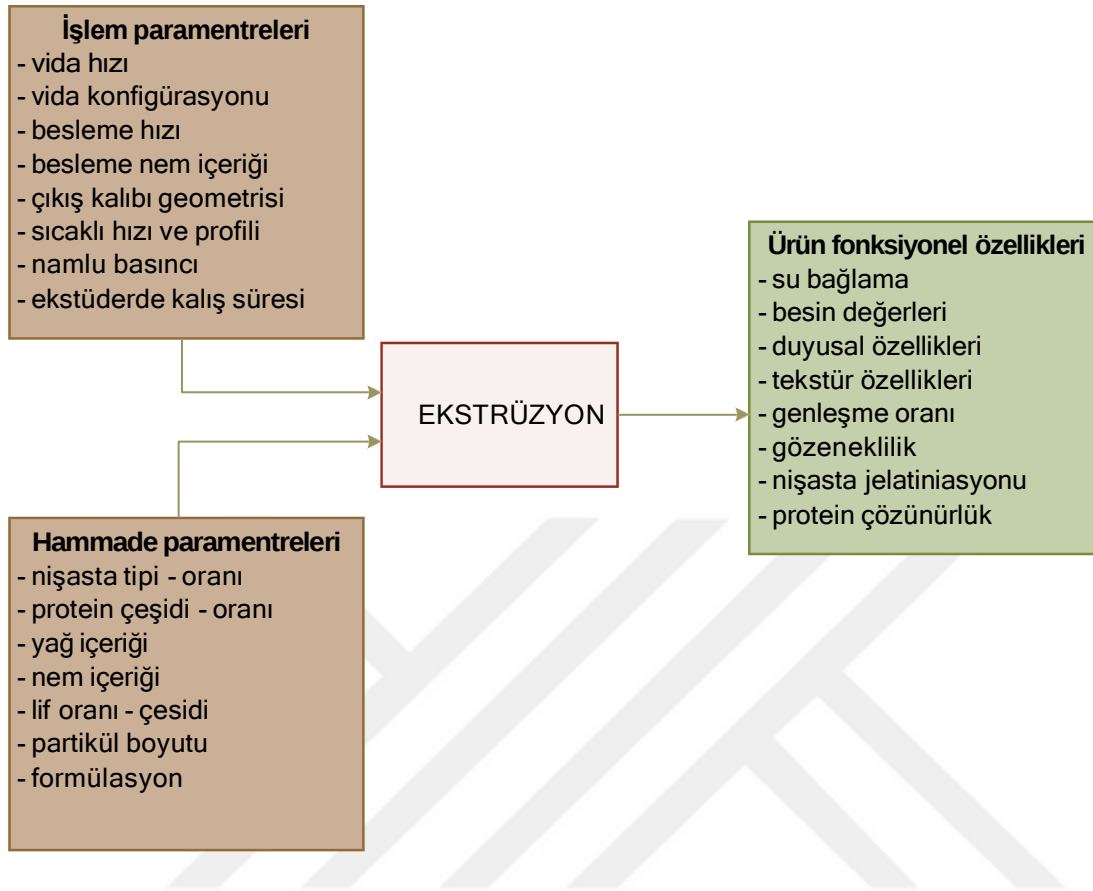
1.2.5. Gözenek Oluşturucu Maddeler

Toz formda olan kalsiyum karbonat ile magnezyum silikat gibi maddeler ekstrüzyon ürününde kabarcık sayısını arttırmakta rol oynamaktadır. Hamur içerisine; çözünmeden kalan, ince toz haline getirilmiş bir maddenin eklenmesi ile kabarcık oluşumunda ihtiyaç duyulan enerjinin azalması amacıyla gerekli yüzeyler sağlanmakta ve böylece kabarcıkların sayısı arttırılabilmektedir (Hussain ve ark., 2002; Yanniotis ve ark., 2007; Kim ve ark., 2011).

1.2.6. Lezzet Verici Maddeler (Palatants)

Lezzet verici maddeler, ekstrüzyon esnasında ya da ekstrüzyon sonrası ikincil işlemler sırasında ilave edilmektedir (Cheftel, 1986)

1.3. Ekstrüzyon İşleme Teknolojisinde Kullanılan Parametreler



Şekil 3. Ekstrüzyon pişirmede hammadde özellikleri, işlem değişkenleri ve ürün özelliklerinin etkileşimi (Offiah ve ark., 2019).

Şekil 3’te gösterildiği gibi ekstrüzyon işleme teknolojisi de kullanılan parametreler, hammadde özellikleri, ekstrüzyon proses parametreleri ve ürünün fonksiyonel özellikleri olarak gruplandırılabilir. Her bir parametre ürün özelliklerine etki edebilmektedir.

1.4. Ekstrüde Ürünlerin Özellikleri

1.4.1. Genleşme İndeksi

Genleşme indeksi, ekstrüzyon ürününün namlu çıkış kalıbından çıkışı esnasında meydana gelen genişlemenin derecesi olarak tanımlanabilir. Genleşme derecesi gerek işlem parametrelerine gerekse besleme malzemesinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Besleme nem içeriğindeki artış genleşme indeksini azaltmaktadır. Besleme nem içeriğindeki artış, erimiş haldeki kütlenin namlu/vida arasındaki

sürtünmeyi azalttığından, kütlenin sıcaklığı düşmektedir. Bu durum, nişasta jelatinizasyonunun azalmasına ve böylece ürünün genişlemesinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca namlu çıkış kalıbı ile atmosfer arasındaki basınç farkı kısmen erimiş haldeki kütlenin viskozitesini, dolayısıyla genişleme indeksini etkileyecektir. Düşük besleme nem içeriğinde daha yüksek viskozite söz konusu olacak ve oluşan yüksek basınç farkı genişlemesi fazla olan ürünlerin oluşumuna neden olacaktır. Besleme malzemesinin nem içeriği namlu içerisindeki kütlenin akış özelliklerini etkileyerek buhar basıncını oluşturduğu ve erimiş haldeki kütlenin namlu çıkış kalıbından çıkışı esnasında daha fazla nemin hızla uzaklaştığı belirtilmiştir. Öte yandan, yüksek nem içeriği söz konusu olduğunda, erimiş haldeki kütlenin viskozitesi azalmakta ve kalıp çıkışı esnasındaki su buharının ani uzaklaşması sırasında kabarcıklar daha fazla büzülmekte ve çatlamaktadır (Ryu ve Ng, 2001; Bordoloi ve Ganguly, 2014; Alam ve ark., 2016). Buna ilave olarak daha yüksek nem içeriğine veya daha düşük viskozite değerlerine sahip kütlelerin daha düşük bir camsı geçiş sıcaklıkları olduğundan, kabarcıkların sertleşmesi sırasındaki kabarcık çatlaması artmaktadır (Della Valle ve ark., 1997; Moraru ve Kokini, 2003)

Besleme hızının da ekstrüzyon ürünü genişlemesi üzerine önemli bir etkisi vardır. Besleme hızının artırılması ile genişlemenin önemli derecede arttığı ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar belirli bir noktaya kadar namlu sıcaklığındaki artışın da genişlemeyi arttırdığı, ancak bir noktadan sonra sıcaklık artışının genişlemede azalmaya yol açtığını göstermiştir. 140 °C'e kadar olan sıcaklık artışı ile gerçekleşen genişlemedeki artış nişastanın jelatinizasyonunun 110 °C-140 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmesi ile ilişkilendirilebilir. Öte yandan daha yüksek seviye sıcaklık artışı nişastanın moleküllerinin parçalanmasına neden olduğu için genişlemede azalmaya neden olmaktadır. Vida hızındaki artış sıcaklık artışına neden olduğu için belirli vida hızının üzerine çıkıldığında sıcaklık artışı daha fazla olmasından dolayı genişlemenin bir noktadan sonra azaldığı rapor edilmiştir (Rangan Chinnaswamy ve Hanna, 1988). Yapılan bir başka çalışmada yüksek sıcaklıklarda genişlemenin azalmasını, hamur viskozitesinin azalmasına bağlı olarak gözenek gelişiminde artışına, oluşan gözeneklerin duvarları düşük viskozite nedeniyle daha fazla genişleyip incelmeye ve içerisindeki buhar basıncına karşı yeterli direnci gösterememesine bağlanmıştır. Dolayısıyla ekstrüzyon ürününün gözenek duvarlarının çatladığı ve hızlı basınç kaybına bağlı olarak çöktüğü belirtilmiştir (Yuliani ve ark., 2006). Dağınık-fazlı dolgu

malzemelerinden olan lifin kullanımının, hava hücresi duvarlarının lifler tarafından çatlatılması sonucu genleşme indekslerinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir. (Arhaliass ve ark., 2009; Aguilar-Palazuelos ve ark., 2012; Tiwari ve Jha, 2017; Samray, 2018; Samray ve ark., 2019).

1.4.2. Yığın Yoğunluğu

Çoğu ekstrüzyon ürününde, ambalaj dolumu hacim yerine ağırlık üzerinden yapılmaktadır. Ekstrüzyon ürünlerinin üretiminde yığın yoğunluğu değerinde yaşanabilecek dalgalanmalar, ambalajın tam olarak dolmaması veya ürünün taşması sonucunu doğurabilmekte ve bu nedenle ticari bir kaygı oluşturmaktadır. Yığın yoğunluğu, radyal genişleme indeksi gibi sadece ekstrüdat akışına dik doğrultudaki genleşme ile ilgili değil, tüm doğrultulardaki genleşmeyi içermektedir. Dolayısıyla, genleşme derecesinin ifade edilmesinde genleşme indeksinin yanında yığın yoğunluğu da ele alınmalıdır. Yapılan araştırmalar genleşme indeksi ile yığın yoğunluğu arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu göstermiştir (Bordoloi ve Ganguly, 2014; Tiwari ve Jha, 2017).

Yüksek besleme nemi söz konusu olduğunda, ekstrüzyon işlemi nemin tümünü buharlaştırmaya yetmemekte ve bir miktar nem ürün yapısında kalmaktadır. Dolayısıyla besleme nem içeriğindeki artış yığın yoğunluğu değerlerinde artmaya neden olabilmektedir. Ekstrüzyon işlemi sırasındaki yüksek besleme nem içeriğinin, jelatinizasyonu azalttığı ve yığın yoğunluğunu arttırdığı belirtilmiştir. Namlu sıcaklıklarındaki artışın jelatinizasyonu ve ürünün daha çok genleşmesini sağlayan süper ısıtılmış buhar miktarını da arttırdığı; buna bağlı olarak daha düşük yığın yoğunluğu olan ürün üretimine yol açtığı gözlenmiştir (Samray ve ark., 2019).

1.4.3. Tekstür Özellikleri

Ekstrüde ürününün tekstürel özellikleri ürünün tazeliğini ve kalitesini yansıtmaktadır. Erimiş haldeki nişastalı kütlenin ekstrüder kalıbından çıkışında, suyun ortamdan hızla uzaklaşması ekstrüde ürüne karakteristik tekstürel özellikleri kazandırmaktadır (Kumar ve ark., 2017; Ye ve ark., 2018). Ekstrüzyon işlemi sırasında nişastalı kütlenin ekstrüder kalıbından çıkışında basınç, yüksek basınçtan atmosferik basınca ani bir şekilde düşmekte ve kütledeki su sıvı fazdan buhar fazına geçmektedir. Oluşan su buharı kabarcıkları, erimiş haldeki kütleden dışarı çıktıkça, buharlaşmadan kaynaklı

soğuma nedeniyle ürün sert bir yapı kazanmaktadır. Oluşan bu matraste hava kabarcıkları sıkışarak hapsolmakta ve karakteristik kabarmış yapı oluşmaktadır (Chanvrier ve ark., 2014; Alam ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2017; Offiah ve ark., 2019; Samray ve ark., 2019).

Erimiş haldeki kütlenin viskozitesi de nihai ürünün tekstürel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Besleme malzemesi formülasyonu, namlu sıcaklık profili, besleme nem içeriği, vida hızı, ekstrüder içerisindeki kesme kuvvetlerini etkileyen vida profili ve namlu çıkış kalıbı tasarımı vb. faktörler de bu kütlenin akış özelliklerini, yani reolojik özelliklerini etkilemektedir. Ekstrüde çerez ürünler için sertliğin düşük olması ve ürünlerin kırılabilir olması arzu edilmektedir. Dolayısıyla tekstür kalitesi açısından en iyi kalite çerez ürünlerinin düşük nem içeriği ve yüksek sıcaklık değerlerinde elde edildiği ifade edilmiştir (Harper, 1988; Anton ve Luciano, 2007; Chanvrier ve ark., 2014). Namlu sıcaklığındaki artış, ekstrüde ürünlerde sertliği azaltmakta ve gevrekliği arttırmaktadır. Sıcaklık artışının hamur viskozitesini azalttığı ve su buharı basıncını arttırdığı, dolayısıyla kabarcık oluşumunu yükselttiği ve sonuç olarak daha düşük sertlik değerlerine sahip ekstrüzyon ürünlerinin üretildiği belirtilmiştir. Öte yandan, besleme hızı ve besleme nem içeriğindeki artışın ürün yoğunluğunu ve sertliğini arttırdığı gözlenmiştir (Samray ve ark., 2019).

1.4.4. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi

Suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi özellikleri, ekstrüzyon pişirme işlemi sonucunda nişastanın granüler formdan dönüşüm derecesi hakkında fikir vermektedir. Ekstrüde ürünlerinin suda çözünürlüğü, ekstrüzyon işlemi sonrasında nişastadan salınan çözünebilir bileşenlerin miktarını belirleyerek, nişasta bileşenlerinin zedelenmesi hakkında bilgi vermektedir. (Zhang ve ark., 2014; Milani ve Koocheki, 2021).

Su bağlama kapasitesi ise, ürün tarafından bağlanan su miktarını göstermektedir. Nişastaca zengin hammaddelerden üretilen ürünlerde, ürünün aşırı su içinde dağılmasından sonra nişasta tarafından tutulan su miktarını ölçmekte kullanılmaktadır. Böylece yüksek sıcaklık ve kesme koşullarındaki ekstrüzyon işlemede nişastanın jelatinizasyon ve parçalanmaya bağlı zedelenme derecesi ile ilişkilendirilebilmektedir.

Ekstrüzyon işlemi sonucunda dekstrinize nişasta miktarındaki artış suda çözünürlük değerinde artışa neden olmaktadır. Öte yandan, parçalanmış nişasta, protein ve lipid bileşenleri arasındaki moleküler etkileşimler, molekül ağırlıklarında artışa ve suda çözünürlük değerlerinde azalmaya neden olabileceği belirtilmiştir. Su bağlama kapasitesi, OH grupların varlığına ve makro moleküllerin jel oluşturma kapasitelerine bağlıdır. Suda çözünürlük parçalanmış nişasta ile birlikte yeni kompleks oluşumlarının belirlenmesinde de kullanılabilmektedir (Li ve ark., 2016; Donadelli ve ark., 2021).

Yüksek besleme nemine sahip içeriklerle gerçekleştirilen ekstrüzyon işleminde aşırı su plastikleştirici etki göstererek nişasta granüllerinin parçalanma derecesini azaltmaktadır. Sabit vida hızı ve besleme nem içeriği koşullarında, namlu sıcaklığının arttırılması, su bağlama kapasitesini azalttığı ve suda çözünürlüğü arttırdığı belirtilmiştir (Mian N. Riaz ve Rokey, 2011). Arttırılan namlu sıcaklığı koşullarının ise nişasta jelatinizasyonunda artışa neden olduğu belirtilmektedir (Ryu ve Ng, 2001). Ancak gerek formülasyonlarda kullanılan hammaddeler, gerekse ekstrüzyon işlem koşullarına bağlı olarak namlu sıcaklığının suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi üzerine etkisi üzerine farklı bulgular da söz konusudur (Samray ve ark., 2019). Sabit besleme nem içeriği ve sabit namlu sıcaklığı koşullarında vida hızındaki artışın su bağlama kapasitesini azalttığı ve suda çözünürlüğü arttırdığı belirtilmiştir. Bu durum, vida hızının daha fazla zedelenmiş polimer zincirlerine neden olarak nişasta moleküllerinin su bağlama kabiliyetini azaltması ile ilişkilendirilmektedir (Hsieh ve ark., 1990; Brennan ve ark., 2013).

1.5. Ekstrüzyon Pişirme ve Köpek Maması Üretimi

Köpek sahipleri genellikle dengeli ve tam bir beslenme olanağı sunan hazır mamaları kendi hazırlayacakları mamalara göre daha çok tercih etmektedir. Ticari evcil hayvan mamaları temel olarak kuru, yarı nemli, nemli ve atıştırmalıklar olmak üzere dört temel diyet tipine ayrılabilir (Lankhorst ve ark., 2007). Dünya çapında kuru evcil hayvan mamaları miktar ve değer bakımından en büyük ürün grubunu oluşturur (Laxhuber, 1997). Nemli mamalarda yeterli termal işlemin olmaması ve yanlış depolama koşulları nedeniyle mikrobiyal büyüme gelişebilir. Bu, bozulmaya ve toksinlerin gelişimine neden olabilir. Yüksek sıcaklıkta ürünlerin sterilizasyonunu sağlaması, besin sinderilebilirliğini arttırması, istenilen şeklin ve tekstürel özelliklerin elde edilebilmesi

gibi önemli avantajlardan dolayı ekstrüzyon işlemi köpek maması üreticileri tarafından özellikle tercih edilmektedir (Pacheco ve ark., 2018).

Evcil hayvan maması imalatında balık, et, tahıllar ve diğer sebze ürünleri gibi hammaddelerden çeşitli şekil ve boyutlarda ekstrüdatlar üretilir. Hammaddeler ekstrüzyon pişirme öncesi ön koşullandırma gibi çeşitli işlemlerden de geçirilebilir. İlk aşamada, kullanılacak ham maddeler besinsel ihtiyaçları karşılayacak oranlarda karıştırılır ve gerekli miktarda su eklenir. Su fazının buhar olarak eklenmesi de mümkündür, bu durum koşullandırmaya yardımcı olur ve ekstrüzyon sırasında gerekli olan enerji miktarını azaltabilir. Kuru hammaddelerin (tahıllar gibi), karıştırma öncesi öğütülmesi suyun homojen bir biçimde emilimini sağlamaktadır. Ekstrüzyondan önce karışımı oluşturan partiküllerin homojen bir partikül boyut dağılımına sahip olması son ürünün yeterli ve eşit oranda pişirilebilmesi için önemlidir. Ekstrüde ürünlerin görünüşlerinin, lezzetlerinin ve tekstürel yapılarının istenilen düzeyde olabilmesi ürün formülasyonuna bağlı olduğu kadar bahsedilen ön işlemlere de bağlıdır (Phillips, 1989; Kvamme ve Phillips, 2003). Sonraki aşamada, hazırlanan karışım ekstrüderde işlenir, bu amaçla değişik tiplerde ekstrüderler geliştirilmiştir. Ekstrüzyon işleminin ardından ise ürünlerin genellikle kurutulması gerekmektedir. Güvenli bir su aktivitesine sahip olan ekstrüdatlara aroma verici maddelerin eklenmesi genellikle ürünlerin üzerine yapılan püskürtme yoluyla yapılmaktadır. Püskürtme işlemi sırasında enerji kaynağı olan yağın bir kısmı da kullanılabilir. Köpek maması üretiminde genellikle vitamin premiksleri ve aroma maddelerini içeren bir yağ süspansiyonu kaplama amacıyla ürünlere püskürtülmektedir.

Kaplama işlemi sırasında, kullanılan yağ süspansiyonun hızlı ve tam olarak emiliminin sağlanması için genellikle belli bir sıcaklığın üzerinde olması gerekmektedir. Ürünlerin kaplama sonrası soğuması ve yağ süspansiyonunun ürünlerin içerisine difüzyonun tamamlanması amacıyla bir soğuma bandı da üretim sırasında kullanılabilir.

Köpek maması üretiminde kullanılan ekstrüderler vida çeşidi, vida hızı, sıcaklık kontrolü gibi ürün özelliklerine doğrudan etki eden kontrol olanaklarına sahiptirler. Ekstrüzyon işleminin uygun biçimde kontrol edilmesi proteinlerin koagülasyonu, nişasta jelatinizasyonu ve yağ damlacıklarının modifikasyonu için önemlidir. Nem de en önemli işlem değişkenlerinden biridir. Nemin homojen bir biçimde bileşen

partiküllerine penetrasyonu ve jelatinizasyon artan ısı transferi ile mümkün olmaktadır (Serrano, 1997).

Ekstrüzyon sırasında, evcil hayvan mamaları, ürünün fiziksel ve besinsel kalitesini oluşturan kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğrarlar (Kvamme ve Phillips, 2003). Söz konusu değişiklikler, proteinlerde disülfat köprülerinin oluşumunu ve alkali amino asitler ile indirgen şekerler arasındaki bir reaksiyon olan Maillard ürünlerinin oluşumunu da içerebilir. Ekstrüzyon pişirme sırasında yağ damlacıkları küçük damlacıklara ayrılır ve bu da ürünün genleşmesini kolaylaştırır (Lin ve ark., 1997, 1998). Aynı zamanda proteini tekstüre eder ve proteinin denatürasyonuna ve nişastanın jelatinleşmesine neden olur (Lin ve ark., 1997). Protein yapısındaki değişiklikler gıda proteinlerini daha sindirilebilir hale getirilmesinde önemli bir paya sahiptir (MacLean Jr ve ark., 1983; Coulter ve Lorenz, 1991). Bu sayede protein kalitesi artar. Ekstrüzyon işlemi proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve vitaminlerin ulaşılabilirliğini değiştirerek ekstrüde ürünlerin besleyicilik özelliklerini de etkilemektedir. Proteinlerin denatürasyonu, karbonhidrat yapısının değiştirilmesi, lipitlerin oksidasyonu ve Maillard reaksiyonları gibi reaksiyonlar, ürünlerin beslenme özelliklerini belirlemektedir (Björck ve Asp, 1983; Björck ve ark., 1986). Ek olarak, sıcaklık ve ekstrüzyon pişirmede oluşan yüksek basınç, doğal olarak oluşan toksinleri (mikotoksinler, glikoalkaloidler ve alerjenler), besinsel özellikleri etkileyen faktörleri (tripsin inhibitörleri, gossypol, vb.) ve ayrıca mikroorganizmaları önemli oranda azaltır veya tamamen ortadan kaldırır (Harper ve Jansen, 1981; Harper, 1988). Ancak bu olumlu etkiler için hangi spesifik sıcaklıkların gerekli olduğuna dair genel bir kuralın literatürde olmadığı görülmektedir. Bu nedenle ekstrüzyon işlemi, proses ve ürün parametreleri arasındaki ilişkileri de içeren karmaşık bir süreçtir. Günümüzde köpek mamalarının, gerek üretim miktarı gerekse ekonomik büyüklük bakımında oldukça önemli bir sektör olmasına rağmen, ilgili literatür yeterince geniş değildir. Özellikle diyet bileşenleri ile ekstrüzyon işlemi aşamaları (yüksek kayma hızı, basınç, sıcaklık ve kurutma gibi) arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalar çok sınırlıdır (Paquet ve ark., 1987; Phillips ve Finley, 1989).

Ekstrüzyon pişirme teknolojisi, ticari kuru köpek ve kedi diyetlerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır: kuru evcil hayvan mamalarının yaklaşık yüzde 95'i ekstrüde ürünlerdir (Spears ve Fahey Jr, 2004). Bu işleme teknolojisinde, hammaddelerden oluşan karışım buharla şartlandırılır, sıkıştırılır ve ekstrüderin kalıbı

boyunca basınç altında taşınır (Rokey ve Plattner, 1995; Mian N Riaz ve Rokey, 2011). Evcil hayvan diyetleri üretmek için ekstrüzyon pişirmenin yaygın olarak kullanılmasının bir başka nedeni de, bu teknolojinin hammaddeleri karıştırmak için sağladığı çok yönlülüğüdür (Rokey ve Plattner, 1995). Ekstrüzyon işlemi sırasında çok çeşitli besin bileşenleri işlevsel olarak geliştirilir, detoksifiye edilir, sterilize edilir ve tekstüre edilir (Cheftel, 1986).

Ekstrüzyon pişirmenin ürün kalitesine etkileri üzerine kapsamlı derlemeler yayınlanmıştır (Harper ve Clark, 1979; Björck ve Asp, 1983; Cheftel, 1986; Svihus ve ark., 2005). Termomekanik bir işlem olarak, ekstrüzyon pişirme, sindirilebilirliği değiştirerek veya proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve vitaminler gibi besin maddelerinin kullanımını değiştirerek ekstrüde ürünlerin özelliklerini etkileyebilir. Ek olarak, proteinlerin denatürasyonu, karbonhidrat yapısının değişmesi, lipitlerin oksidasyonu ve farklı gıda bileşenleri arasındaki Maillard reaksiyonları, ekstrüde ürünlerin beslenme kalitesini değiştirebilmektedir. Ekstrüzyon pişirme teknolojisinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini tartışan çalışmalar çoğunlukla diyet bileşenleri, domuz yemleri, et analoglar, hayvan yemleri ve diyetetik gıdalarla sınırlandırılmıştır (Sun ve ark., 2006). Ekstrüzyon sırasında proses değişkenlerinin etkileri yaygın olarak kabul edilmesine rağmen, (Cheftel, 1986), ekstrüzyon pişirmenin köpek mamalarına etkileri hakkındaki literatür oldukça sınırlıdır.

1.5.1. Ekstrüzyonun Nişasta Üzerindeki Etkileri

Köpek mamaları, esas olarak tahıl tanelerinden elde edilen ve kütlege % 50'ye kadar ulaşabilen oranda nişasta içerebilir (Spears ve Fahey Jr, 2004). Tahıl tanelerindeki nişasta, endospermdeki yarı kristalin veya amorf bölgelerin eşmerkezli katmanlarında bulunmaktadır (Svihus ve ark., 2005). Ekstrüzyon pişirme, granüllerin şişmesine, fragmentasyonuna, kristal yapının modifikasyonuna, soğuk sudaki çözünürlülüğünde artışa, nişastanın viskozitesinde azalmaya ve amiloz ve amilopektin moleküllerinin salınımına neden olur (Cheftel, 1986). Düşük bir nem içeriğinde ekstrüde edildiğinde, nişasta granüllerinin yapısı, ısı uygulaması ile değişir (kristalin yapının kaybı) ve vidaların uyguladığı kayma gerinimi granüler parçalanma oluşmasına neden olur. Bu durum nişastanın bir eriyik haline gelmesine yol açar ve jelatinizasyon olarak adlandırılır (Lin ve ark., 1997; Brümmer ve ark., 2002; Svihus ve ark., 2005). Ekstrüde ürünlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, namludaki gıda karışımının viskozitesinden

de etkilenmektedir. Karışımın viskozitesi ise nişastanın jelatinizasyon derecesi ile yakından ilişkilidir (Lai ve Kokini, 1991; Lin ve ark., 1997). Sıcaklık, ekstrüzyon öncesi nem seviyesi, amiloz ve lipit içeriği, ekstrüzyon sırasında nişasta granüllerinde yapısal değişikliklere neden olabilecek faktörlerdir.

Tahıl ve patates nişastaları ekstrüzyon sırasında farklı değişikliklere uğrayabilir. Yapılan çalışmalar jelatinizasyonun tapyoka nişastasının sindirilebilirliğini arttırdığı, ancak buğday nişastasının sindirilebilirliği üzerinde göreceli olarak daha az bir etkisinin olduğunu göstermiştir (Wolter ve ark., 1998; Sun ve ark., 2006). Öte yandan bir başka çalışmada ise, arpa ve mısırdaki sindirilebilir nişastanın ekstrüzyondan sonra arttığı gösterilmiştir (Walker ve ark., 2002; Dust ve ark., 2004; Zeng ve ark., 2022). Yüksek nem ve yüksek sıcaklıkta yapılan başka bir çalışmada ise, ekstrüzyon işlemi, jelatinizasyonun tamamen oluşmasına ve dolayısıyla in vitro ve in vivo nişasta sindirilebilirliğinde önemli bir artışa neden olduğu gösterilmiştir (Murray ve ark., 2001; Dust ve ark., 2004; Svihus ve ark., 2005).

Nişastanın retrogradasyonu, jelatinleşmiş nişastanın amorf bir matriste kristalleşmesidir, bu süreçte amiloz, önemli olan nişasta bileşenidir. Retrograde nişasta, kalın bağırsakta fermente edilebilir veya atılabilir, bu da köpeklerde lif benzeri (fermente edilebilir) özellikler verir (Svihus ve ark., 2005; Tran ve ark., 2008). Yapılan çalışmalar, bazı retrograde nişasta kaynaklarının kalın bağırsakta kolayca fermente olduğunu ve kısa zincirli yağ asitlerine dönüştüğünü göstermiştir. Bu arada, bazı retrograde nişastaların ise daha az fermente olduğunu, bu durumun da köpeklerde dışkıyı gevşeten ve bağırsak hareketlerini arttıran etkilere neden olduğu belirtilmiştir (Spears ve Fahey Jr, 2004; Sharma ve ark., 2015; Y. Liu ve ark., 2019). Örneğin, köpekleri retrograde nişastada yüksek bir diyetle beslemek, dışkı kütlesi ve mikrobiyal madde atılımını arttırmıştır (Spears ve Fahey Jr, 2004). Farklı tahıllardan elde edilen nişasta ve retrograde nişasta sindirim oranları ile ilgili yapılan çalışmalarda, nişasta kaynağına bağlı olarak sindirim oranlarında önemli ölçüde farklılıklar gözlenmiştir (Murray ve ark., 2001; Moschakis ve ark., 2005). Retrograde nişasta sadece ekstrüzyon sırasında oluşmamaktadır. Köpek mamalarının üretimi sırasında kullanılan kurutma ve soğutma aşamalarında da retrogradasyonun gerçekleştiği bilinmektedir (Murray ve ark., 2001; Dust ve ark., 2004; Svensson ve ark., 2021).

Ekstrüzyon işleminin nişasta moleküllerine olan diğer bir etkisi de lipit-amiloz komplekslerinin oluşumudur. Lipit moleküllerinin hidrokarbon zincirini amiloz molekülünün hidrofobik kısmında tutarak nişasta-lipit komplekslerinin oluşumunu artırabilir ve bu da bir lipit-amiloz kompleksi ile sonuçlanır (Lin ve ark., 1997; Gibson, 2015a). Örneğin, monogliseritli bir kompleksin oluşumu, amilazın onu sindirmesini önleyebilir. Benzer biçimde proteinler veya amino asitler gibi diğer besin maddeleri ile oluşabilecek kompleksler ise sindirilebilirliği sınırlandırılabilir. Murray ve ark. (Murray ve ark., 2001), amilozun uzun zincirli doymuş monogliseritlerle kompleksleştiğinde, amiloz-lipid komplekslerinin in vitro sindirime dirençli olduğunu göstermişlerdir.

1.5.2. Ekstrüzyonun Lipit Üzerindeki Etkileri

Tavuk yağı, bitkisel yağlar, balık yağı gibi kaynaklardan elde edilen lipitlerin besin değeri, hidrojenasyon, izomerizasyon, polimerizasyon ve lipit oksidasyonu nedeniyle ekstrüzyon sırasında olumsuz yönde değişebilmektedir (Rokey ve Plattner, 1995). Lipid oksidasyonu, evcil hayvan yemlerinin üretilmesi ve depolanması sırasında dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yağ tipi, yağ içeriği, nem içeriği ve genleşme derecesi gibi faktörler oksidasyon hızını ve dolayısıyla mamaların raf ömrünü etkilemektedir (Lin ve ark., 1998; Hendriks ve ark., 2000). Ayrıca, eser minerallerin, özellikle demirin ve biyolojik antioksidanların kullanımının, ekstrüzyon sonrası oksidasyonda önemli bir rol oynadığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Lin ve ark., 1998; Ilo ve ark., 2000; Deffenbaugh, 2007).

Belirli ekstrüzyon koşulları altında, lipit-protein veya lipit-nişasta kompleksleri oluşabilir. Örneğin, yüksek nem ve yüksek sıcaklık koşulları, proteinlerdeki amino asitlerin lipitlerin hidrolizini arttırabilmektedir (De Pilli ve ark., 2008, 2011). Amiloz-lipid komplekslerinin oluşumu da ekstrüzyon sırasında gerçekleşebilmekte ve mamaların besinsel değerini azaltabilmektedir (Björck ve Asp, 1983; Thachil ve ark., 2014).

Köpek maması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, ekstrüzyonun ham yağ ve yağ asitleri üzerindeki etkilerine ilişkin literatürün oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Altı yetişkin köpekte yapılan bir çalışmada ekstrüzyonun, azot, kuru madde, yağ ve külün sindirilebilirliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir (Deffenbaugh ve ark., 1996; Hendriks ve ark., 2000). Bu durum, evcil

hayvan yeminin ekstrüzyonu sırasında lipit kompleksleri oluşmuşsa, bu komplekslerin kolayca sindirilebileceği yönünde değerlendirilmiştir. Bir başka çalışmada ise ekstrüzyon işlemimin hammaddelerde bulunan lipaz ve lipoksidaz enzimlerini inaktive edebileceğini ve depolama sırasında yağ asitlerinin oksidasyonu azalttığı bildirilmiştir (Lin ve ark., 1998).

1.5.3. Ekstrüzyonun Protein Üzerindeki Etkileri

Evcil hayvan mamalarındaki protein bileşeni, kuru maddenin %20 ila %70'ini oluşturabilmektedir (Rokey ve Plattner, 1995). Bu göreceli yüksek oran, köpekler ve kedilerin doğası gereği etçil olduğu için gereklidir. Mamalarda bulunan proteinlerdeki amino asit bileşimi, sindirilebilirliği ve daha sonra da ulaşılabilirliği, besin kalitesini yakından ilgilendirmektedir (Hendriks ve ark., 2000). Tek başına bitkisel protein kaynakları, hayvansal kökenli proteinlere kıyasla taurin ve diğer kükürt amino asitleri gibi esansiyel amino asitleri yeterli miktarda sağlamamaktadır (Hickman ve ark., 1992). Bu nedenle, tahıl bazlı bileşenlere hayvansal proteinlerin eklenmesi, kediler ve köpekler için dengeli bir amino asit profili sağlamak için sıklıkla yapılmaktadır. Ekstrüzyonun protein yapısı üzerindeki etkileri, son ürün olan mamanın fiziksel ve besinsel özellikleri için olumlu veya olumsuz yönde olabilmektedir. Ekstrüzyon pişirme sırasındaki ısı işlemi, protein yapılarının bütünlüğünü tahrip ederek ve dolayısıyla besleyiciliğini düşürerek besinsel kaliteyi azaltabilir (Deffenbaugh ve ark., 1996; Hendriks ve ark., 2000; Lankhorst ve ark., 2007). Öte yandan, bazı çalışmalarda ise ekstrüzyonun olumlu etkilerinden bahsedilmektedir. Proteinlerin kısmi denatürasyonu, onları sindirim enzimlerine karşı daha hassas hale getirebilir ve bu nedenle ekstrüzyon işlemi proteinlerin sindirilebilirliğini artırabilmektedir (Fapojuwo ve ark., 1987; Dahlin ve Lorenz, 1993; Hendriks ve ark., 2000).

Evcil hayvan mamalarında bulunan enzimler (örneğin lipoksijenaz, peroksidaz) depolama sırasında ürün kalitesini azaltan etkilere neden olabilir, ekstrüzyon pişirme ile bu enzimlerin inaktive edilmesi olumlu bir etki olarak verilmiştir (Cheftel, 1986). Söz konusu enzimlerin inaktivasyonu depolama stabilitesine katkıda bulunur ve kuru evcil hayvan mamalarının raf ömrünü uzatır. Isıl işlemin istenmeyen etkileri arasında ise amino asitlerin inter ve intra peptid bağları ile modifiye olması, Maillard reaksiyonları ile protein-protein, protein-lipid ve protein-karbonhidrat komplekslerinin oluşması gibi bir dizi kimyasal reaksiyon verilebilir (Björck ve Asp,

1983). Öte yandan ekstrüzyon işleminin protein sindirilebilirliğinde bir artışa neden olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Egaña ve ark. (Hendriks ve ark., 2000), ekstrüzyonunun, yetişkin köpeklerde ham protein sindirilebilirliğinin, pelet mamalara kıyasla daha iyi olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte kedi ve köpek mamalarındaki ham proteinin sindirilebilirliğinin ekstrüzyon işleminden önemli oranda etkilenmediğini de göstermişlerdir. Soya fasulyesi ve diğer birçok baklagillerde, protein sindirilebilirliği ve kükürt amino asitlerinin biyolaşılabilirliği tohum globulinlerinin termal olarak açılması ve tripsin inhibitörlerinin ve lektinlerin termal inaktivasyonu yoluyla arttığı bilinmektedir (Van Der Poel ve ark., 1990; Hendriks ve ark., 2000). Ekstrüzyon sırasında oluşan sıcaklık artışı, proteaz inhibitörlerinin inaktivasyon oranını arttırmaktadır ve böylece baklagil proteininin, protein sindirilebilirliğine olumlu yönde etki etmektedir. Evcil hayvan mamalarında, Bednar ve ark. (Bednar ve ark., 2000), çeşitli bitkisel ve hayvansal protein kaynaklarının işlenmesinin köpeklerde besin sindirilebilirliği üzerindeki etkisini incelemiş ve farklı bitkisel protein kaynaklarına sahip ekstrüde mamaların yeterli düzeyde sindirilebilir protein ve amino asit sağladığını bildirmiştir (Rufián-Henares ve Delgado-Andrade, 2009) .

Ekstrüzyon sonucu protein kalitesinde azalmaya neden olan ana mekanizmalardan biri de Maillard reaksiyonudur. Maillard reaksiyonu erken, ileri ve son aşama olarak üç aşamaya ayrılabilir. Erken aşama, kimyasal olarak renkli bileşenlerin oluşmadığı iyi tanımlanmış bir adımdır. İleri aşama, uçucu veya çözünür maddelerin formasyonuna yol açan çeşitli reaksiyonlardan oluşurken, son aşamada çözünmeyen kahverengi polimerler (melanoidin) oluşur (Lankhorst ve ark., 2007). Bu ürünler aromada olumlu etkilere sahiptirler ve ürünün kahverengileşmesini sağlarlar. Birçok çalışma, ekstrüzyon sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonları sonucu oluşan lizin kaybını ekstrüzyonun proses parametrelerine bağlamıştır (Ledl ve Schleicher, 1990). Genel olarak, Maillard reaksiyonunu etkileyen proses parametreleri sıcaklık, nem içeriği, termal süre ve pH değeridir (Chiang, 1983). Ekstrüzyon sıcaklığı ve süresi, Maillard reaksiyonu için en önemli proses parametreleridir ve reaksiyon hızı sıcaklık ve süre ile doğru orantılıdır. Evcil hayvan mamaları ve diğer hayvan yemlerindeki kayıpları en aza indirmek için ürün sıcaklığı 180°C'nin altında tutulması önerilmektedir (Cheftel, 1986). Ayrıca karbonhidratlar, lipitler, oksitlenmiş polifenoller, B6 vitamini ve diğer katkı maddeleri gibi oksidasyon ürünleri de proteinler ile reaksiyona girebilir (Hurell

ve Carpenter, 1981). Söz konusu reaksiyonlar da protein ulaşılabilirliğini azaltabilmektedir (Salazar-Villanea ve ark., 2018).

1.5.4. Ekstrüzyonun Mamaların Lezzetine (Palatability) Etkileri

Evcil hayvan maması üretiminde, “palatability”, aroma, ağız hissi (doku, şekil ve parçacık boyutu) gibi faktörlerle ilgilenen lezzetlilik olarak değerlendirilebilmektedir. Genel olarak mama tercihlerini ve yutma davranışını belirleyen bir kavramdır. Lezzetlilik, bir köpek veya kedi tarafından mama seçiminde en önemli faktörlerden biridir. Lezzetlilik, mamanın besin bileşimi, örneğin yağ ve karbonhidrat oranı gibi bir dizi faktörden etkilenebilir (Hendriks ve ark., 2000; Case ve ark., 2010; Castrica ve ark., 2018). Kvamme ve Phillips'e (Kvamme ve Phillips, 2003) göre, ekstrüzyon, spesifik mekanik enerji seviyesinin (SME) kontrolü ile lezzetliliği etkilemede rol oynamaktadır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan enerji termal (buhar ve sudan) ve mekanik (ana tahrik motorundan) olmak üzere iki ana formdan oluşur. Ürünlerde kullanılan mekanik enerji, vida konfigürasyonu, kalıp konfigürasyonu, ekstrüder hızı gibi değişkenler ile lezzetlilik ayarlanabilmektedir. Kediler ile yapılan bir çalışmada artan SME değeri ile lezzetliliğin arttığı bildirilmiştir (Kvamme ve Phillips, 2003). Köpeklerin ise SME'ye göre daha çok termal enerji ile pişirilmiş mamaları tercih ettiği bildirilmiştir (Dunsford ve ark., 2002). Mamalarda lezzet kaybı mikrobiyal büyüme ve oksidasyon gibi faktörlerin yanında tekstürdeki değişikliklerden de kaynaklanabilir (Deffenbaugh, 2007). Bu nedenle ekstrüder namlusunda gerçekleşen genleşme derecesinin kontrolünün önemli olduğu düşünülmektedir (Lin ve ark., 1998; Koppel ve ark., 2015).

1.6. Köpek Maması Üretimi ve Fırıncılık Teknolojisi

İnsan gıdalarında fırıncılık teknolojisi, fırıncılık ürünleri olarak adlandırılan ekmek, bisküvi, kraker gibi birçok ürünü kapsayan ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Köpek mamaları düşünüldüğünde ise ülkemizde fırınlama teknolojisi ile üretilen ürün yok denecek kadar azdır. Ödül maması adı verilen bazı ürünler bulunmasına rağmen günlük ihtiyacı karşılayacak ve düzenli olarak tüketilebilecek mama çeşidi ülkemizde bulunmamakta, dünyada ise yeni yeni bilinmektedir (Gibson, 2015a). Evcil hayvan maması endüstrisi büyük miktarlarda evcil hayvan yemi üretmesi ve gelir elde etmesine rağmen, proses ve bileşenlerin son ürün üzerine etkisini inceleyen çok az

sayıda yayınlanmış araştırma yapılmıştır. Ayrıca, nihai ürün özelliklerini (yoğunluğu, nişasta jelatinizasyonu ve diğer fiziko-kimyasal özellikler gibi) etkileyebilecek işleme sırasında kullanılan enerji türünü kategorize eden yayınlanmış ciddi bir araştırma eksikliği de vardır. Özellikle fırınlanmış köpek maması ile ilgili makale yok denecek kadar azdır (Koppel ve ark., 2014).

Köpek mamalarının fırın ile pişirilmesi hem kesikli hem de devamlı sistemler ile yapılabilir. İlk aşamada tüm malzemeler (tahıl unları, et/et yan ürünleri, vitaminler vb.) birlikte karıştırılır. Karıştırıldıktan sonra, su ilavesiyle %35 - %45 civarında neme kadar getirilir ve malzeme kısa bir hamur veya gelişmemiş bir hamur halinde karıştırılır / yoğrulur. Ticari olarak yapılacak üretimlerde, hamur daha sonra inceltir ve / veya kesilir ve istenen şekillere kalıplar yardımıyla sokulur. Endüstri ortamlarında bu işlem seti döner bir kalıp kullanılarak yapılır. Döner kalıplama sırasında, köpek maması hamuru istenen şekle ve derinliğe sahip bir kalıba bastırılır. Şekillendirilmiş hamurlar, 10-20 dakika boyunca 175-230°C arasında değişen sıcaklık ayarlarına sahip bir tünel fırında pişirilir. Pişmiş ürünler daha sonra oda sıcaklığına soğumaya bırakılır ve paketlenir (Gibson, 2015b, 2015a).

1.7. Gıda İsrafı

Gıda kayıp ve israfı ile mücadele bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir. Dolayısıyla gıda israfı, tarladan atık alanına kadar her aşamada düşünülmelidir. Her yıl dünyamızda gıdaların 1/3'ü israf edilmektedir. İsraf edilen gıdaların %40'ı otel ve restoranlar dahil olmak üzere toplu tüketim yerlerinden kaynaklanmaktadır. İsraf edilen gıdalar sera gazı emisyonunu %10 oranında arttırmaktadır. Sonuç olarak, gıda kayıp ve israfını azaltmak çevresel olumsuzlukları azaltmanın yanında her geçen gün artan nüfusun gıdaya erişimini kolaylaştırmakta rol oynamaktadır (Şahin Songül Kılınç ve Bekar, 2018; Onurlubaş ve Altunışık, 2019)

Tarım ve Orman Bakanlığının 'Gıdanı Korumak ve Sofrana Sahip Çıkmak' proje çalışmasına göre; toplantı vb. etkinlikler sırasında restoranların ve işletmelerin toplantı planlayıcısının yiyecek ve içecek sunumunda,

- toplantıda yer alacak tüm misafirlerin her çeşit yemeği yiyen yetişkin erkek misafirmiş gibi değerlendirildiği,

- yemeğin hazırlanmasından sorumlu olan aşçının ise bu yemek oranına ortalama %3'lük bir opsiyon oranı eklediği,
- misafirlerin etkinlik sırasında ikinci tabağa yetecek yemek olmayacağından endişelenerek tabaklarını doldurdıkları

ve böylece büyük ölçüde gıdanın israf edildiği ifade edilmiştir. 2018 yılında pilot olarak seçilen otel ve restoranlarda gıda israfını değerlendirmek amacıyla bir proje gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre her şey dahil otellerde tabakta kalan gıda miktarı %65, butik otellerde %52, restoranlarda ise %74 olarak belirlenmiştir (TMO, 2019). 'Gıdanı Koru ve Sofrana Sahip Çık' proje çalışmasına göre, bu gıdaların değerlendirilemiyorsa ihtiyaç sahiplerine bağışlanması gerektiği, bağışlanamıyorsa hayvan yemi olarak değerlendirilmesi gerektiği, hayvan yemi olarak değerlendirilemiyorsa, kompost yapımına yönlendirilmesi gerektiği ve son çare olarak atık sahasına gönderilmesi gerektiği belirtilmiştir.

FAO'nun tahminlerine göre, 2050 yılına kadar dünya nüfusu 9,8 milyara ulaşacaktır. Artan bu dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için gıda üretiminin %60 oranında artırılması gerekmektedir. Öte yandan, her yıl üretilen gıdanın 1/3'ü (1,3 milyar ton) israf edilmektedir. İsraf edilen gıdaların %40'ından restoranlar, süpermarketler ve oteller gibi perakende işletmelerin sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de yılda 18,8 milyon ton gıda israf edilmektedir. Üretilen meyve ve sebzenin yaklaşık %50'si kayıba uğramaktadır ve israf edilmektedir. Türkiye'de her gün 4,9 milyon adet ekmek çöpe atılmaktadır (Çağrı ve Öztürk, 2016).

1.7.1. Ekmeğin Bayatlaması ve Ekmek İsrafı

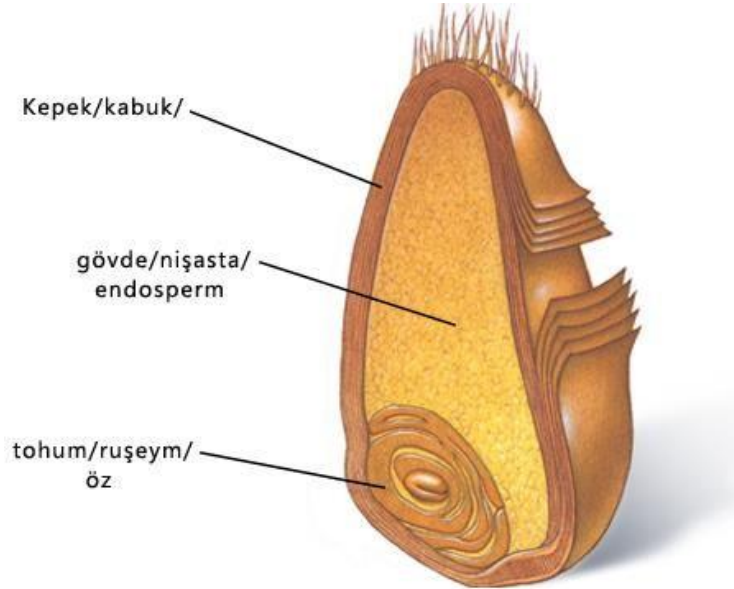
Ekmek ülkemizde yıllık yaklaşık 40 milyar adet olarak üretilmektedir. Ancak üretilen ekmeğin yaklaşık 36 milyar adeti tüketilmekte ve 4 milyar adeti ise israf edilmektedir. Ekmek israfı gerek üretim yerinde gerekse tüketim yerinde meydana gelmektedir. Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO, 2019) tarafından yürütülen çalışmalar, günlük üretilen ekmeğin 2,44 milyon adedinin satışı gerçekleştirilmeden üretim yerlerinde meydana geldiğini göstermiştir (TMO, 2019). 2013 yılında ülkemizde günde 25.295, yılda 9,2 milyon ton ekmek üretilmiştir ve oran günde 101 milyon, yılda 37 milyar adet ekmeğe denk gelmektedir. Buna karşılık günlük üretilen 123 milyon ekmeğin 6,14 milyonunun israf edildiği ortaya koyulmuştur (TMO, 2019). En fazla ekmeğin israf edildiği yerler

yemekhanesi olan iş yerleri, hastane, yurtlar, okullar, otel ve lokantalar olarak tespit edilmiştir (Güneyli ve ark., 1982; Çağrı ve Öztürk, 2016; TAŞÇI ve ark., 2017).

1.7.2. Buğday Tanesi ve Ekmek Yapımındaki Rolü

Buğdayın, dolayısıyla unlu mamullerin kalitesinde etkili olan faktörler fiziksel, kimyasal ve botaniksel olarak sınıflandırılmaktadır. Buğdayın çeşit ve türü, botaniksel faktörler açısından ele alınmaktadır. Dünyada, 15 türe ait 30 bin dolayında buğday çeşidinin olduğu tahmin edilmekle birlikte, *T. aestivum* L. (ekmeklik buğday), *T. durum* Desf (makarnalık buğday) ve *T. compactum* Host (bisküvilik buğday) ekonomik olan türlerdir (Goesaert ve ark., 2005; Özkaya, 2005).

Ekmek; un, su, tuz, maya (*Saccharomyces cerevisiae*)’nin gerektiğinde şeker, enzim, ve izin verilen katkı maddelerinin ilave edilmesiyle elde edilen karışımın yoğurulması, şekillendirilmesi, fermente edilip pişirilmesi ile elde edilen bir gıda ürünüdür (Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2012). Ekmek yapımında kullanılan buğday tanesi temel olarak endosperm (%83 - 85), kabuk (%13 - 16) ve rüşeym (%2)’den meydana gelmektedir. Buğday tanesi tam tahıl formunda veya kepek ve rüşeymin ayrılması ile elde edilen beyaz undan elde edilen ürünler şeklinde kullanılmaktadır (Ercan ve Özkaya, 1985; Tebben ve ark., 2018).



Şekil 4. Buğday tanesinin yapısı

Tipik bir buğday tanesi %70-75 nişasta, %14 su, %10-12 protein, %2-3 nişasta olmayan polisakkarit ve %2 oranında arabinoksilan ve lipit içermektedir (Goesaert ve

ark., 2005; Van Der Borcht ve ark., 2005). Buğday ekmek yapımında hiç rolü olmayan ya da çok küçük bir rolü olan gluten olmayan protein ve ekmek yapımında büyük bir rolü olan gluten proteininden oluşmaktadır. Gluten, buğdaydaki depo proteinidir ve buğday tanesindeki toplam proteininin %80-%85'ini oluşturur. Gluten proteini, nişasta granülleri etrafında sürekli bir matris oluşturdıkları olgun buğday tanesinin endosperm hücrelerinde bulunurlar (Van Der Borcht ve ark., 2005). Ekmeklerde yüksek kalite elde etmek için güçlü bir protein ağı oluşturmak gereklidir. Dolayısıyla, glutenin kalitesi ve miktarı, ekmeklerin kalitesinde kritik bir rol oynamaktadır (Coşkun ve ark., 1999; Cauvain ve ark., 2007; Cauvain, 2012; Bilgiçli ve Soylu, 2016) .

1.8. Buğday Tanesi ve Ekmek Yapımındaki Rolü

Ekmek; buğday unu, maya, su ve tuzun karıştırılması, hamurun fermentasyon işlemini takiben pişirilmesi ile elde edilen, insan beslenmesinde çok önemli bir rolü olan temel gıda maddesi olarak tanımlanabilir. Normal katkılı beyaz ekmek yaklaşık %37 su, % 8,7 protein, % 50,5 karbonhidrat, % 3,2 yağ, % 2 kül içermektedir. 100 g normal katkılı beyaz ekmek yaklaşık 270 kalori sağlamaktadır (Rosell, 2011; Mastrangelo ve Cattivelli, 2021).

1.8.1. Un

Triticum aestivum türü ekmeklik buğday olarak kullanılmaktadır. Buğday unu temizlenmiş ve tavllanmış buğdayın öğütülmesi ile elde edilir. Buğday unu öğütme işleminden sonra olgunlaştırma işlemine (en az 3 hafta) tabi tutulurlar. Dolayısıyla buğday unu öğütme işleminden hemen sonra kullanılmazlar. Buğday unu olgunlaştırma sırasında oksidasyona uğrar ve dolayısıyla unun rengi ağırlar. Olgunlaştırma işlemi ayrıca hamurun fermentasyona toleransını arttırmakta ve daha kaliteli ekmek elde edilmesinde rol oynamaktadır (Elgün ve Ertugay, 1995; Kotancılar ve ark., 1995; Coşkun ve ark., 1999).

Unlarda yer alan amilaz enzimi ekmeğin kalitesinde önemli bir rol oynamaktadır. Düşük ve yüksek amilaz aktivitesi olan unlardan yapılan ekmekler düşük kalitede olmaktadır. Yeterli düzeyde alfa amilaz enzimi; CO₂ gazının oluşumunu sağlayarak ekmeğin kabarmasını, ekmeğin kabuk renginin istenilen düzeyde olmasını ve ekmek içi gözenek yapısının iyi olmasını sağlamaktadır. Nişasta tanecikleri öğütme sırasında

karşılaştıkları basınç nedeniyle zedelenmektedir. Normal ekmeklik unlarda zedelenmiş nişasta oranı 4% kadardır ve hamurun fermantasyonu sırasında zedelenmiş nişasta amilaz enziminin çalışmasında rol oynar. Belirli yapıda hamur elde edebilmek için gerekli olan su miktarı, o unun su kaldırma değeri olarak tanımlanmaktadır. Unun su kaldırması üzerinde de zedelenmiş nişasta miktarının rolü bulunmaktadır (Elgün ve Ertugay, 1995).

1.8.2. Su

Su, organik ve inorganik bileşenler için çözücü olan, suda çözünmeyen proteinleri hidrate ederek gluten ağını oluşturan bir maddedir. Dolayısıyla su hamurdaki bileşenlerin karışmasını, homojen hamur yapısının kazandırılmasını ve hamura istenilen viskoelastik yapının kazandırılmasını sağlayan, son ürün kalitesini etkileyen önemli bir bileşendir. Ekmek yapımında kullanılan sular orta sertlikte sulardır ve içme kalitesinde olmalıdır (Ercan ve Özkaya, 1985; Coşkuner ve ark., 1999)

1.8.3. Tuz

Tuz ekmek kalitesini etkileyen diğer bir bileşendir. Tuz ekmeğe tat ve lezzet katmanın yanında hamur glutenini kuvvetlendirici rol de oynamaktadır. Tuz proteolitik enzimleri inhibe ederek olgunlaşmamış, un zararlılarından zarar görmüş, yumuşak suların kullanıldığı hamurlarda yapışkan hamur problemini engellemektedir. Tuz, ayrıca ekmek içinde su aktivitesini düşürerek mikrobiyolojik bozulmayı engellemekte rol oynamaktadır (Avramenko ve ark., 2018; Tebben ve ark., 2018).

1.8.4. Maya

Ekmek mayası, hamurda yer alan şekerleri fermente ederek oluşan CO₂ gazı ile hamurun kabarmasını, olgunlaşmasını sağlayan ve aroma oluşumunu sağlayan *Saccharomyces cerevisiae* türleri olarak bilinmektedir.

Ekmek mayasının en hızlı fermente ettiği karbonhidratlar öncelikle glukoz ve früktozdur, sakkaroz ve maltoz nispeten daha yavaş fermente edilir. Dolayısıyla ekmek mayası sakkaroz şekerini parçalayan invertaz enzimini, maltozu parçalayan maltaz enzimini ve glukoz ve fruktozu parçalayan zimaz enzimini içermektedir (Nemeth ve ark., 1996).

Maya fermentasyon sırasında oluşan CO₂ gazı ile hamura hacim vermektedir. Ekmek mayası, fermentasyon sırasında oluşan organik asitler, alkoller, aldehitler, ketonlar ve diğer karbonil bileşenler ile ekmeğe aroma kazandırmakta da rol oynamaktadır. Oluşan bu aromatik bileşenler ise ekmeğin pişirilmesi sırasında oluşan karamelizasyon ve Maillard reaksiyonları sayesinde ekmek kabuğuna renk kazandırmaktadır. Maya ayrıca hamurun olgunlaştırılmasında da rol oynamaktadır (Elgün ve Ertugay, 1995; Ali ve ark., 2012; Struyf ve ark., 2017).

1.9. Ekmek Yapım İşlemleri

Ekmek yoğurma, kitle fermantasyonu, kesme, yuvarlak yapma, ara fermantasyon, şekil verme ve tavlama ile son fermantasyon ve pişirme aşamalarından oluşur.

1.9.1. Yoğurma İşlemi

Yoğurma, hamuru oluşturmak amacıyla bileşenlerin homojen bir şekilde karıştırılması işlemidir. Dolayısıyla yoğurma işlemi homojen bir karışım elde etmek amacıyla bileşenlerin karışmasının yanında hamura istenilen viskoelastik özelliklerin kazandırılması amacıyla glutenin fiziksel gelişmesini optimum düzeyde sağlamaktadır. Yoğurma sırasında hamur gluteni ince hidrate olmuş protein filmlerinden ibaret üç boyutlu bir ağ yapısına döneşür. Bu üç boyutlu ağ yapısı nişasta granüllerini barındırır, CO₂ gazını hapseder (Demirkesen vd., 2010a). Dolayısıyla bu yapının oluşması, hamurun gelişmesinin tamamlandığını gösterir. Yoğurma sırasında hamurdaki söz konusu gelişmenin sağlanması yatay ve dikey yoğurma ekipmanlarının mekanik etkisi ile sağlanmaktadır. Yoğurma sırasında hamur bileşenleri bir araya gelerek homojen bir karışım elde edilir, daha sonra hamur sıkıştırma, katlama, uzama ve itme gibi fiziksel etkilere maruz kalır. Yoğurma işlemi optimum düzeyde geręekleřtirilen hamurlar daha kolay işlenir ve daha yüksek gaz tutma kabiliyetine sahip olurlar. Sonuç olarak bu hamurlardan elde edilen ekmeklerden yüksek hacim ve iyi bir gözenek yapısı elde edilir (Cappelli ve ark., 2021).

Gluten sayesinde hamurda üç boyutlu viskoelastik ağ yapısı yer almaktadır. Bu yapıda proteinler birbirlerine en az beş tip bağ ile birleşmekle birlikte, en yaygın olan bağ kovalent disülfid bağlarıdır. Yoğurma sırasında sülfhidril ve disülfid bağları oluşmaktadır. Yoğurma sonucu ortaya çıkan disülfid bağları sülfhidril grupları tarafından azaltılmaktadır. Buğday proteinleri SH grubunun 15 katı fazla SS

içermektedir. Daha az sayıdaki SH grubu çok sayıdaki SS bağlarının değişimini katalize etmektedir. Protein partiküllerinin parçalanması gluten teşkil etmek üzere proteinin hidrasyonu ortamda sürekli bir matriks oluşturmak üzere serbest nişasta granüllerinin yüzeyinde glutenin yayılması, yoğurma açısından önemlidir. Hamurda nişastanın yüzeyini kapsayacak yeterlilikte protein (en az %7) bulunmalıdır. Zedelenmiş nişasta miktarı ile protein arasında da bir ilişki söz konusudur. Yüksek miktarda zedelenmiş nişasta olması durumunda su absorpsiyonu artacak, nişasta daha fazla şişecek hacmi ve yüzey alanı artacaktır. Dolayısıyla bu tür unlarda daha fazla proteine ihtiyaç vardır. Yoğurma sırasında hamura oksijen de ilave edilmektedir ve bu oksijen SH grubunun okside olarak SS bağlarına dönüşmesini sağlamaktır (Cappelli ve ark., 2021; Schopf ve Scherf, 2021).

1.9.2. Fermantasyon işlemi

Fermantasyon işlemi, yoğurma işlemi sırasında homojen bir şekilde dağılmış mayanın ortamdaki şekerleri kullanarak başlıca son ürün olan etil alkol ve CO₂ gazını meydana getirmesi olarak tanımlanabilir. Fermantasyon sırasında oluşan gazlar sayesinde hamur hacmi orijinal hacminin beş katına kadar çıkar ve hamur süngerimsi bir yapı kazanır. Fermantasyon sırasında organik ve inorganik asitler oluşarak ekmek aromasında rol oynamaktadır. Fermantasyon işlemi ayrıca hamura uzama kabiliyeti ve elastikiyet kazandırmaktadır. Dolayısıyla optimum sürede fermente edilmiş, maksimum gaz tutma kapasitesi ve elastikiyete ulaşmış hamurlara olgunlaşmış hamur denilmektedir. Fermantasyonun ilk aşamalarında hamurdaki monosakkaritler (glukoz ve früktoz) hızla azalırken maltoz miktarında çok az yükselme olmaktadır (Struyf ve ark., 2017).

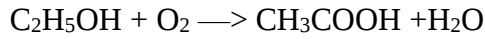
Fermantasyon işlemi sırasında;

1. Mayanın etkisi ile oluşan CO₂'in hepsi gaz halinde kalmaz, bir kısmı su ile birleşerek ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) karbonik asiti oluşturur. Karbonik asitler çok az iyonize olabildiği için ortamın pH'sını çok az etkilemektedir. Unda bulunan laktik asit bakterileri, dektozu laktik asite fermente etmektedir (Elgün ve Ertugay, 1995).

2. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (Dekstroz) (laktik asit bakterileri)/ $> 2\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$

Laktik asit güçlü bir asit olup hamurun pH'sını etkilemektedir.

3. Unda bulunan asetik asit bakterileri alkolü okside ederek asetik asit oluşturmaktadır.



4. Oluşan bu asetik asit laktik asite göre daha zayıftır, az iyonize olur ve miktarca azdır. Dolayısıyla pH'ı az etkilemektedir. Maya hamur ortamında yer alan amonyumu asimile eder. Gerekli azotu sağlayarak asit oluşturur. Oluşan bu asitler kuvvetli asit olup ortam pH'sını çok etkiler.

5. Fermantasyon işleminden sonra hamurun pH'sı 5.3'den 4.5'e kadar düşmektedir. Hamurun pH'sındaki bu değişimler glutenin hidrasyonunu etkilemektedir. pH'sındaki bu değişimler enzim faaliyetlerini, indirgenme ve yükseltgenme işlemlerini ve organik asit oluşumunu etkilemektedir (Cauvain ve ark., 2007).

1.10. Hamur İşleme ve Pişirme İşlemi

Hamur, işleme sırasında kesme, yuvarlak yapma, şekil verme vb işlemlere tabi tutulur. Pişirme ekmek yapımının en önemli aşaması olup, pişirme sırasında mikroflora ve enzim inaktivasyonu meydana gelir. Nişasta ve glutendeki değişim ile birlikte koloidal sistem stabil hale gelir. Ayrıca aromatik karbonil bileşenler oluşarak ekmeğe istenilen aroma özellikleri kazandırılır. Oluşan esmerleşme reaksiyonları sonucu ekmeğe arzu edilen renk kazandırılır. Dolayısıyla hamurun ekmeğe dönüşümü sırasında bütün reaksiyonlar belirli bir düzen içerisinde oluşarak ekmeğe istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Ekmeğin pişirilme sıcaklığı 221-243°C ve pişirme süresi 18-25 dakikadır. Ancak bu süre ekmek büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir (Brown, 1993).

1.10.1. Ekmeğin Pişirilmesi Sırasında Oluşan Değişimler

1.10.2. Fırın Sıçraması

Hamurda meydana gelen ilk değişim fırın sıcaklığının etkisiyle birlikte ince bir film tabakasının oluşumudur. Daha sonra hamur orijinal büyüklüğünün 1/3' ü kadar bir artış gösterir. Hamurun pişirilmesi sırasında ilk birkaç dakikada hacminde meydana gelen bu değişime 'fırın sıçraması (oven spring)' adı verilmektedir (Brown, 1993; Therdthai ve Zhou, 2003)

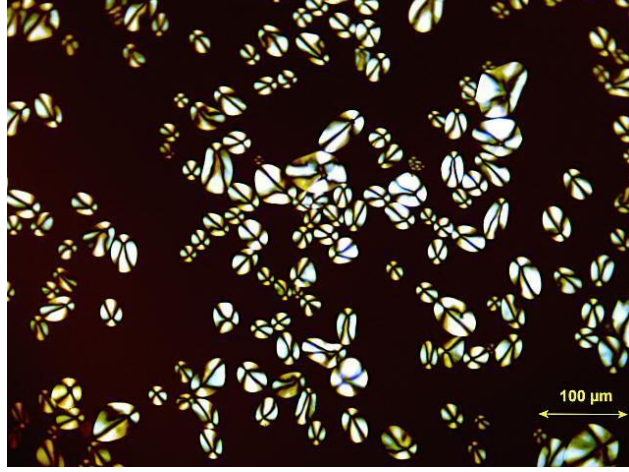
Fırın sıçraması, hamurun pişirilmesinin ilk aşamasında sıcaklığın etkisi ile gazların genleşmesi ve suda çözünürlüğünün azalması ile meydana gelmektedir. Ancak fırın sıçramasının nedenleri daha ayrıntılı bir şekilde özetlenebilir;

1. Hamurun yapısında bulunan küçük gaz hücreleri, sıcaklığın etkisi sonucu oluşan gaz basıncı artışıyla genişler.
2. Sıcaklığın etkisiyle gazların hamurun sıvı fazında çözünürlüğü azalmaktadır. Hamur sıcaklığı 49°C'e ulaştığında bu gaz serbest hale geçerek hamurdaki serbest gaz hücrelerine hareket ederek iç basıncı arttırır.
3. Hamurdaki düşük kaynama noktasına sahip sıvı haldeki maddeler sıcaklık 70°C'e ulaştığında buharlaşmaktadır. Hamurda yer alan özellikle düşük kaynama noktasına sahip özellikle alkolün buharlaşması sonucu yine artan gaz basıncı etkisiyle gaz hücresi genleşmesi meydana gelmektedir.
4. Hamurun yapısındaki küçük gaz hücreleri büyük gaz hücrelerine göre genleşme için daha yüksek bir basınca ihtiyaç duymaktadırlar. Hamurun yapısındaki küçük gaz hücreleri belirli bir büyüklüğe erişir ve fırın sıçraması oluşur.
5. Sıcaklık artışı ile birlikte maya fermentasyonu artmakta ve oluşan alkol ve CO₂ gazında artış meydana gelmektedir. Bu da fırın sıçramasının bir başka nedenidir. Ancak 60°C, mayanın termal ölüm noktası olduğu için 60°C'den sonra maya faaliyeti sona ermektedir (Stear ve Stear, 1990; Brown, 1993; Cauvain ve ark., 2007; Cauvain, 2012).

1.10.3.Nişastanın Jelatinizasyonu

1.10.3.1. Nişastanın Yapısı

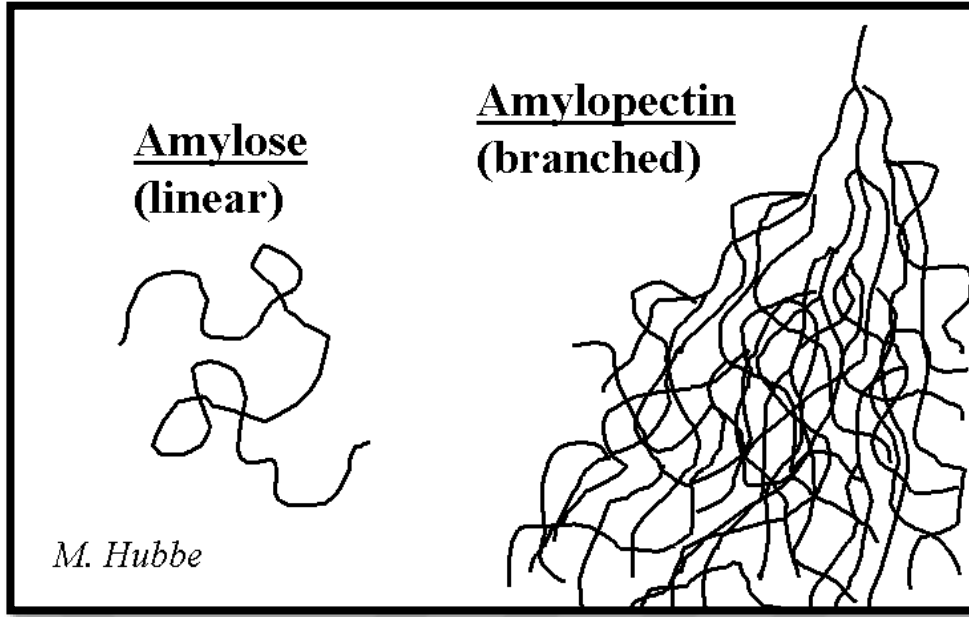
Doğal nişasta granülleri %15-45 oranları arasında kristalleşme derecesine sahiptir. Kristal yapı polarize ışıktaki incelendiğinde çift kırma özelliklerinin bir sonucu olarak polarizasyon çaprazları görülür. Bu özellik nişasta granüllerinin yüksek derecede düzenli yapıda olmalarından kaynaklanır. Bu nedenle nişasta granüllerinin büyük çoğunluğu polarize ışık altında “Malta Hacı” görünümü verirler (Şekil 5).



Şekil 5. Polarize ışık altında nişasta granüllerinin görünümü
(<https://www.micromagus.net/pharma/starch.html>)

Nişasta insan beslenmesindeki başlıca karbonhidrat kaynağıdır. Bitki kaynağına bağlı olarak, çoğu bitki dokusunda, genellikle 1 ila 100 μm çapında granüller halinde bulunur (Şekil 2). Nişasta, α -D-(1-4) ve/veya α -D-(1-6) bağları ile bağlantılı α -D-glukopiranozil birimlerinden oluşan bir polisakkarittir (Parker ve Ring, 2001; Whistler ve ark., 2012).

Nişasta amiloz ve amilopektin olmak üzere iki farklı moleküler bileşen içerir. Her iki bileşen de yüksek molekül ağırlıklı glukoz polimerleridir. Amiloz lineer polimer yapıdadır. Yaklaşık 1000 α -1,4-glikozidik bağları ile bağlı α -D-glukoz birimlerinden oluşan poliglukan olarak bilinir. İyot ile yoğun mavi renk verir (max absorpsiyon 660 nm). Bu özellik amiloz miktarının ölçülmesinde temel alınır. Amiloz bazı organik bileşikler ile kompleks oluşturur ve teknolojik açıdan amilozun emülgatörler (monogliseritler, sukroz esterleri vb) ile oluşturduğu kompleks yapılar fırıncılık ürünlerinin üretiminde bayatlamayı önleyici ve hamur iyileştirici ajanlar olarak kullanılmaları açısından oldukça önemlidir. Nişasta granülünün büyük kısmını dallanmış polimer yapıda, dallanmış amilopektin oluşturur. α -D-(1-6) bağlantıları ile dallanmalar yapan yaklaşık 4000 glukoz biriminden meydana gelen dallanmış bir glukandır. Yaklaşık her 20-25 glukoz ünitesinde α -D-(1-6) glikozidik bağları ile bir diğer α -D-(1-4) glukoz zincirine bağlantı bulunur (Şekil 6 ve Şekil 7).

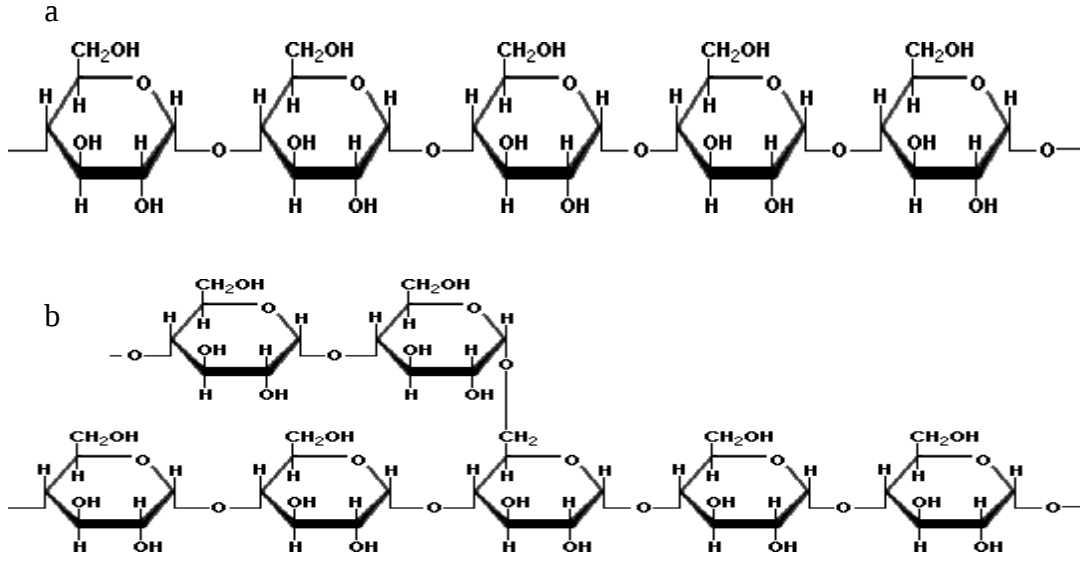


Şekil 6. Linear formda bulunan amiloz ve dallı yapıda bulunan amilopektin (Hubbe, 2011)

Nişasta granülü içerisinde fosfolipitleri içeren nişasta lipitleri, tekli nişasta fosfat ester grupları ve proteinler gibi minör bileşenler de yer alır. Özellikle fosfolipitler, serbest yağ asitleri ve fosfat ester grupları düşük konsantrasyonlarda olmalarına rağmen nişasta çiriş ve jel özelliklerini önemli derecede etkiler (Whistler ve ark., 2012; Tako ve ark., 2014).

1.10.3.2. Jelatinizasyon

Hamurun pişirilmesinin ilk aşamalarında meydana gelen belirgin bir glutenin yumuşaması fırın sıçraması işlemini desteklemektedir. Ancak sıcaklık 54°C'lere ulaştığında nişasta şişmeye başlar. Nişastanın şişmesi “jelatinizasyon” olarak da bilinmektedir. Nişasta jelatinizasyonu gluten yumuşamasını engellemektedir (Cappelli vd, 2021; Morris, 1990).



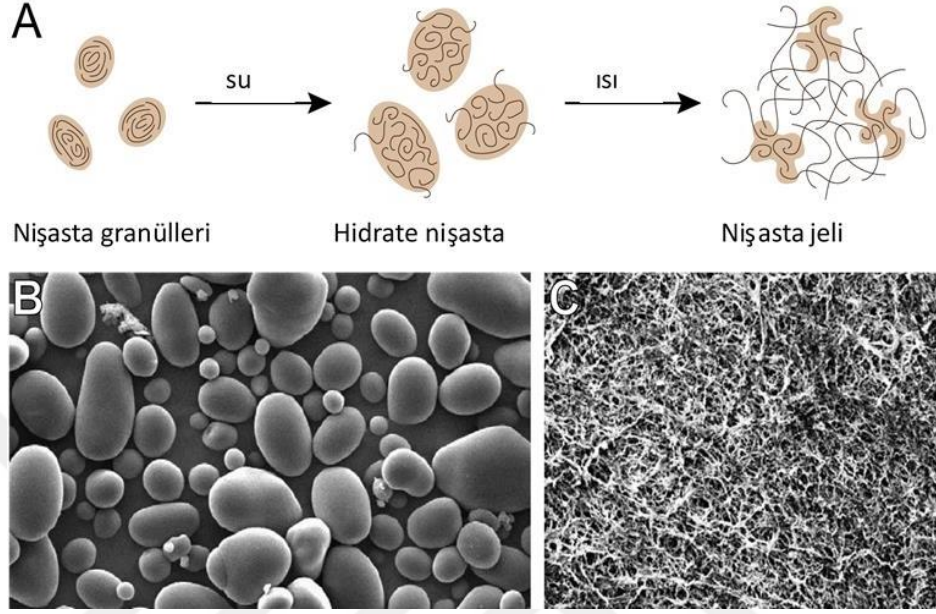
Şekil 7. (a): α -1,4-glikozidik bağları ile bağlı α -D-glikoz'dan oluşan amilozun yapısı, (b): α -D-(1-6) glikozidik bağları ile bağlı α -D-(1-4) glikoz'dan oluşan amilopektinin yapısı

Nişasta granülü, kimyasal olarak hem lineer (amiloz) hem de dallı (amilopektin) fraksiyonları olan heterojen bir malzemedir (Şekil 4). Fiziksel olarak ise amorf ve kristal bölgelere sahiptir. Nişasta granülü oda sıcaklığı ve daha düşük sıcaklıklarda, suda süspanse edildiğinde çözünmez. Ancak sulu nişasta süspansiyonu ısıtıldığında zaman (60°C üzerinde) granül şişmeye başlar. Nişastanın sulu bir çözelti içerisinde ısıtılması ile, “jelatinizasyon” ve “çirilenme” olarak adlandırılan bir dizi değişim gerçekleşir. Bu olaylar serisi nişastanın; gıda ürünlerindeki fonksiyonelliği, enzimatik aktivitelere duyarlılığı ve jel oluşturabilme özelliği bakımından önem taşımaktadır (Ratnayake ve Jackson, 2008).

Sağlam durumdaki nişasta tanecikleri (granül) jelatinizasyon işlemi sonucu esnek bir yapı kazanır. Jelatinizasyonda granüllerin şişmesi öncelikle kolay ulaşılan ve H bağlarının zayıf olduğu amorf bölgede başlar. Jelatinizasyon sırasında nişastanın yapısında bulunan lineer kısım “amiloz” suda çözünür ve nişastan granülünden dışarı çıkarak sıvı ortama diffüze olmaktadır (Şekil 8) (Wang ve ark., 2015).

Jelatinizasyon sıcaklığında granül şişmeye başlar ve şişme ilerledikçe granülün düzenli yapısı bozulur. Nişasta granülü, oda sıcaklığında su içerisinde süspansiyon oluşturur ve çapının yaklaşık %20 si kadar büyüyebilir. Bu hidrasyon ile nişasta granülü kuru ağırlığının yaklaşık %30'u kadar su tutabilir. Bu hacim değişimi ile su

tutma özelliği geri dönüşümlü bir olaydır. Ancak nişasta süspansiyonunun daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması dönüşümsüz değişimler ile sonuçlanır. Amiloz jelatinizasyondan öncelikli sorumlu fraksiyon olup, en düşük %1,5 orandaki konsantrasyonlarda katı jel oluşturabilmektedir.



Şekil 8. Jelatinizasyon süreci süresince nişastanın yapısındaki değişim

Jelatinizasyon süreci süresince, nişasta ortamda bulunan diğer komponentler ile su için yarışma halindedir. Ortamda su ile etkileşime girecek maddelerin (şeker, şortening vb) varlığı jelatinizasyon süresini uzatır, gerekli su miktarını artırır. Jelatinizasyon süreci, çözeltinin viskozitesi ölçülerek kontrol edilir. Belli bir noktada, viskozite maksimum değere ulaşır. Bu noktadan sonra ısıtmanın devamı ile viskozite düşmeye başlar (Morris, 1990),

1.10.4. Glutenin Koagulasyonu

Nişastanın jelatinizasyonu sırasında su, nişasta tarafından absorbe edilmektedir. Bunun sonucu olarak su glutenden uzaklaşarak gluten denatüre olmaktadır ve glutenin suya karşı affinitesi kaybolmaktadır. Gluten koagulasyonu 70°C’de meydana gelmektedir ve pişirme işleminin sonuna kadar devam etmektedir. Gluten koagulasyonu sırasında hamurun yapısındaki gaz hücrelerini çevreleyen gluten matriksi, yarı katı bir film yapısına dönüşmektedir. Gaz hücreleri genişledikçe hücre duvarlarını oluşturan protein matriksi içerisinde esnek yapılı nişasta granülleri oluşmaktadır. Nişasta granülleri şiştikçe gluten filmi incelmekte ve bu film

parçalanmaktadır. Pişirme sırasında, su gluten fazından nişasta fazına geçerek nişasta jelatinizasyonu oluşmaktadır (Shewry ve ark., 1995; Wieser, 2007; Smith ve ark., 2015; Cappelli ve ark., 2021).

1.10.5. Aroma Maddelerinin Oluşumu

Ekmek yapımı sırasında kullanılan hammaddelerin karıştırılması, fermentasyonu ve ekmeğin pişirilmesi sırasında oluşan değişimler sonucu ekmek aroması oluşmaktadır. Fermentasyon sırasında oluşan karbonil bileşikler, ekmek aromasının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Gerek fermentasyon gerekse pişirme işlemi sonucu oluşan aroma maddeleri uçuculuk derecelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır. Maya fermentasyonu sonucu oluşan asetil metil karbonil bileşikler ortam oksijeni ile birleştiğinde ekmeğe kendine has aromasını verem diasetil bileşeni oluşmaktadır. Furfural, pruvikasit, diasetil ve izoaldehit kuvvetli aroma veren diğer önemli bileşenlerdir (Pico ve ark., 2015).

Ekmeğin gerek renk gerekse aromasından birinci derecede sorumlu olan enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucu ekmeğin kabuğunda oluşmaya başlayan karbonil bileşikler ekmeğin içine absorbe olarak ekmeğe istenilen aromayı kazandırmaktadır. Bu reaksiyonlar karamelizasyon ve Maillard reaksiyonu olarak sınıflandırılabilir (Demirkesen ve ark., 2010). Karamelizasyon reaksiyonu sırasında ekmeğin yapısında bulunan kompleks karbonhidratlar yüksek sıcaklığın etkisiyle monosakkaritlere hidrolize olmakta, hidroliz sırasında renk bileşikler oluşmakta ve bu bileşikler polimerize olmaktadır. Karamelizasyon işlemi 135 °C'nin üzerinde oluşmaktadır. Karamelizasyon sonucu oluşan kahverengi renk ekmeğe arzu edilen rengi kazandırmakla birlikte arzu edilen aroma maddeleri de ortaya çıkmaktadır. Maillard reaksiyonu ise proteinlerin serbest amino grupları veya aminoasitlerle indirgen şekerler arasında meydana gelmektedir. Maillard reaksiyonu ürünlerinden olan aldehitler ve furfurallar ekmeğin kabuk renginin ve aromasının kazandırılmasında rol oynamaktadır (Cho ve Peterson, 2010; Pu ve ark., 2019).

1.10.6. Ekmeğin Bayatlaması

Bayatlama mikrobiyolojik değişim olmaksızın, fizikokimyasal değişimler sonucu ekmeğin kullanım değerinin ve tüketici beğenilirliğinin azalmasıdır. Bayatlama sonucu kuru ve gevşek kabuğa ve yumuşak, nemli, süngerimsi ve homojen gözenek iç yapısına sahip ekmek bayatlama sonucunda yumuşak ve deri gibi kabuk yapısına, sert,

kabuk ve çabuk ufalanabilir bir ekmek iç yapısına sahip olur. Kendisine has karakterdeki tat ve aroması kaybolarak, hoş olmayan hafif acımsı bir aromaya dönüşür. Ekmeğın bayatlaması sırasında ekmek içindeki nem ekmek kabuğuna transfer olmaktadır. Bayatlama sırasında ekmek içi sertliğindeki artış ‘nişasta retrogradasyonu’ olarak bilinir (Gray ve Bemiller, 2003).

1.10.7. Nişasta Retrogradasyonu

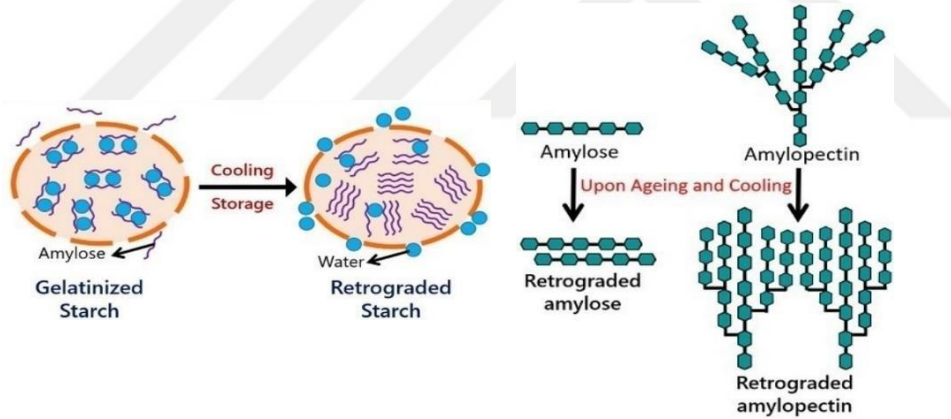
Nişastanın lineer kısmını oluşturan amiloz moleküllerini teşkil etmek üzere birleşen glikoz moleküllerinin her birinde 3 hidroksil (OH) grubu serbest olarak bulunmaktadır. Bu OH grupları, komşu amiloz moleküllerinin kendi içinde oluşan fiziksel bir çekim kuvvetinin oynamasında rol oynamaktadır. 2 veya daha fazla amiloz molekölünün birbirine yaklaşmasıyla birlikte glikoz ünitelerinde yer alan hidroksil grupları arasında oluşan hidrojen bağları veya diğerk fiziksel çekim kuvvetleri sonucu fermuar gibi birbirleriyle birleşen kristal bir yapı oluşmaktadır. Bu oluşuma ‘retrogradasyon’ denilmektedir. Bir diğerk ifade ile amilozun uzun zincir yapısı çözelti içerisinde kendi ile birleşerek çökme özelliğinden sorumludur ve amilozun birleşerek kısmi kristalizasyonu ‘retrogradasyon’ olarak adlandırılır. Retrogradasyon, pişmiş fırın ürünlerinin bayatlama prosesi sırasında meydana gelir. Düşük konsantrasyonlu sulu nişasta çözeltilerinde; amiloz zincirlerinin birleşmesi çok yavaş olmakla birlikte, birleşme sonucu oluşan makro moleküller çözünmez nitelikte olup çökelti oluşturur. Yüksek konsantrasyonlu sulu nişasta çözeltilerinde; amiloz zincirlerinin hızlı ve gelişigüzel birleşmeleri sonucu katı bir jel ağı oluşturur (Wang ve ark., 2015, 2018).

Amilopektin sulu bir dispersiyon içerisinde daha stabil yapıdadır ve yumuşak jeller ile zayıf filmler oluşturur. Dolayısıyla nişastanın dallı kısmını oluşturan amilopektin retrogradasyona uğramaya eğilimli değıldir. Amiloz fraksiyonu, retrogradasyona, jel ve güçlü filmler oluşturmaya eğilimi daha fazladır.

Ekmeğın beklemesi sırasında lineer fraksiyonlarda değışimler meydana gelmektedir. Ekmekte suda çözünür formda veya jelatinize olmuş halde bulunun nişastanın lineer kısmı olan amiloz fraksiyonu zamanla ekmek içi soğudukça birbirleriyle birleşerek kristal bir yapı oluştururlar. özünür olmayan jel yapısı içeresine hapsolmuş lineer moleküller bayatlama ile birlikte şişmiş granüller içerisinde dallı fraksiyonlar oluşturmaktadır. Ekmeğın beklemesine bağılı olarak dallı nişasta granüllerinde retrogradasyon sırasında açılan dallar granölün içerisinde birleşir (şekil 9). Böylece

bayat ekmekte jel yapısı içerisinde gömülü katı, sert granüllerden ibaret bir yapı oluşturur. Dolayısıyla ekmeğin bayatlamasını engellemek için bu lineer fraksiyonlarla birleşerek granül içinde çözünmeyen ve granül dışına çıkmayan emülgatör gibi yapılar formülasyonlarda kullanılabilir. Nişasta retrogradasyonu aşağıda belirtildiği gibi iki aşamadan oluşur (Hoover, 1995; Abd Karim ve ark., 2000):

1. Kısa vadeli retrogradasyon: Lineer amiloz zincirleri içerir. Amiloz, kristal bir çekirdek üretmek için geri dönüşümsüz bir şekilde yeniden birleşir. Amilozun lineer yapısı nedeniyle yeniden birleşme daha hızlı hale geldiğinden, bu hızlı bir süreçtir. Emülgatörler, başlangıçtaki sertliği veya amiloz retrogradasyonunu azaltabilir.
2. Uzun vadeli retrogradasyon: Dallanmış ve daha karmaşık amilopektin zincirlerini içerir. Amilozun aksine, amilopektin retrogradasyonunun kristalleşmesi uzun zaman alır. Birkaç gün veya hafta sürer. Bunun nedeni amilopektinin dallı yapısıdır. Enzimlerin eklenmesi, uzun vadeli sıkılığı veya amilopektin retrogradasyonunu azaltır.



Şekil 9. Retrogradasyon prosesi süresince nişastanın yapısındaki değişim (<https://biologyreader.com/retrogradation-of-starch.html>).

1.11. Hammadde Olarak Artık Ekmeklerin Kullanımı

Gıda atıkları genel olarak bir kaynak ve sürdürülebilirlik sorunudur. Gıda üretim operasyonları çok büyük miktarda toprak, su, enerji, gübre ve diğer girdileri kullanırken biyolojik çeşitlilik, toprak ve su kalitesi kaybı ve sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Gıda atıkları kaynak israfı olmasının yanında, çevre üzerinde de olumsuz etkilere de sahiptir. İklim değişikliği ve azalan kaynaklar karşısında artan gıda talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için gıda

kullanımının arttırılması ve atıkların azaltılması kritik öneme sahiptir (Dou ve ark., 2018).

Hayvan yemi için gıda atıklarının geri kazanımı, atık yönetimi, gıda güvenliği, kaynak ve çevre sorunlarını aynı anda çözebilen uygulanabilir bir alternatiftir. Bu, aynı anda yem maddeleri, ilgili kaynaklar ve üretimleriyle bağlantılı çevresel maliyetlerden tasarruf sağlayacaktır. Çevresel etkiyi azaltırken sürekli büyüyen bir nüfusu besleme gerekliliği düşünüldüğünde gıda atıklarının değer kazanmasının hayvan yemi olarak yeniden kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, hayvan yemine dönüşen gıda atıkları, gıda atıkları geri dönüşüm seçeneklerinden biri olarak listelenmiştir (Ermgassen ve ark., 2016; ReFED, 2016; Zu Ermgassen ve ark., 2016; Dou ve ark., 2018). Ülkemizde de özellikle belediyeler yoluyla gıda atıklarının kedi, köpek yemi olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu yönde oluşan mevzuat eksikliğinin de giderilmesi amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı, İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliğinde değişiklik yapmış ve gıda amaçlı olmayan hayvanların beslenmesi amacıyla restoran ve yemekhane artıklarının kullanılabilmesine imkan vermiştir (Yönetmelik, 2022).

Ekmek, çevresel etki ve ekonomik maliyet açısından dünyanın birçok bölgesinde gıda atıklarında önemli bir paya sahiptir. Dünya ekmek üretiminin yaklaşık %10'u veya yılda 10 milyon tonun üzerinde bir miktar tedarik zincirinde kaybedilmektedir (Samray ve ark., 2019). Atıkların çoğunluğunun ev düzeyinde gerçekleştiği diğer gıda kaybı veya atık biçimlerinin aksine, ekmek tüketicilere ulaşmadan önce de sıklıkla israf edilebilmektedir (Brancoli ve ark., 2019, 2020). Ekmek ürünleri sınırlı raf ömrü nedeniyle, geliri en üst düzeye çıkarmak ve israfı en aza indirmek için üretim gününde satılmalıdır. Satılmayan ekmekler kuru, havalandırılmış bir alanda tutulursa birkaç gün yenilebilir, ancak ekmek bundan sonra müşterilere olan çekiciliğini kaybeder (Axtell ve Fellows, 2004; Gmoser ve ark., 2021). Ekmek dağıtımı genellikle satış yeri ile tedarikçi arasında bir geri alma anlaşması içeren düzende gerçekleştirilir (Brancoli ve ark., 2019). Örneğin süpermarketler satılmayan ekmeklerin geri gönderilmesi için fırınlar ile anlaşmalar yapmaktadırlar ve bunun sonucunda ters tedarik zinciri oluşmaktadır (Eriksson ve ark., 2017; Brancoli ve ark., 2019; Ghosh ve Eriksson, 2019). Bu ters lojistik, satılmayan ekmeğin kirlenmeden toplanmasını, fazla ekmeğin diğer tüketici düzeyindeki gıda atıklarından ayrılmasını sağlar (Gmoser ve ark., 2021).

Ülkemizde yapılan çalışmalar günde milyonlarca ekmeğin israf edildiğini göstermektedir. Bu durum bazı hesaplamalara göre yılda yaklaşık 540,000 ton ekmeğin israfı anlamına gelmektedir. 2022 yılında ekmeğin kg fiyatının 15 TL olduğu varsayıldığında yılda yaklaşık 8 milyar TL'lik ekmeğin israf edilerek ülke ekonomisine önemli bir zarar verdiği görülmektedir. Toprak Mahsulleri Ofisi (Ofisi, 2013) tarafından yapılan araştırmalarda, fırınlarda üretilen ve çeşitli nedenler ile satılmayan ekmeklerin israfta %62,1 ile en yüksek orana sahip olduğu görülmüştür. Söz konusu yüksek oran, ekmeklerde karşılaşılan üretim bozukluklarından (yetersiz veya fazla pişme, uygun olmayan şekiller gibi) oluştuğu gibi satılmayan ekmeklerin geri gönderilmesinden dolayı da kaynaklanmaktadır. Özellikle yüksek miktarlarda üretim yapan ekmek fabrikalarında açığa çıkan ekmeklerin değerlendirilmesi amacıyla yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Tüketilmeyen fırıncılık mamullerinin az da olsa bir kısmı barınaklara gönderilmektedir ancak bu tür uygulamalar dar kapsamlı kalmakta ve sürdürülebilir biçimde yapılamamaktadır. Yine ortaya çıkan artıkların bir kısmı da galeta veya maya üretiminde kullanılabilirken bu oran günlük oluşan artık miktarının çok küçük bir kısmı olmaktadır.

Et ürünlerinde dolgu maddesi olarak kullanılması, belirli ekmek tariflerinde bileşen olarak geri dönüştürülmesi, hayvan yemi üreticilerine satılması, etanol, bira, glikozlu şurup, süksinik asit ve polilaktik asit üretiminde kullanılması dahil olmak üzere ekmek atıklarının değerlendirilmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmıştır (Siddiqui ve ark., 2021). Bu araştırma çabaları göz önüne alındığında, ekonomik fizibilite çalışmalarının yanı sıra endüstriyel ölçekte yaygın yöntemlerin geliştirilmesi de ele alınmıştır (Ebu Yezid ve ark., 2017; Gmoser ve ark., 2021). Ekmek artıkları için alternatif kullanımlar geliştirilmesine hala önemli bir talep vardır ve bu kullanımlardan biri, değerli bir karbonhidrat ve protein kaynağı olabileceği ekstrüde köpek yemidir.

Gıda ve yem işleme endüstrisi genel üretimleri sırasında çeşitli yan ürünler açığa çıkarmaktadır. Bu yan ürünlerin birçoğu, olduğu gibi veya bir kurutma işlemi sonrasında özellikle hayvan yemi olarak kullanılabilir. Ancak ortaya çıkan yan ürünlerin önemli bir kısmı da sınırlı kullanım sonucunda çevre kirliliğine ve ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Dolayısıyla günümüzde yan ürünlerin ve atıkların farklı prosesler kullanılarak gerek insan beslenmesinde gerekse hayvan beslenmesinde kullanım olanaklarının araştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Ekstrüzyon işlemi özellikle yan ürünlerin değerlendirilmesinde etkili bir yöntem olarak

görülmekte, bazı yan ürünler ile ekstrüde çerez ürünlerin zenginleştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır (Brennan ve ark., 2013).

Ekstrüzyon, 1950'lerden beri evcil hayvan mamaları üretmek için kullanılmaktadır (Corbin, 2003). Bu tarihten itibaren evcil hayvan mamaları üretimi için gerekli nişasta ve lifi sağlamak için evcil hayvan maması karışımlarına mısır, pirinç buğday soya gibi tahıl bileşenleri eklenmiştir. (Donadelli ve ark., 2021). Köpek mamasının ekstrüzyonu, tüm pişirme ve mama oluşturma işleminin ekstrüderde gerçekleştiği sürekli bir işleme yöntemidir. Genel olarak, tüm kuru bileşenler karıştırılır, daha sonra kuru karışım ekstrüderin besleme haznesine konur ve ön koşullandırıcıya iletilir. Yumuşatmaya ve evcil hayvan maması püresinin sıcaklığını arttırmaya başlamak için ön koşullandırıcı suya yağ ve buhar da eklenebilir (Riaz ve Rokey, 2011). Ön koşullandırıcının ortaya çıkan karışımı daha sonra ekstrüder haznesine beslenir. Ön koşullandırıcının temel işlevi, öğütülmüş hammaddeleri buhar, su ve diğer sıvılarla karıştırmak, bileşenleri ekstrüdere ulaşmadan önce ısıtmak ve kısmen pişirmektir (Gibson, 2015). Karışım ekstruder varilinde ilerledikçe basınç ve sıcaklık gelişir, nişastaları jelatinleştirir ve tehlikeli mikroorganizmaların yok olmasını sağlar. Ekstrüderin ucuna, geri basınç oluşturmak ve evcil hayvan maması karışımına şekil vermek için bir kalıp yerleştirilir. Ürünler, ekstrüzyondan sonra, 105°C civarında sıcaklıklarda ve 10-15 dakikalık sürelerde fazla nemin uzaklaştırıldığı bir kurutucu vasıtasıyla kurutulur. Pişirme ve ekstrüzyon sonrası bitmiş ürünlerin yağ, vitamin premiksleri, mineral premiksleri ve palatantlar ile kaplanarak daha fazla işlenebilir (Gibson, 2015; Guy, 2001).

Bu tez çalışması, mikrobiyolojik açıdan uygun olması nedeniyle tersine tedarik zincirinde toplanan ekmeklerin köpek mamalarında tahıllara alternatif bir bileşen olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ekstrüzyon ve fırınlama teknikleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmış, elde edilen ürünlerin fiziksel, kimyasal ve in vitro sindirilebilirlik özellikleri belirlenmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Yem Maddelerinin Analizi

Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin üretiminde kullanılan yem maddeleri kuru madde (KM), kül (HK), ham protein (HP), ham yağ (HY) ve ham selüloz (HS) ve nişasta oranları aşağıda verilen yöntemlere göre belirlenmiştir.

2.1.1. HP Oranının Belirlenmesi

Numunelerin HP oranları Kjeldhal aparatı kullanılarak belirlenmiştir. Öğütülen numuneler katalist eşliğinde sülfürik asit ile parçalanmış ve toplam organik azot, amonyum sülfata dönüştürülmüştür. NaOH ve borik asit ile yapılan distilasyon ve titrasyon işlemlerinin ardından oluşan borat anyonları standardize edilmiş 0,1 N HCL asit ile titre edilmiştir. HP oranı analiz sonucunda belirlenen %N oranının 6,25 faktörü ile çarpılması sonucu elde edilmiştir (AOAC, 1990).

2.1.2. HY Oranının Belirlenmesi

Yağ analizi yapılacak numuneler öğütme ve kurutma işleminden geçirildikten sonra kartuş içine konarak soxhlet cihazının içine yerleştirilmiştir. Ardından 4 saat süreyle ekstraksiyon yapılmış ve yağ balonu 103°C'ye ayarlı etüvde kurutulması sonucunda özütlenen ham yağ miktarı bulunmuştur (AOAC, 1990).

2.1.3. HS Oranının Belirlenmesi

Öğütme ve kurutma işlemi gerçekleştirilmiş numuneler sülfürik asitte (%1,25) kaynatılmış ve nötralize edilmişlerdir. Ardından proteinlerin uzaklaştırılması amacıyla alkali muamelesi yapılmıştır. Ardından aseton ile yağ fazı uzaklaştırılarak HS oranları tespit edilmiştir (AOAC, 1990).

2.1.4. Nişasta oranının belirlenmesi

Numunelerde bulunan nişasta oranı TS ISO 6493 standardında verilen polarimetrik yöntemle yapılmıştır. Temel olarak yöntem analiz numunesi seyreltik hidroklorik

asit ile parçalanır ve daha sonra çözölmüş nişasta jelatinleştirilir ve seyreltilir. Sonuçta elde edilen berraklaşmış çözeltinin toplam optik çevirme açısı tayin edilmiş ve deney numunesinin nişasta içeriği aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$w = \frac{20000}{\alpha_D^{20}} \times \left[\frac{2,5\alpha_1}{m_1} - \frac{5\alpha_2}{m_2} \right]$$

Burada;

w Deney numunesinin nişasta içeriği g/kg,

α_1 Madde 9.2’de ölçölen toplam optik çevirme açısı derece,

α_2 Madde 9.3’te ölçölen etanolde çözönebilir maddelerin optik çevirme açısı derece,

m_1 Toplam optik çevirme açısı (Madde 9.2) tayini için alınan analiz numunesinin kütlesi g,

m_2 Etanolde çözönebilir maddelerin (Madde 9.3) optik çevirme açısının tayini için alınan analiz numunesinin kütlesi g,

α_D^{20} 589,3 nm dalga boyunda (Sodyum D çizgisi) ölçölen saf nişastanın özgül optik çevirme açısı derecesi,

α_D^{20} değeri pirinç, mısır ve buğday nişastasası ortalaması olarak 184,4 olarak alınmıştır.

2.1.5. HK Oranının Belirlenmesi

HK tayini TS ISO 5984 standart yöntemine göre yapılmıştır. İçinde öğütölmüş deney numunesi bulunan kroze önceden 550 °C’ye ısıtılmış yakma fırınında 3 saat süreyle bekletilmiştir. Ardından kuru maddede HK oranı ilk numune kütlesi ve son kalan kül kütlesi kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2. Ekströde Ürünlerin Hazırlanması

Mısır, pirinç ve buğday taneleri çekikli bir değirmen (Retsch ZM 300) kullanılarak öğütölmüşlerdir ve yine değirmen üzerine monte edilen ve nominal açıklığı 1 mm olan elek ile elenerek homojen bir partiköl dağılımına sahip olmaları sağlanmıştır. Kurutulmuş pancar posası da benzer biçimde öğütölmüş ve elenmiştir. Ankara Halk Ekmek Fabrikasından satın alınan ekmekler su oranı kütlece %10 olacak biçimde kurutulduktan sonra diğer bileşenler gibi öğütölmüşler ve tüm ana bileşenlerin homojen bir partiköl dağılımına sahip olmaları sağlanmıştır.

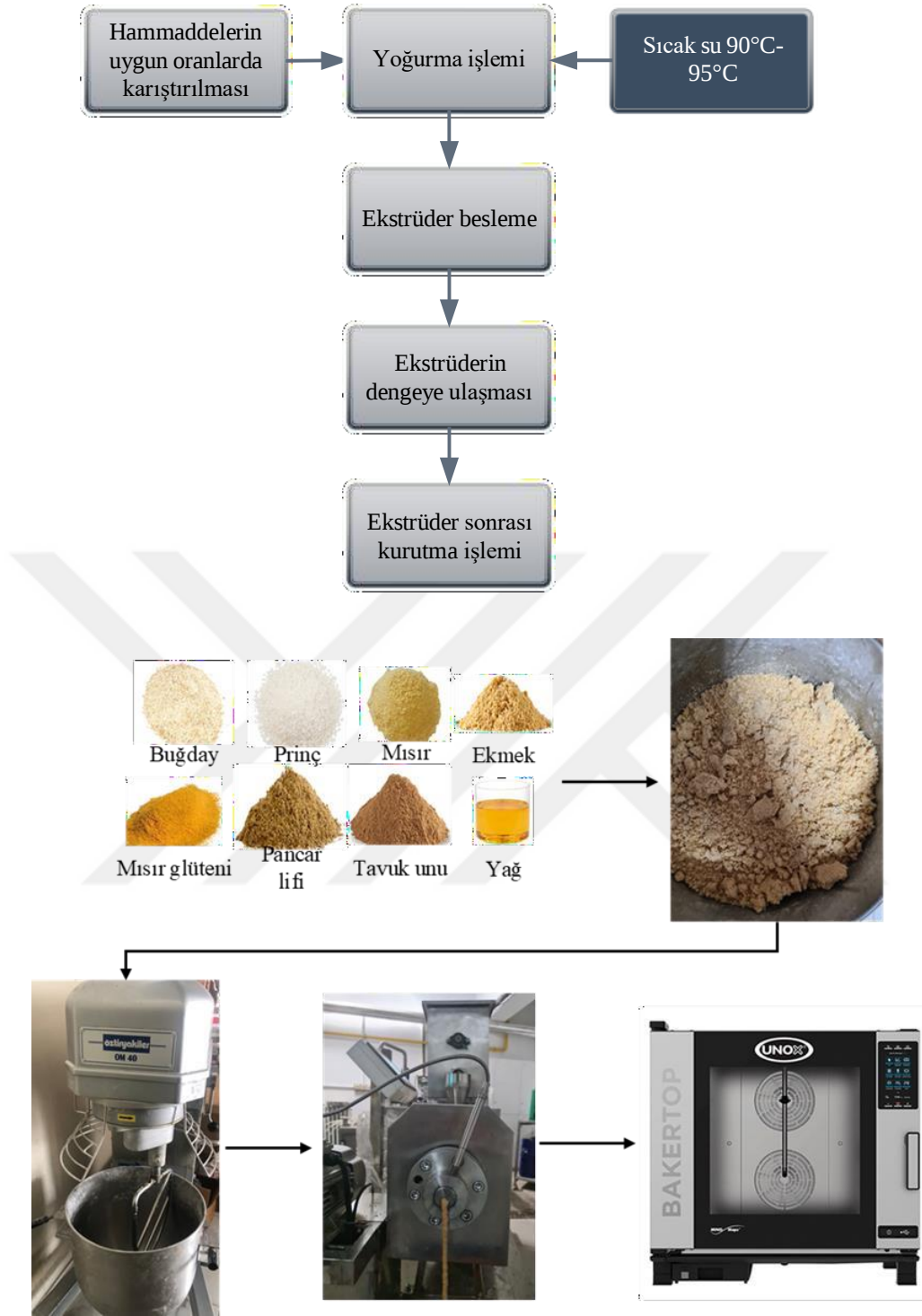
Tablo 1. Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerin üretiminde kullanılan yem maddelerinin besin madde içerikleri. Burada HP: ham proteini, HY: ham yağı, HS: ham selülozu ifade etmektedir.

YEM MADDESİ	KM (g/100g)	HP	HY	HS	Nişasta	Kül
		(g/100g KM)				
Pirinç	89,5	9,0	1,3	1,8	83,2	1,4
Mısır	88,3	9,4	4,1	2,5	73,6	1,6
Buğday	89,1	12,1	1,6	3,1	67,3	1,9
Ekmek	91,3	14,1	5,1	3,9	61,6	2,4
Pancar posası	88,6	8,4	0,8	19,6	1,2	7,3
Tavuk unu	92,6	60,9	26,6	-	-	10,8
Hayvansal yağ	89,6	3,1	92,6	-	-	0,2
Mısır glütene	90,2	68,1	2,6	1,3	16,4	2,2

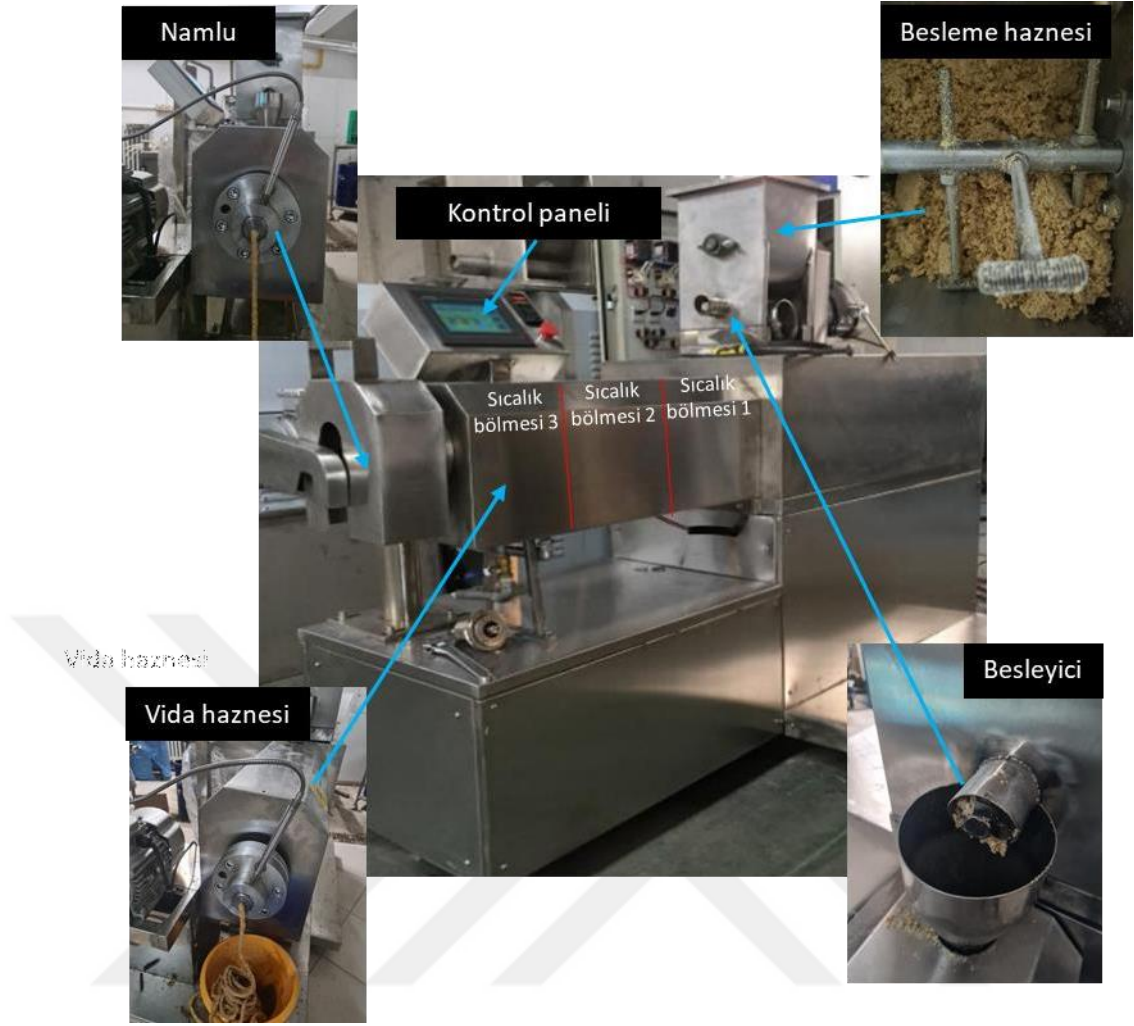
Şekil 10’da verilen yönteme göre ilk önce hammaddeler yetişkin köpekler için uygun olacak biçimde Gibson tarafından verilen oranlarda karıştırılmışlardır (Gibson, 2015a). Besinsel içeriğin mümkün olduğunca birbirine benzer olması (İzo-besinsel) için biri kontrol olmak üzere toplam 4 farklı numune formülasyonu hazırlanmıştır. Formülasyonlarda ana değişken ekmek oranı olmuş olup, HP, HY, HS, nişasta ve külün mümkün olduğunca yakın değerlerde olması sağlanmıştır. Söz konusu numunelere ait formülasyonlar Tablo 2’de verilmişlerdir. Burada F1, formülasyon 1 yani kontrol numuneyi, F2, F3 ve F4 ise sırasıyla formülasyon 2, 3 ve 4’ü temsil etmektedir. Numunelerde pirinç, mısır ve buğday oranı azaltılarak ekmek oranı arttırılmıştır. Tablo 2’de verilen oranlarda karıştırılan numuneler daha sonra sıcak su ile bir mikser (Öztiryakiler Mikser OM) kullanılarak yoğurulmuşlardır. Ekstrüdere besleme öncesi kullanılacak su oranı yapılan ön denemeler ile belirlenmiş ve bütün formülasyonlarda kütlece %20 olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 2. Üretilen numunelerde kullanılan yem maddelerinin oransal dağılımı.

YEM MADDESİ (g/100g)	F1	F2	F3	F4
Pirinç	21,5	21,5	12,0	10,0
Mısır	21,0	21,0	12,0	6,0
Buğday	21,0	10,0	11,0	0,0
Ekmek	0,0	11,0	29,5	47,5
Pancar posası	3,0	3,0	4,0	5,0
Tavuk unu	22,0	22,0	22,0	22,0
Hayvansal yağ	4,0	4,0	4,0	4,0
Mısır glütteni	5,0	5,0	3,0	3,0
Kalsiyum Karbonat	0,8	0,8	0,8	0,8
Potasyum Karbonat	0,4	0,4	0,4	0,4
Sodyum Klorit	0,4	0,4	0,4	0,4
Dikalsiyum Fosfat	0,9	0,9	0,9	0,9
Toplam kuru kütle (g)	100,0	100,0	100,0	100,0



Şekil 10. Estrüder işlemi ile üretilen mamaların üretim akış şeması

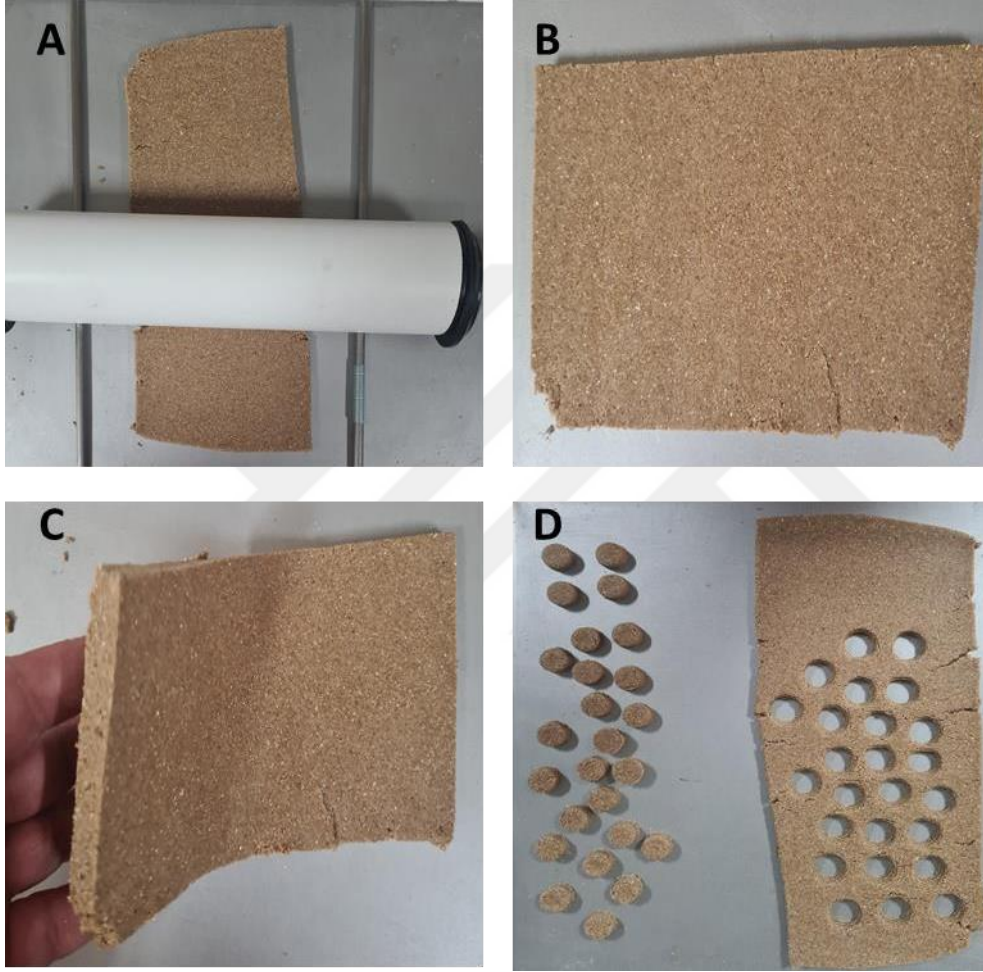


Şekil 11. Ekstrüder cihazı ve kısımları

Sonraki aşamada hazırlanan yem karışımları çift vidalı bir ekstrüder (Osint DSE32, Çin) kullanılarak işlenmişlerdir. 5,5 kW'lık bir ana motora sahip olan ekstrüdere 4 kg/saat hızda besleme yapılmıştır. 3 kısımda sıcaklık kontrolüne olanak sağlayan ekstrüderde, yapılan ön denemeler sonucunda birinci, ikinci ve üçüncü bölgede sıcaklıklar sırasıyla 60, 85, 100°C olarak sabit tutulmuştur (Şekil 11). Çalışma kapsamındaki ekstrüzyon ürünleri üretimi 2'şer paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen ekstrüde ürünler, sıcaklığı 50 °C'ye ayarlanmış etüvde (Nüve, Ankara, Türkiye) bir gece bekletilmiş ve ilgili analizleri yapılana kadar vakum ambalajlarda saklanmışlardır.

2.3. Fırınlanmış ürünlerin hazırlanması

Fırınlanmış ürünlerin hazırlanması sırasında ekstrüde ürünlerde olduğu gibi Tablo 2’de verilen formülasyonlar kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinden farklı olarak fırınlama işlemi sırasında son karışımın su oranı %40 olarak bütün denemelerde sabit tutulmuştur.



Şekil 12. Fırınlanmış ürünlerin hazırlanmasında hamur inceltme ve şekillendirme işlemi.

Kontrol ve diğer numuneler için Tablo 2’de verilen maddeler bir yoğurucu (Model K5SS, KitchenAid, USA) kullanılarak karıştırılmıştır. İlk sırada kuru karışımlar eklenmiş daha sonra hamurdaki toplam su oranı kütlece %40 olacak biçimde oda sıcaklığında su eklenmiştir. 10 dakika boyunca 100 devir/dakika hızda karıştırılan karışımın bir hamur kıvamında olması sağlanmıştır. Sonraki aşamada Şekil 12’de gösterilen kalınlık ayarlı bir merdane yardımıyla 10 mm kalınlığa inceltilen hamur 16 mm çaplı bir kalıp kullanılarak silindir biçiminde şekiller halinde kesilmiştir. Ardından

şekillendirilmiş hamur taneleri bir tepsiye aktarılarak fırında pişirilmişlerdir. Pişirme işlemi 220°C'a ısıtılmış fırın (Unox, İtalya) içerisinde 10-12 dakika sürmüştür. Pişirme işlemi fırınlanmış ürünlerin nem oranı %10 olunca sonlandırılmıştır. Fırınlama sonunda hızlı nem ölçümü amacıyla bir halojen rutubet ölçer kullanılmıştır (Metler Toledo HE73, İsviçre). Kuru mamalar oda sıcaklığına soğumaya bırakılmış ve numuneler daha ileri analizler için vakumlu ambalajlarda saklanmıştır.

2.4. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerde Yapılan Analizler

2.4.1. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Makro Besinsel İçerikleri

Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin üretiminde kullanılan yem maddeleri kuru madde (KM), kül (HK), ham protein (HP), ham yağ (HY), ham selüloz (HS) ve nişasta oranları Madde 2.1'de verilen yöntemlere göre belirlenmiştir.

2.4.2. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Genleşme İndeks Değerleri

Ekstrüde ürünlerin çapları bir kumpas kullanılarak 0,01 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Genleşme indeksinin hesaplanması amacıyla, her bir formülasyona ait üretimden 10 adet ekstrüde ürün rastgele seçilmiş ve alınan bu numunelerin 10'ar farklı noktada çap ölçümleri yapılmıştır. Her bir formülasyon için yapılan toplam 100 ölçümün aritmetik ortalaması (k) ve namlu çıkışında bulunan kalıp çapı değeri (d = 4 mm) kullanılarak genleşme indeksi değerleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$G_i = \frac{k^2}{d^2}$$

Fırınlanmış ürünlerde ise genleşme oranı belirlenmesi amacıyla fırınlanmış ürünlerin ortalama hacminin kullanılan kalıbın hacmine oranı kullanılmıştır.

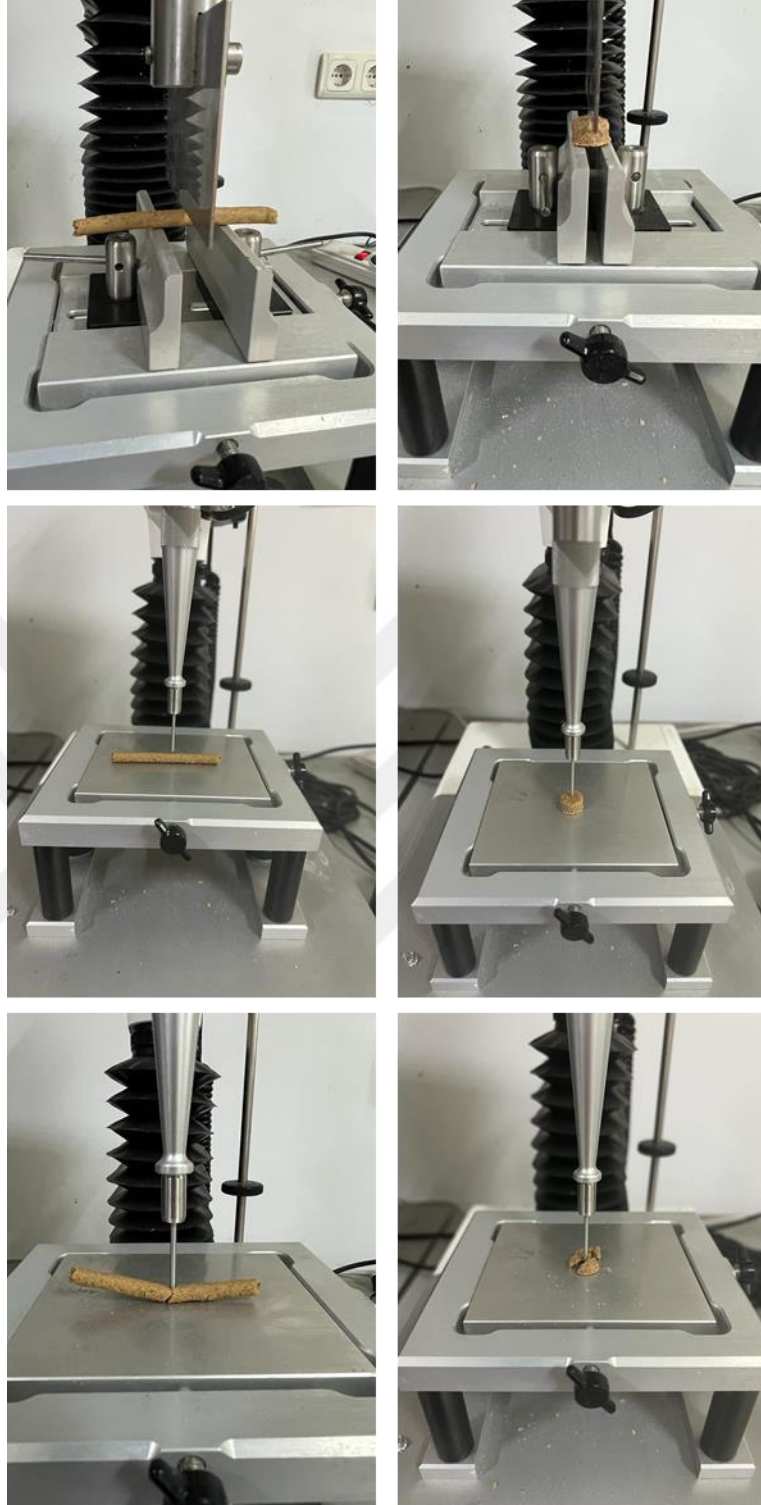
2.4.3. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Yığın ve Parça Yoğunluk Değerleri

Ekstrüde ve fırınlanmış örneklerin yığın yoğunlukları bir piknometre (Quantachrome Ultrapycnometer 1000, Quantachrome Instruments, ABD) ile belirlenmiştir. Ekstrüde edilmiş numunenin her partisinin ölçümü üç kez tekrarlanmıştır. Parça yoğunluğu, bir ürünün tek parça bazında ağırlık/hacim oranı olarak tanımlanır. Ürünün çapını, yüksekliğini ve uzunluğunu ölçmek için kumpas kullanılmıştır. Numuneler laboratuvar terazisinde 0,001 g hassasiyetle tartılmıştır. Parça yoğunluğu, en az 30

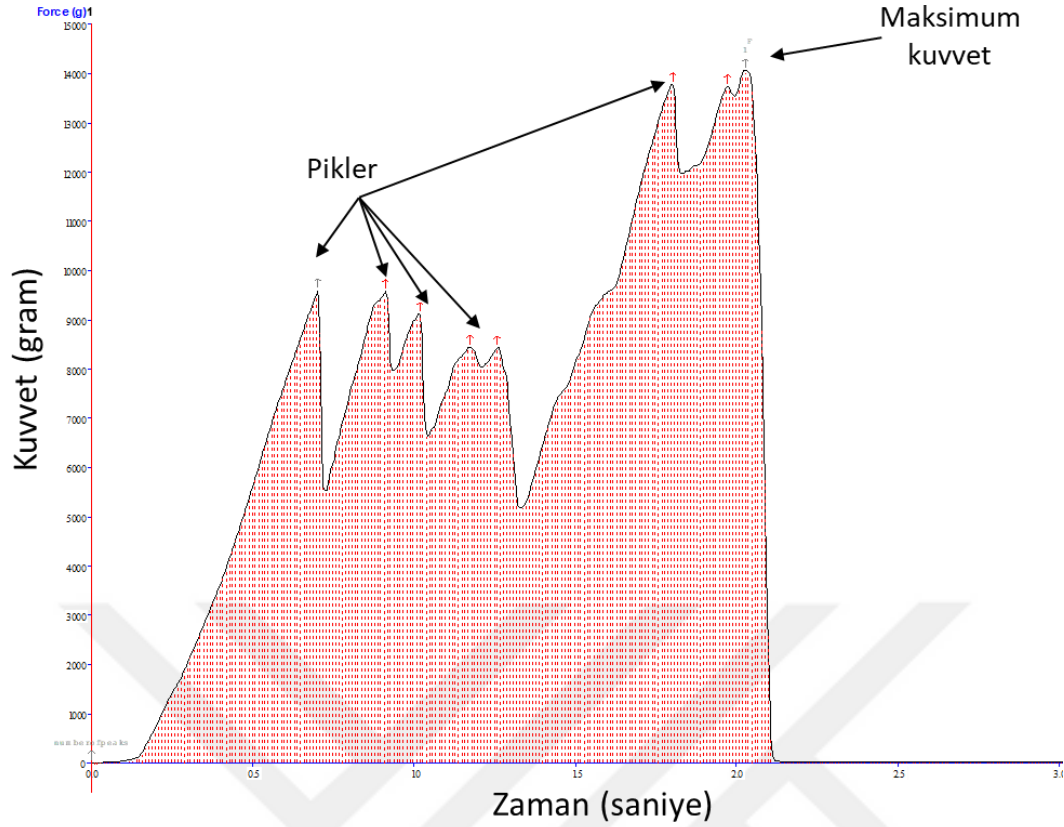
numunenin (parçaların bir silindir olduğu varsayılmıştır) ortalama kütle-hacim oranı kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4.4. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Tekstür Ölçümleri

Tekstür özelliklerinin analizi ODTÜ Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan Stable Microsystem TA.XT plus Tekstür Analizörü (Godalming, Surrey, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır. Kırma ve delme aparatları kullanılarak iki farklı yöntem kullanılmıştır (Şekil 13). Her iki aparat ile yapılan analizler için 30 kg'lık yük hücresi kullanılmıştır. Aparatların deney öncesi dikey hızı 10 mm/sn ve deney hızı 1 mm/sn olarak ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Bu analiz ile örneklerin sertlik (N) ve pik sayısı (adet) özellikleri incelenmiştir. Analiz sırasında alt tablo üzerine ekstrüde veya fırınlanmış ürün numuneleri yerleştirilmiş ve ardından kırma ve delme deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır. Tekstür analizleri ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerde ayrı ayrı 20 kez tekrarlanmıştır. Analizler sonucunda bir örneği Şekil 14'te verilen kuvvet (g) zaman (sn) grafikleri elde edilmiştir. Yine Şekil 14'te gösterildiği üzere bu grafiklerden sertlik değeri olarak kullanılan maksimum pik kuvveti ve gevreklik göstergesi olarak kullanılan pik sayısı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 13. Tekstür analizi sırasında kullanılan kırma ve delme aparatları



Şekil 14. Tekstür analizi sırasında elde edilen tipik bir kuvvet-zaman grafiğin pikler ve sertlik değerinin belirlenmesi

2.4.5. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerde Gözeneklilik Analizleri

Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerde fiziksel özelliklerin tamamı ODTÜ Gıda Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, gözeneklilik açısından değerlendirilmeden önce kırılganlığı azaltmak amacıyla %50 bağıl neme sahip bir ortamda 1 gün bekletilmişlerdir. Numuneler daha sonra cerrahi bir bıçak kullanılarak iki parçaya ayrılmıştır. Daha sonra, 50X büyütmede, bir stereo mikroskop (Bresser ETD-201, Almanya) kullanılarak kesit resimleri çekilmiştir. Elde edilen görüntülerde, numune yüzeyinin daha koyu olan boşluklarının gözenekleri temsil ettiği ve bazılarının daha büyük gözeneklerin parçası oldukları düşünülmektedir. Gri ölçekli mikroskop görüntüsü üzerinde Otsu çok seviyeli eşikleme kullanılarak görüntünün en karanlık kısmı bölümlere ayrılabilir (Ezeakacha ve diğerleri, 2018; Otsu, 1979; Rabbani ve Salehi, 2017). Gri tonlamalı görüntüler ilk önce literatürde açıklanan prosedürlere göre ikili gürültü azaltma ve medyan filtreleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Ardından, örtüşen gözenekli geometrileri tespit etmek ve ayırt etmek ve gözenek boyutu dağılımını tahmin etmek için segmentasyon kullanılmıştır (Ezeakacha

ve diğerleri, 2018; Rabbani ve diğerleri, 2014; Rabbani ve Salehi, 2017). Bu çalışmada kullanılan görüntü işlemi için bir MATLAB dosyası Rabbani ve Salehi (2017) tarafından verilmiştir.

2.4.6. Ekstrüzyon İşleminin Spesifik Mekanik Enerji (SME) Değerlerinin Belirlenmesi

SME aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir. Burada, SME kJ/kg cinsinden spesifik mekanik enerji, τ ise N•m cinsinden tork, τ_0 N•m cinsinden serbest dönen motor torku, N rpm cinsinden dönüş hızı, N_r rpm cinsinden nominal motor hızı, P_r (5,5 kW) motor gücü ve m ise ekstrüderden çıkan ürünün saniyedeki kütlesidir (Donadelli ve diğerleri, 2021).

$$SME \left(\frac{kJ}{kg} \right) = \frac{\left(\frac{r - r_0}{100} \right) \times \frac{N}{N_r} \times P_r}{m}$$

2.4.7. Fırınlama İşleminde Kullanılan Termal Enerji Değerlerinin Belirlenmesi

Fırınlama termal enerjisi, fırına alınan enerji miktarı ölçülerek dolaylı olarak ölçülmüştür. Fırınlama işlemi sırasında hamurda bulunan suyun hal değişimi sonucu buharlaşması en yüksek oranda enerjinin harcandığı kısımdır. Uygulanan termal enerji miktarını belirlemek için hamurda bulunan su miktarından son üründe bulunan su miktarı çıkartılmış ve bu su kütlesinin ısıtılması ve hal değişim için gerekli olan enerji hesaplanmıştır. Su kütlesinin ısıtılması için gerekli olan enerji ($\Delta H = mc_p \Delta T$) buharlaşan kütle (m), ısı kapasitesi (c_p) ve sıcaklık farkı (ΔT) kullanılarak hesaplanmıştır. Suyun buharlaşması için gerekli enerji ise hal değişimi enerjisinin (2230 kJ/kg) buharlaşan su kütlesi ile çarpılması sonucu bulunmuştur.

2.4.8. Ekstrüde ve Fırınlanmış Ürünlerin Renk Değerleri

Hunter L* değeri (siyahtan beyaza 0-100 arasında değişen hafiflik) ürünlerin renklerinde gözlemlenen değişimleri değerlendirmek için kullanılmıştır. Hunter Lab Kolorimetresi (ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, ABD) ile yapılan analizlerden önce numuneler öğütülmüş ve 50mg göz açıklığı olan elekte elenmiştir. Analizler her bir numune için 10 kez tekrarlanmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.

2.4.9. Hammadde Karışımlarının RVA Analizi

RVA ölçümlerini yapmak için 6 g hammadde bileşeninden oluşan karışım ve 25 mL damıtılmış su ile karıştırılmıştır. Katı-sıvı oranının tüm numunelerde sabit kalması için, öğütme işleminden sonra her numunenin nem içeriği, RVA analizi için kullanılacak numunenin ağırlığını belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra kuru numune ve su ayrı ayrı ± 0.001 g hassasiyetle tartılmış ve karıştırılmıştır. Viskozite değerleri, RVA cihazı ile birlikte sunulan Thermocline yazılımı kullanılarak kaydedilmiştir (RVA Serisi 4). Sıcaklı ve devir profili olarak; 25°C'de 10 s 960 rpm, 25°C'de 110 s 160 rpm karıştırma, 160 rpm'de karıştırırken 300 sn'de 95°C'ye sıcaklığın arttırılması, 160 rpm'de karıştırırken 180 sn için 95°C'de sıcaklığın sabit tutulması, 160 rpm'de karıştırırken 300 sn'de 25°C'ye soğutma ve son olarak 160 rpm'de karıştırırken 300 dakika boyunca 25°C'de tutma kullanılmıştır. Her analiz 20 dakika sürmüştür ve üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Soğuk viskozite (2 dakika sonra RVA viskozitesi), pik viskozite, paste viskozitesi (çalışma sonunda son viskozite) değerleri kaydedilmiştir.

2.4.10. İn-Vitro Sindirilebilirlik Analizleri

İn vitro sindirilebilirlik analizleri için Vervaeke (1989) tarafından ilk defa kullanılan ve Biagi ve ark. (Biagi ve ark., 2016) tarafında geliştirilen yöntem kullanılmıştır.

Şekil 15'te akış şeması verilen yönteme göre ilk aşamada fırınlanmış ve ekstrüde numuneler 65°C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuşlardır. Kurumuş numuneler daha sonra 1 mm'den küçük parçacık boyutu olacak biçimde öğütülüp elenmişlerdir. İn vitro sindirim analizinin ilk aşamasında gastrik sindirim simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 10 g mama numunesi, 400 mL pepsin-HCl çözeltisi (HCl 0.075N; pepsin 2 g/L, Sigma Aldrich) ve gastrik lipaz (1 g/L; Rhizopus lipaz, Sigma Aldrich) içeren 1 L'lik erlen içerisine konulmuştur. Daha sonra karışım 2 saat boyunca 39°C'de çalkalamalı inkübatör içerisinde inkübe edilmiştir. Sonraki aşamada ince bağırsak sindirimi simülasyonu yapılmıştır. İlk olarak, pH seviyesi NaOH (1 N) ile 7,5'e ayarlanmıştır. Sonra 25 g/L derişim olacak biçimde safra tuzları (Deoksikolik asit sodyum tuzu, Sigma Aldrich) eklenmiş ve hemen ardından 10 g/L pankreatin (Sigma Aldrich) içeren 400 mL fosfat tamponlu çözelti erlene eklenmiştir. İnce bağırsak sindirimini simüle etmek için Biagi ve ark. (2016) tarafından tarif edilen

fosfat tamponlu çözelti hazırlanması için 1 L damıtılmış suda 3.72 g Na₂HPO₄, 3.92 g NaHCO₃, 0.19 g NaCl, 0.23 g KCl, 0.12 g MgCl₂ ve 0.08 g CaCl₂ çözülmüştür.

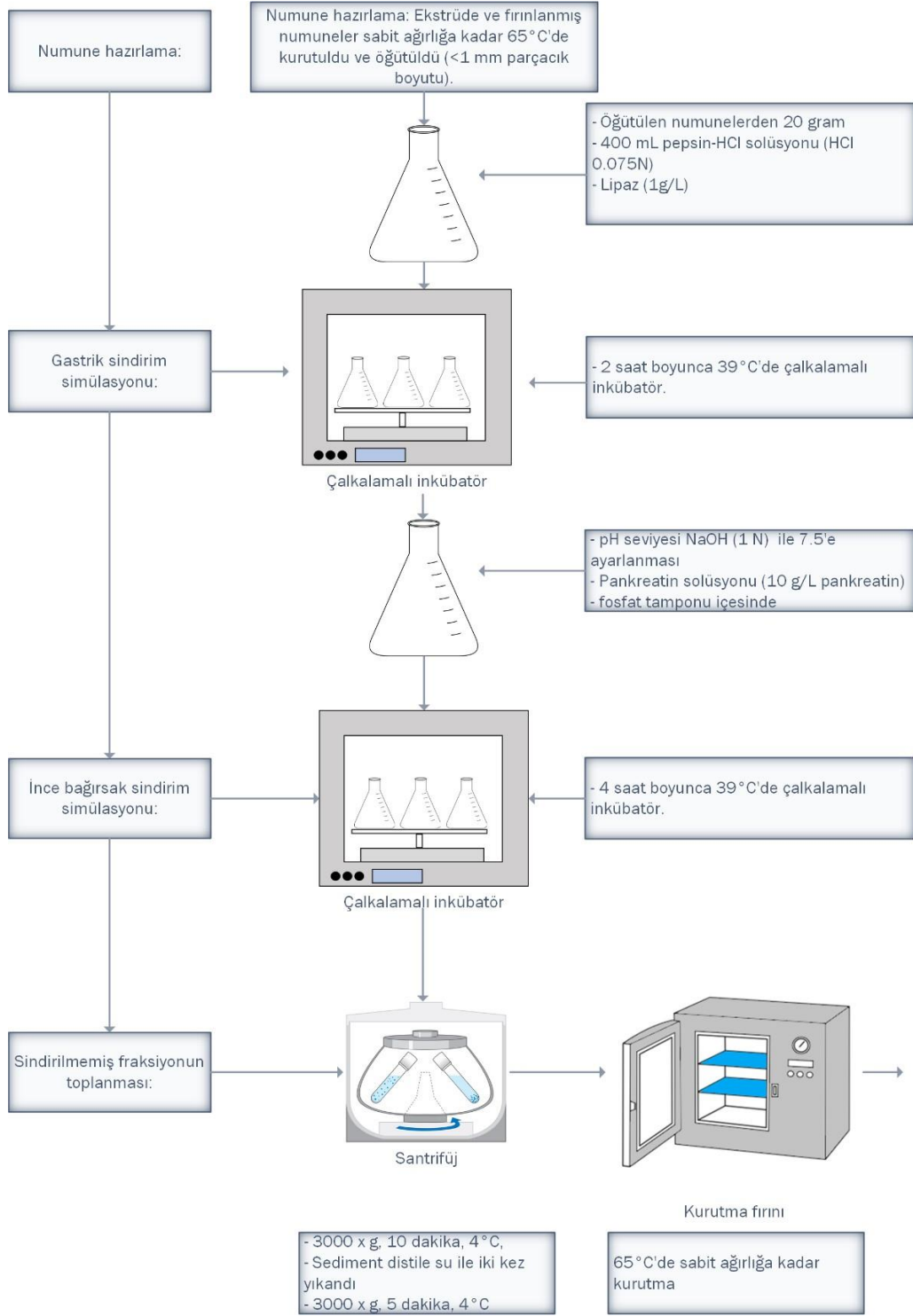
Son olarak, erlenler 4 saat boyunca 39°C’de çalkalamalı inkübatör içerisinde inkübe edilmiştir. Yapılan işlemlerin ardından sindirilmemiş kısmın ayrılması amacıyla karışımlar 3000 x g’de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Çözelti ayrıldıktan sonra çöken kısma damıtılmış su eklenerek tekrar 3000 x g’de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Sindirilmemiş katı kısım santrifüj tüplerinden alınarak 65°C’de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuşlardır. Son olarak Madde 2.1’de verilen yöntemler kullanılarak HP, HY ve nişasta içeriği bakımından analiz edilmişlerdir.

İn vitro sindirilebilirlik değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\% \text{ sindirilebilirlik} = \frac{(\text{ilk değer} - \text{sindirim sonrası değer})}{\text{ilk değer}} \times 100$$

2.5. İstatistik Analizleri

Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesi SAS 9.4 istatistik programı kullanılarak, tek yönlü varyans analizi ile yapılmıştır. Ortalama değerler arasındaki farkların önemli bulunması durumunda (p<0,05) verilerin ortalama değerlerinin karşılaştırılması, Duncan testi ile yapılmıştır. Ekstrüde ve fırınlanmış ürünler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.



Şekil 15. İn vitro sindirim analizinin aşamaları

3. BULGULAR

Tablo 3’de ekstrüde ve fırınlanmış mamaların hazırlanmasında kullanılan formülasyonların makro besinsel içerikleri verilmiştir. Daha sonraki aşamada, ekstrüde ve fırınlanmış mamaların hazırlanması sırasında farklı oranlarda su eklenerek ürünler hazırlanmıştır. Mısır, buğday ve pirinç gibi tahıllar yerine ekmek ikame edilmesinin ürünlerin viskozite değerlerine etkisinin anlaşılması için yapılan RVA analizi grafikleri Şekil 16’da verilmiştir. Bu analizlerden elde edilen soğuk viskozite, pik viskozite ve sıcak viskozite değerleri ise Şekil 17’de verilmiştir. Farklı formülasyonlar (F1-F4) ile üretilen ekstrüde ürünlere ait resimler Şekil 18’de verilmiştir. Aynı kuru madde formülasyonlar kullanılarak üretilen fırınlanmış numunelere ait resimler ise Şekil 19’da gösterilmektedir. F1, F2, F3 ve F4 formülasyonları kullanılarak üretilen ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin fiziksel özelliklerine ait sonuçlar Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23’te verilmiştir. Burada genleşme indeksi değerleri Şekil 20’de, yığın yoğunluğu değerleri Şekil 21’de, tane yoğunluğu değeri Şekil 22’de ve L* renk bulguları ise Şekil 23’te gösterilmektedir. Madde 2.4.6’da verilen yöntem kullanılarak hesaplanan SME değerleri de Şekil 24’te verilmiştir.

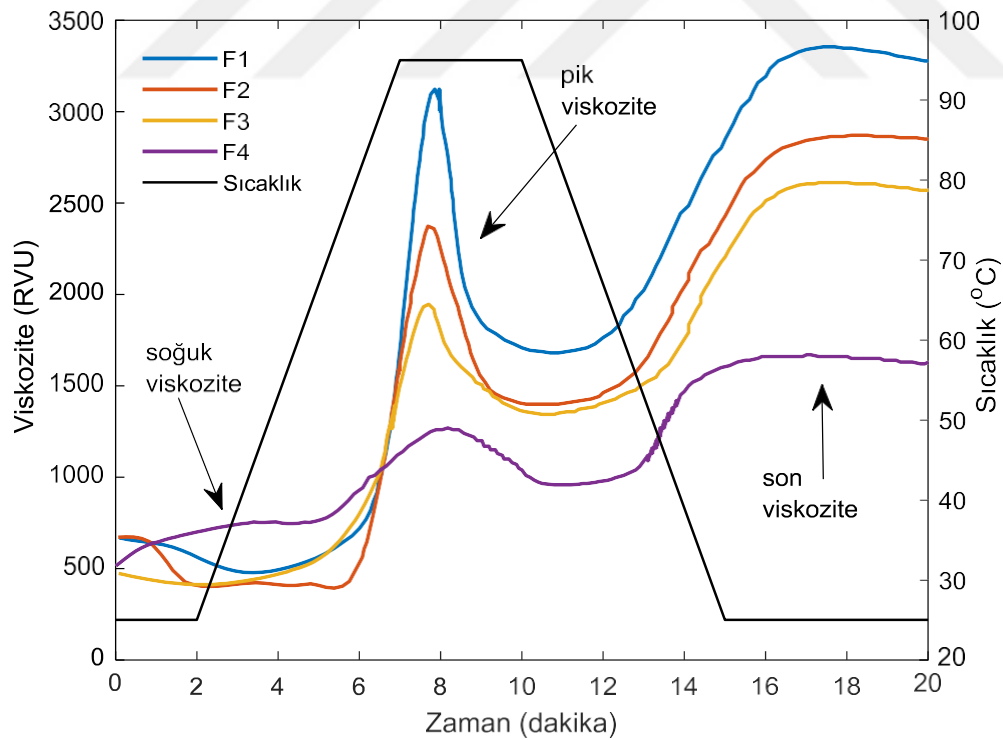
Ürünlerde tekstür özelliklerinin belirlenmesi amacıyla delme ve kırma deneyleri kullanılmıştır (Şekil 13) ve elde edilen kuvvet zaman grafiklerinin dağılımı Şekil 25’te verilmiştir. Burada Şekil 25A kırma, Şekil 25B ise delme deneyine ait sonuçlardır. Tekstür analiz cihazı verilerinden Şekil 26’da gösterildiği biçimde kırılma kuvveti ve pik sayısı değerleri elde edilmiştir. Ekstrüde ve fırınlanmış mamalarda elde edilen maksimum kırılma kuvveti ve pik sayısı değerleri ise sırasıyla Şekil 27 ve Şekil 28’de verilmiştir. Elde edilen değerlerin daha iyi anlaşılması ve mukayese amacıyla yapılan ticari mamalara ait tekstür sonuçları Şekil 29’da gösterilmiştir.

Sonraki aşamada elde edilen numuneler görüntü analiz yöntemleri ile incelenmiş ve bu yöntem sırasında kullanılan görüntüler Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32 ve Şekil 33’te verilmiştir. Görüntü analiz yöntemleri ile inceleme sonucu elde edilen gözenekler, gözeneklerin boyut dağılımı, ortalama boyu ve gözeneklilik değerlerine ait bulgular

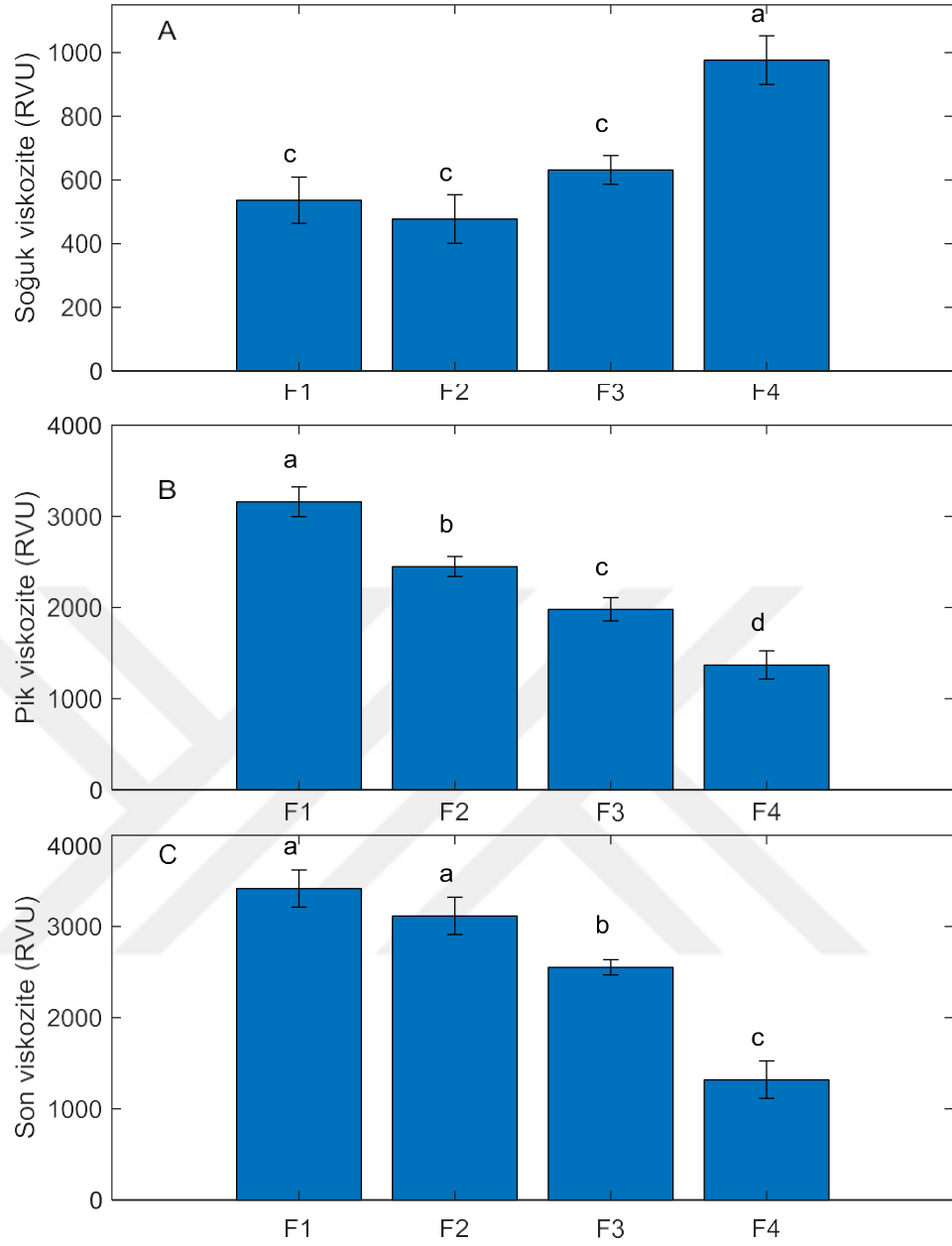
ise sırasıyla Şekil 34, Şekil 35, Şekil 36 ve Şekil 37’de verilmiştir. Son kısımda ise ürünlerin in vitro sindirilebilirlik değerlerinin belirlenmesi yönelik çalışmalar Şekil 15’te gösterildiği biçimde gerçekleştirilmiş ve elde edilen HP, HY ve nişasta sindirilebilirlik değerleri, ekstrüde ürünler için Şekil 38’de, fırınlanmış ürünler için Şekil 39’da verilmiştir.

Tablo 3. Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerin üretiminde kullanılan formülasyonların besin madde içerikleri. Burada KM: kuru maddeyi, HP: ham proteini, HY: ham yağı, HS: ham selülozu ifade etmektedir.

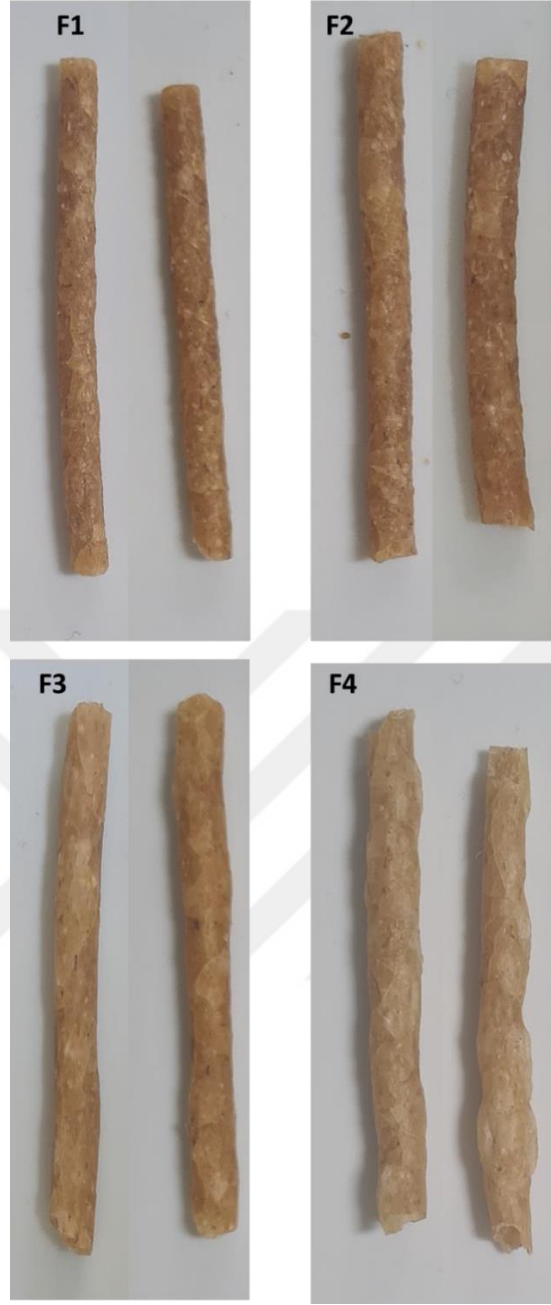
YEM MADDESİ	KM (g/100g)	HP	HY	HS	Nişasta	Kül
		(g/100g KM)				
F1	89,5	23,6	11,2	3,0	48,3	6,2
F2	89,3	23,8	11,6	2,3	47,7	6,5
F3	88,3	23,6	12,0	3,2	44,9	6,5
F4	89,1	24,1	12,5	3,5	42,5	6,7



Şekil 16. Formülasyonları oluşturan hammadde karışımlarının RVA viskozite profilleri



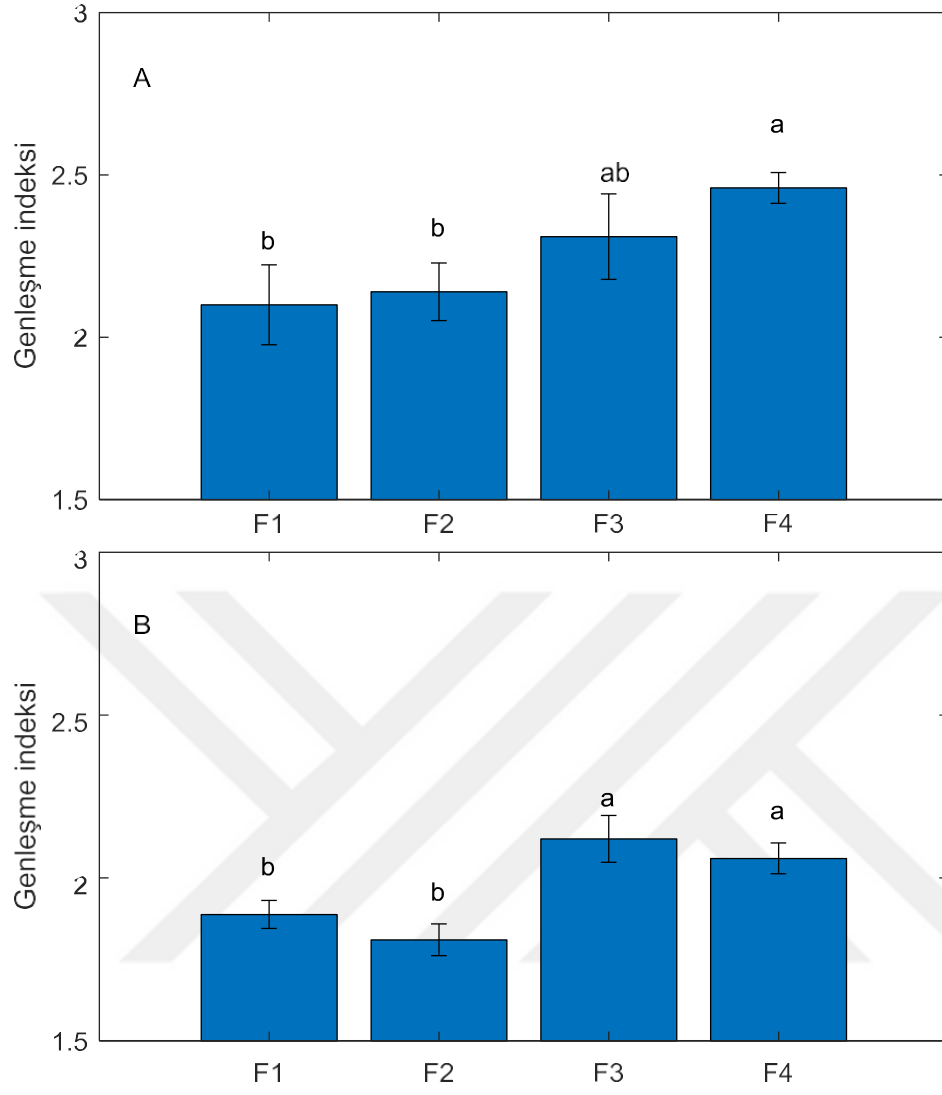
Şekil 17. Formülasyonları oluşturan hammadde karışımlarının RVA viskozite değerleri. A: soğuk viskozite, B: pik viskozite, C: son viskozite değerini göstermektedir. Bar grafiklerinde bulunan farklı harfler ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



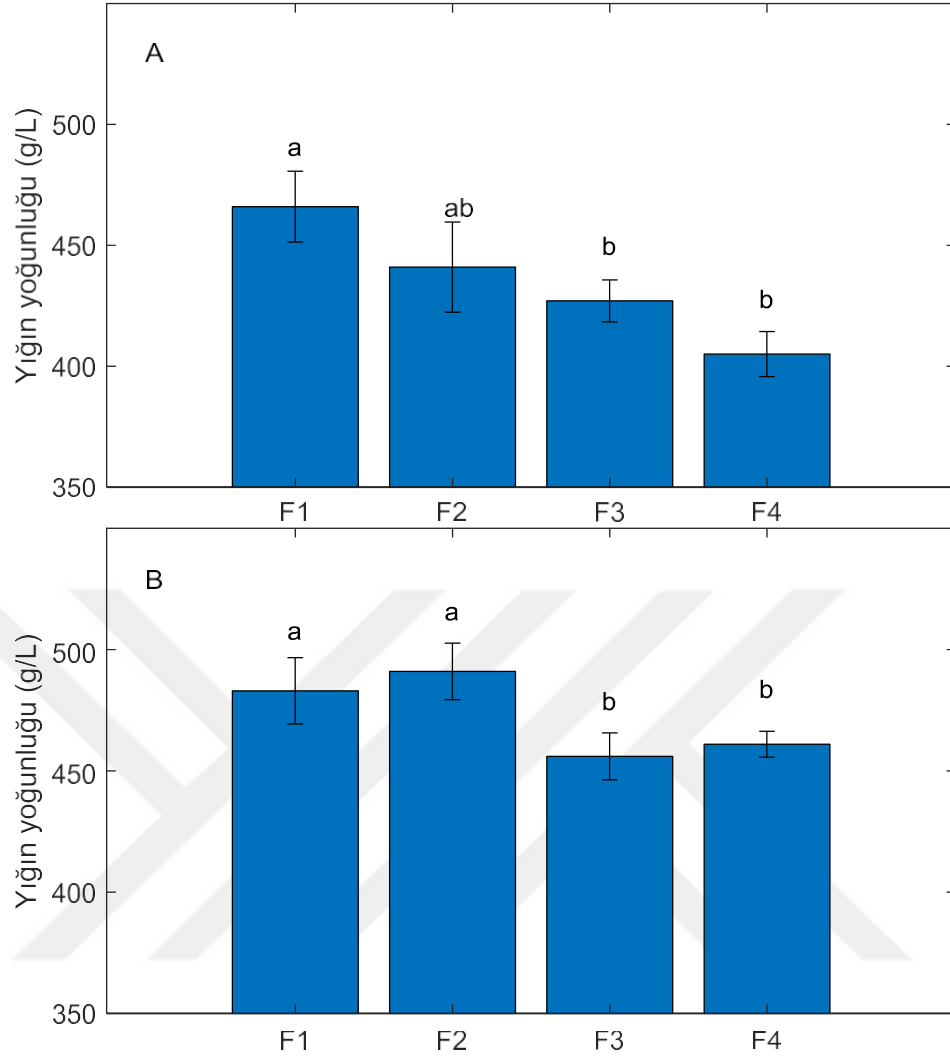
Şekil 18. Ekstrüde ürünler, F1, F2, F3 ve F4 ürünlerin hazırlanmasında kullanılan formülasyonları göstermektedir.



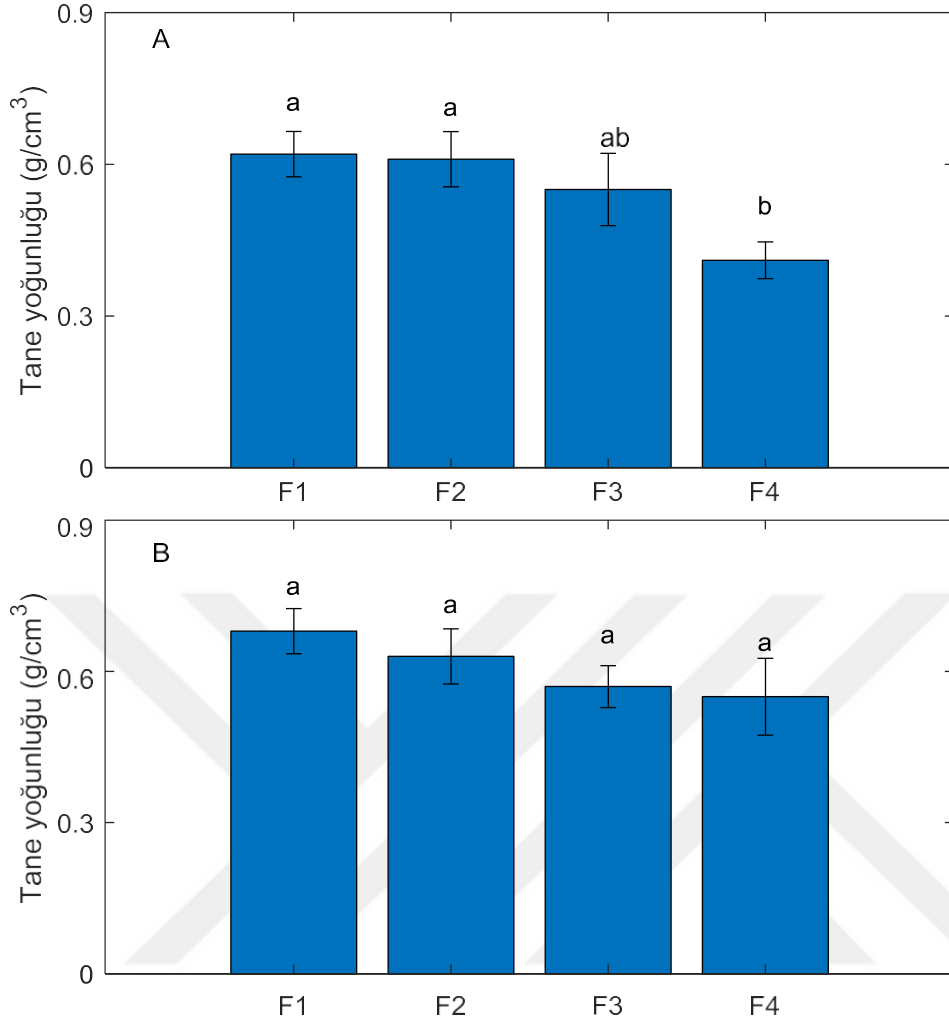
Şekil 19. 4 farklı formülasyonda hazırlanmış fırınlanmış ürünlerin görünümü. F1, F2, F3 ve F4 ürünlerin hazırlanmasında kullanılan formülasyonları göstermektedir



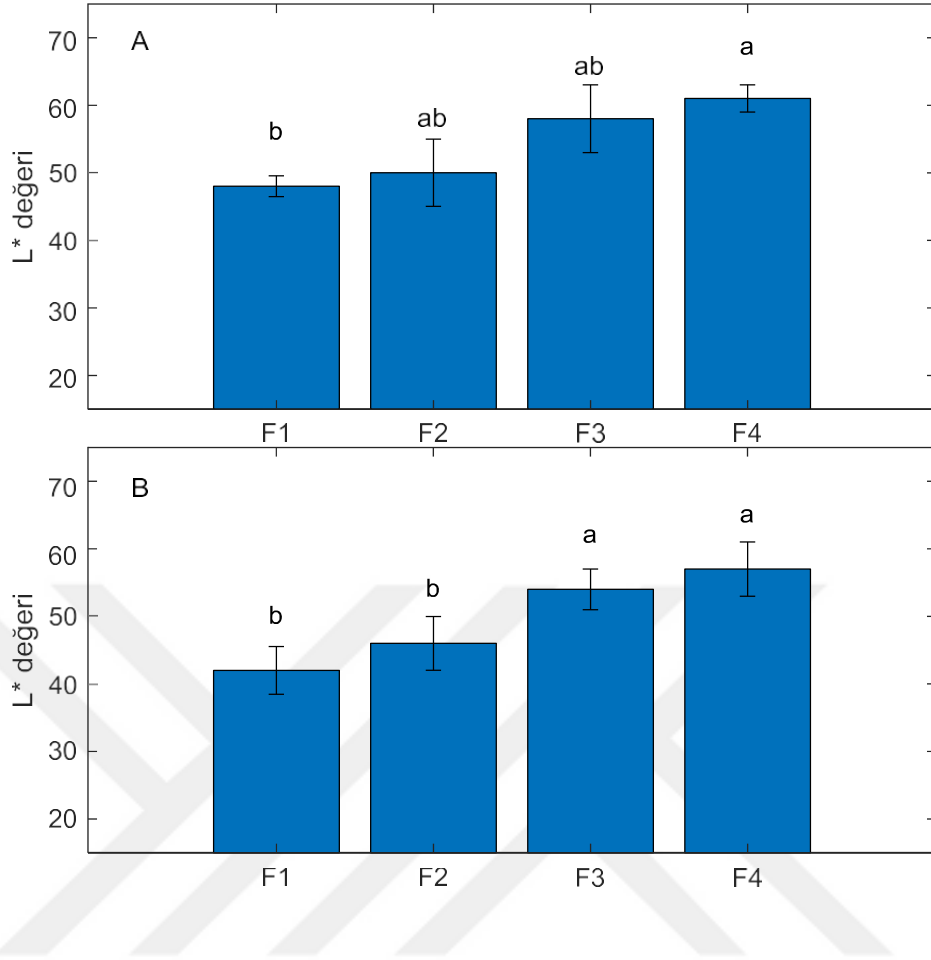
Şekil 20. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin genleşme indeksi değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



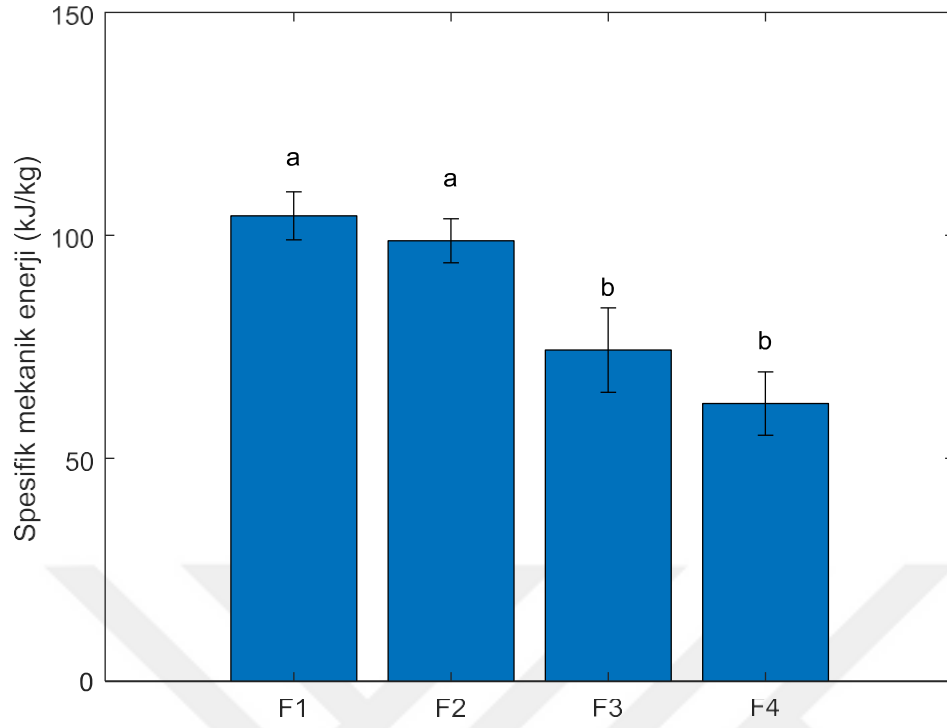
Şekil 21. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin yığın yoğunluğu değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



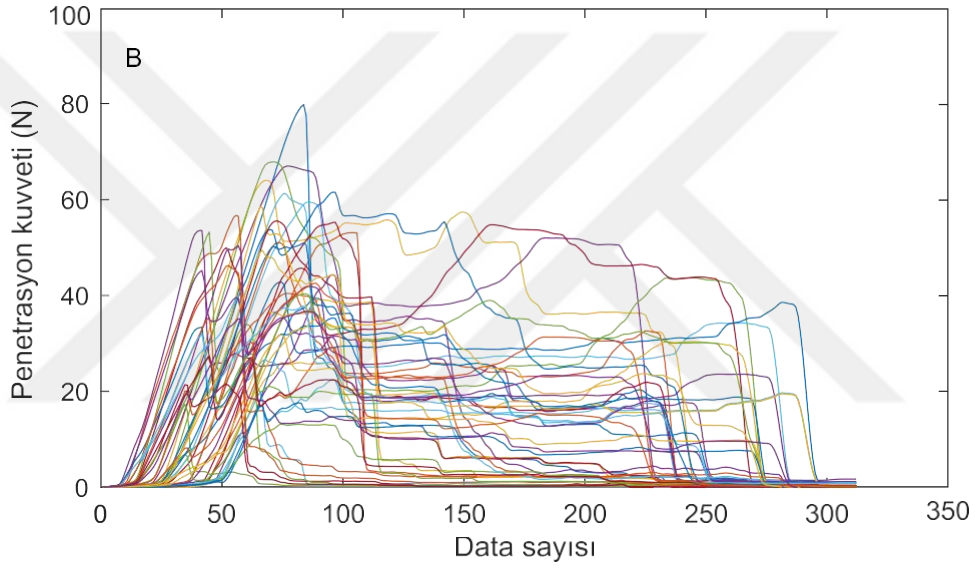
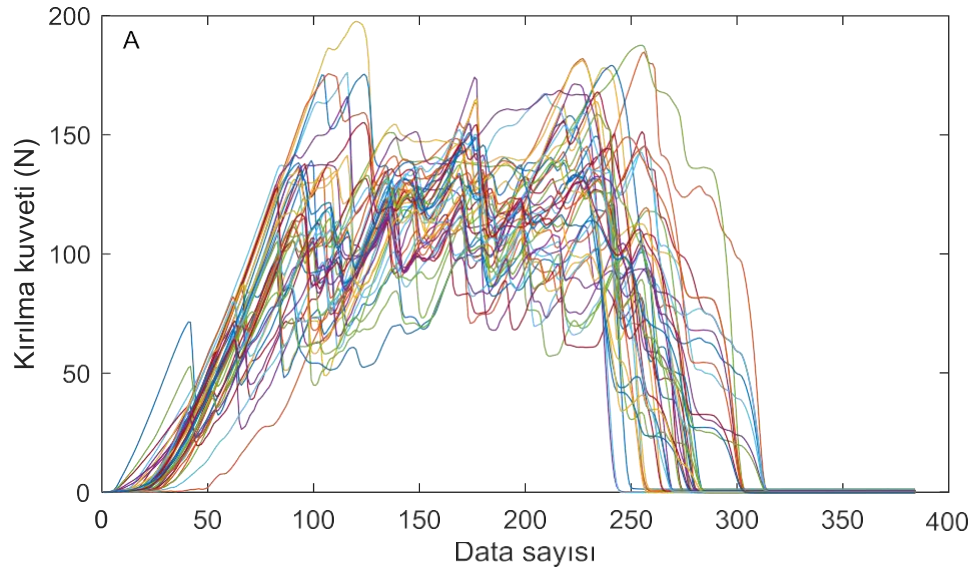
Şekil 22. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin tane yoğunluğu değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).



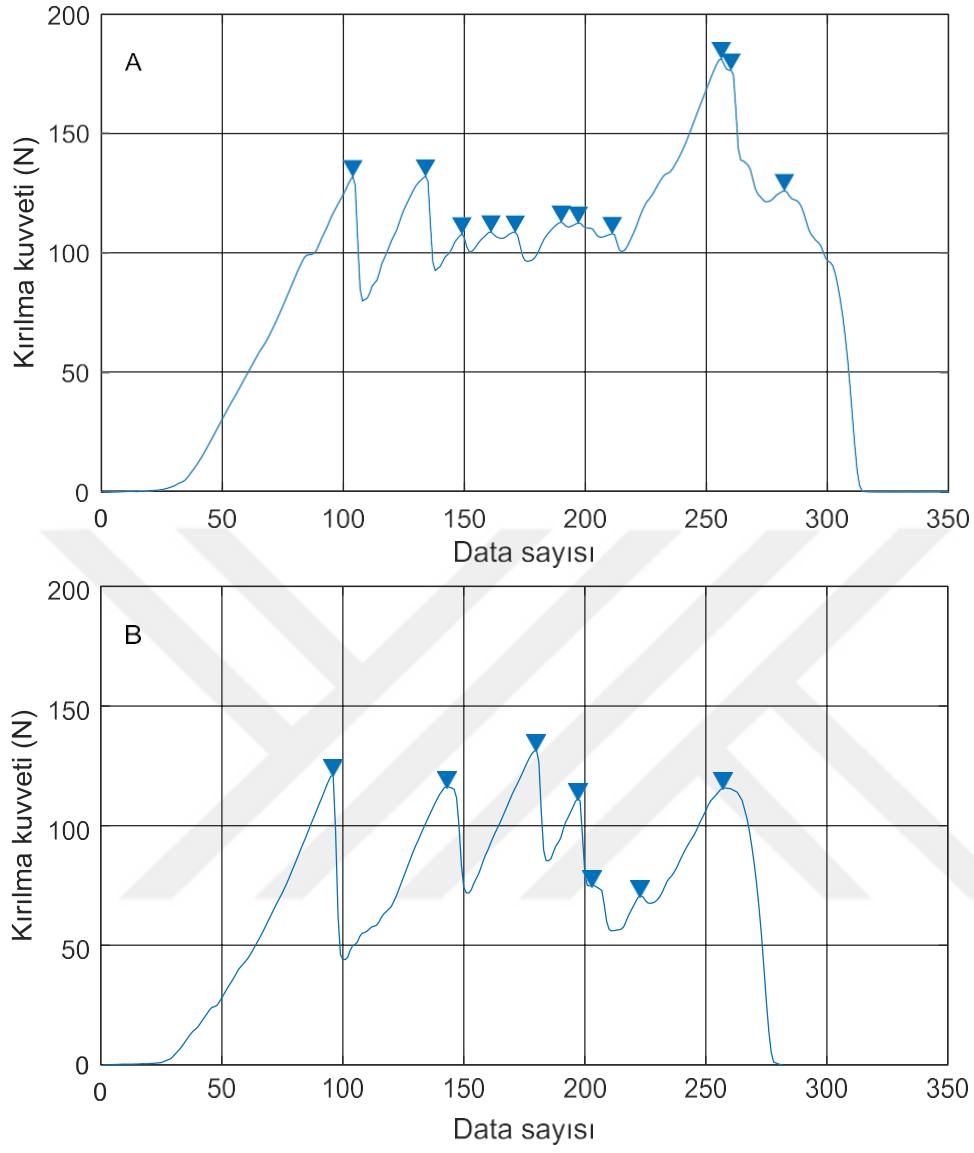
Şekil 23. Ekstrüde (A) ve fırınlanmış (B) ürünlerin L* renk değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



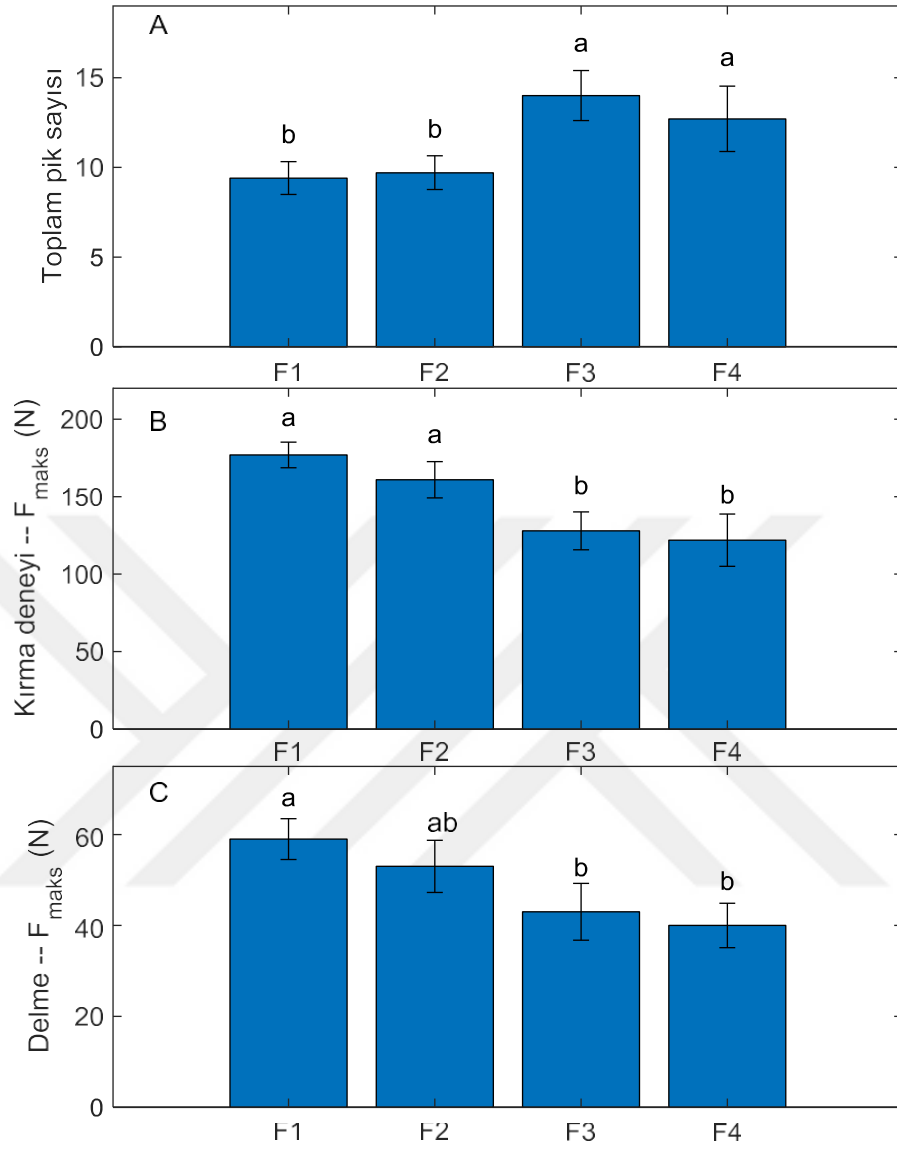
Şekil 24. Ekstrüzyon işlemi sırasında harcanan spesifik mekanik enerji (SME) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).



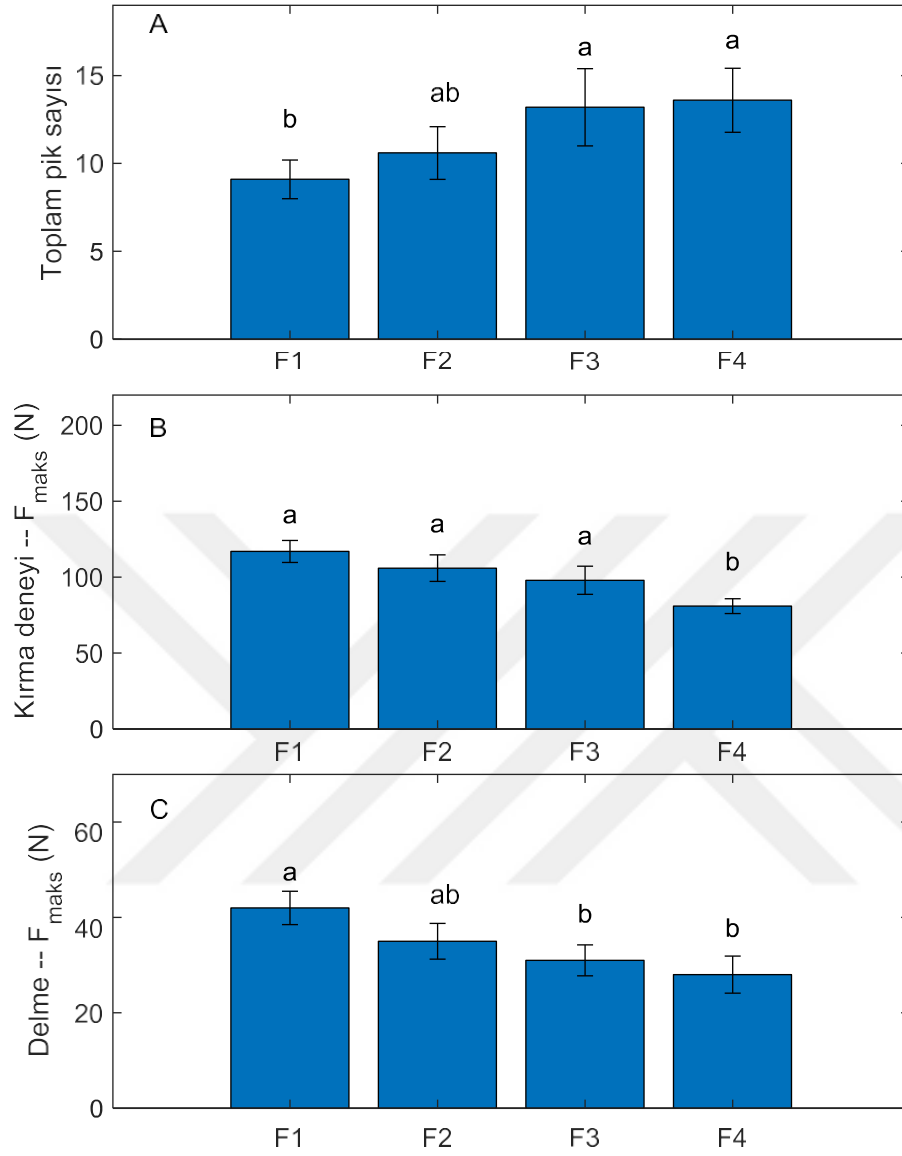
Şekil 25. Ekstrüzyon ve fırınlama işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümleri. A: kırılma deneyi sonuçları, B: delme deneyi sonuçları



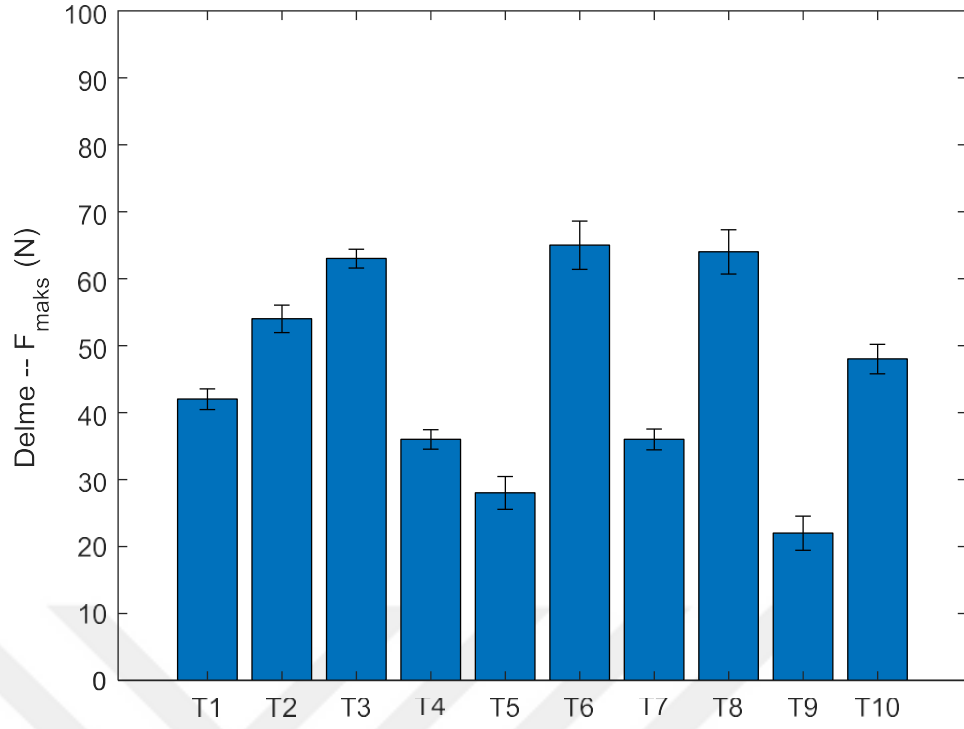
Şekil 26. Ekstrüzyon (A) ve fırınlama (B) işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden pik sayılarının elde edilmesi.



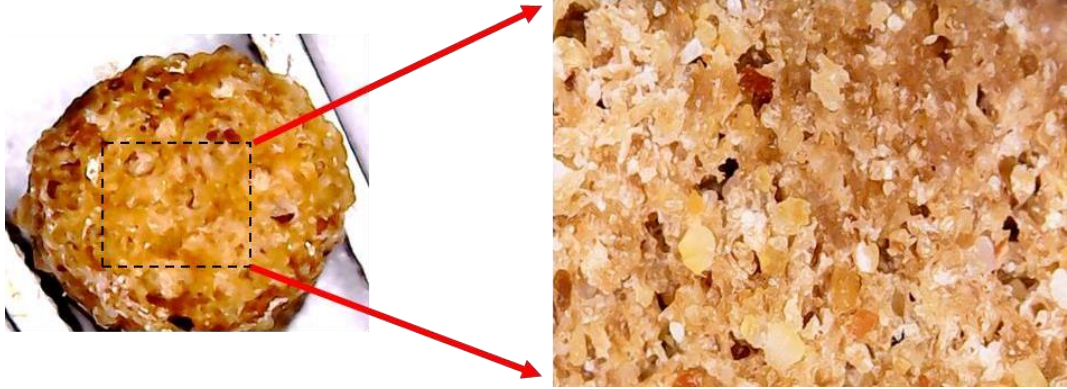
Şekil 27. Ekstrüzyon işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden elde edilen toplam pik sayısı (A), kırma deneyi maksimum sertlik (B), penetrasyon deneyi maksimum sertlik (C) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



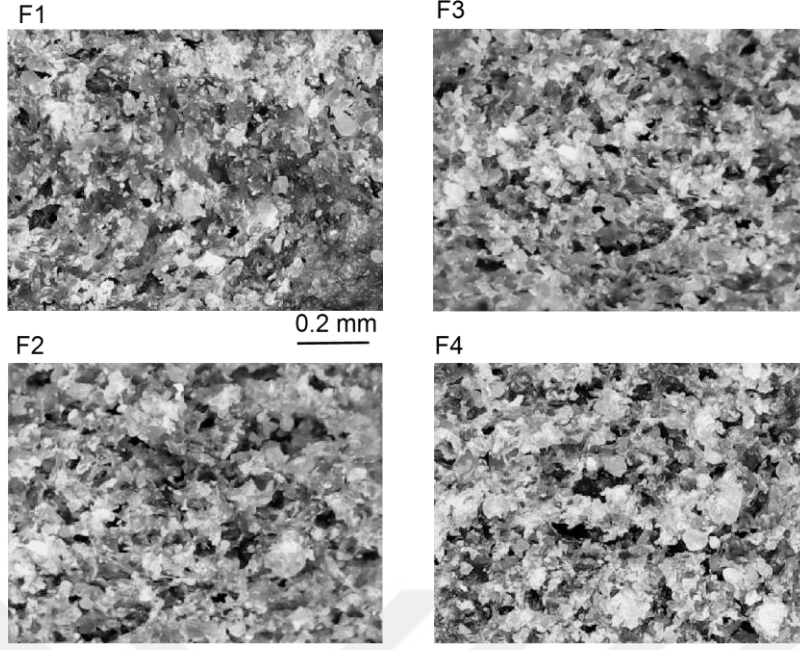
Şekil 28. Fırınlama işlemi ile üretimi yapılan mamaların tekstür ölçümlerinden elde edilen toplam pik sayısı (A), kırma deneyi maksimum sertlik (B), penetrasyon deneyi maksimum sertlik (C) değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



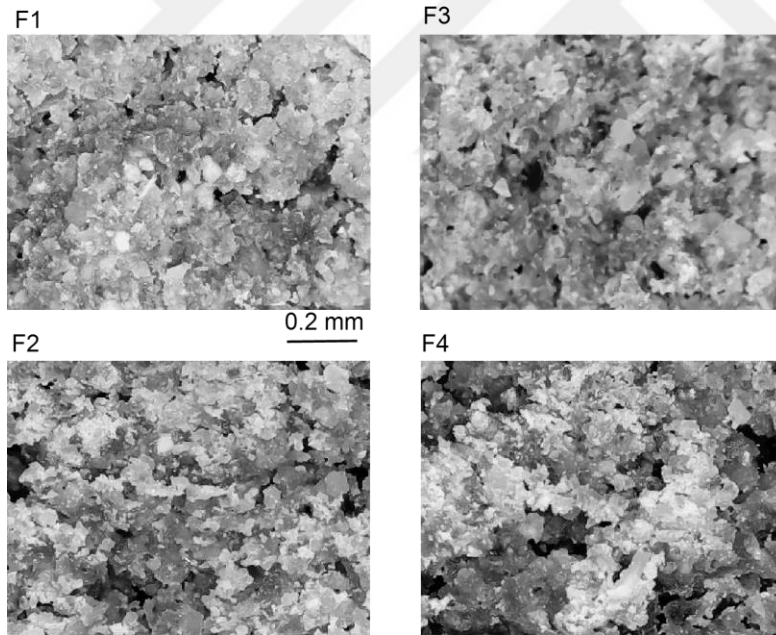
Şekil 29. Ülkemizde tenim edilen ve 10 farklı marka ekstrüde köpek mamasının delme deneyi ile elde edilen sertlik değerleri.



Şekil 30. Stereo mikroskop ile elde edilen kesit resimlerinin incelenmesi

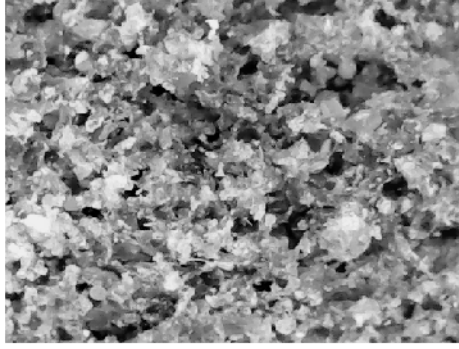


Şekil 31. Dört farklı formülasyon ile üretilmiş ekstrüde mamaların kesit yüzeyleri

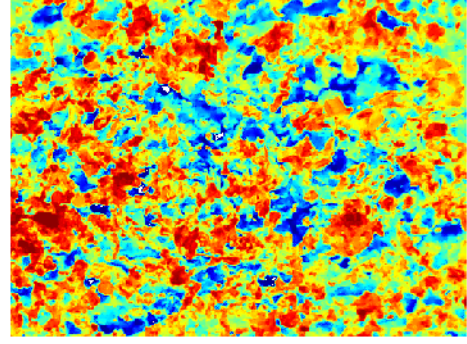


Şekil 32. Dört farklı formülasyon ile üretilmiş fırınlanmış mamaların kesit yüzeyleri

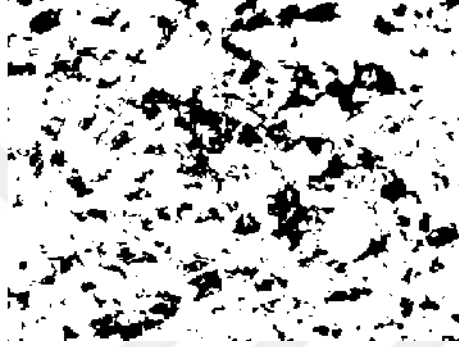
Mama kesitinin orjinal görüntüsü



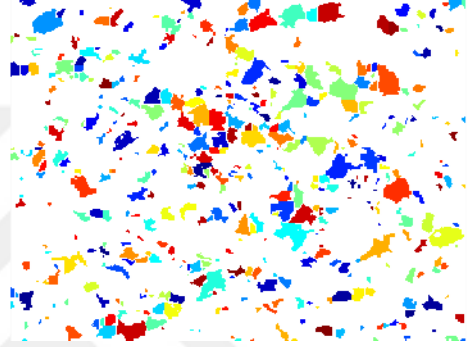
Derinlik görüntüsü



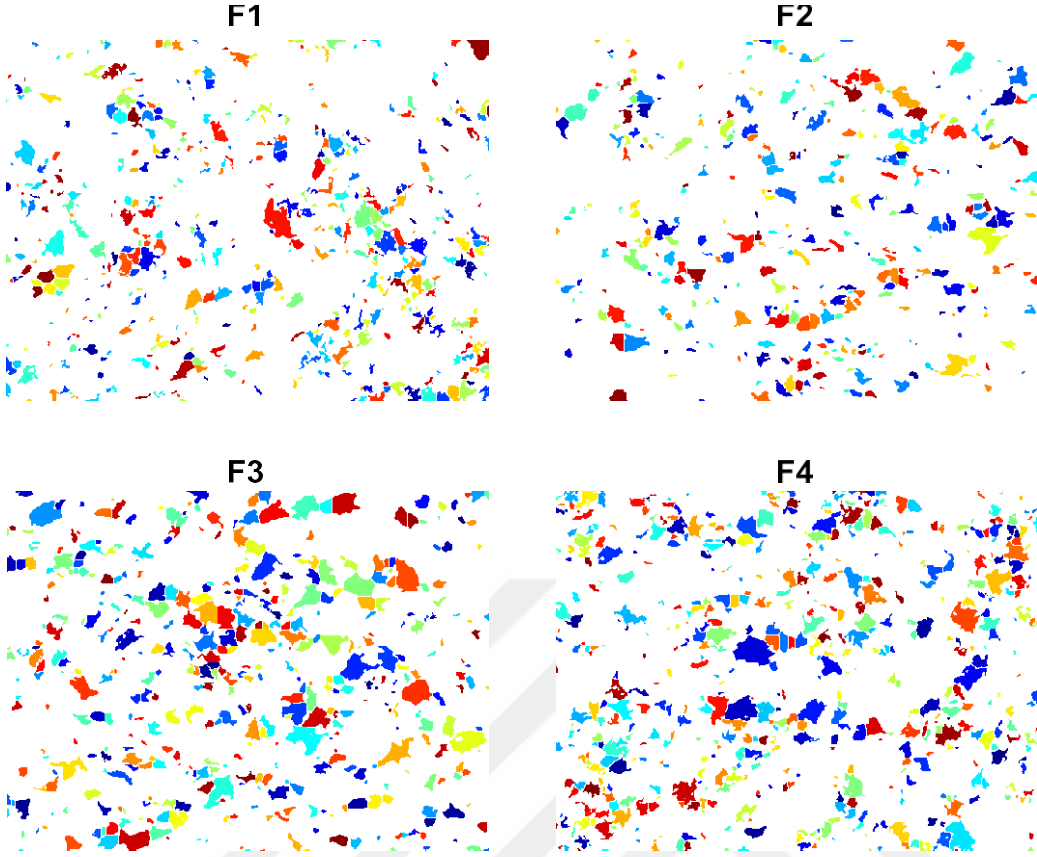
İkili bölümlendirme



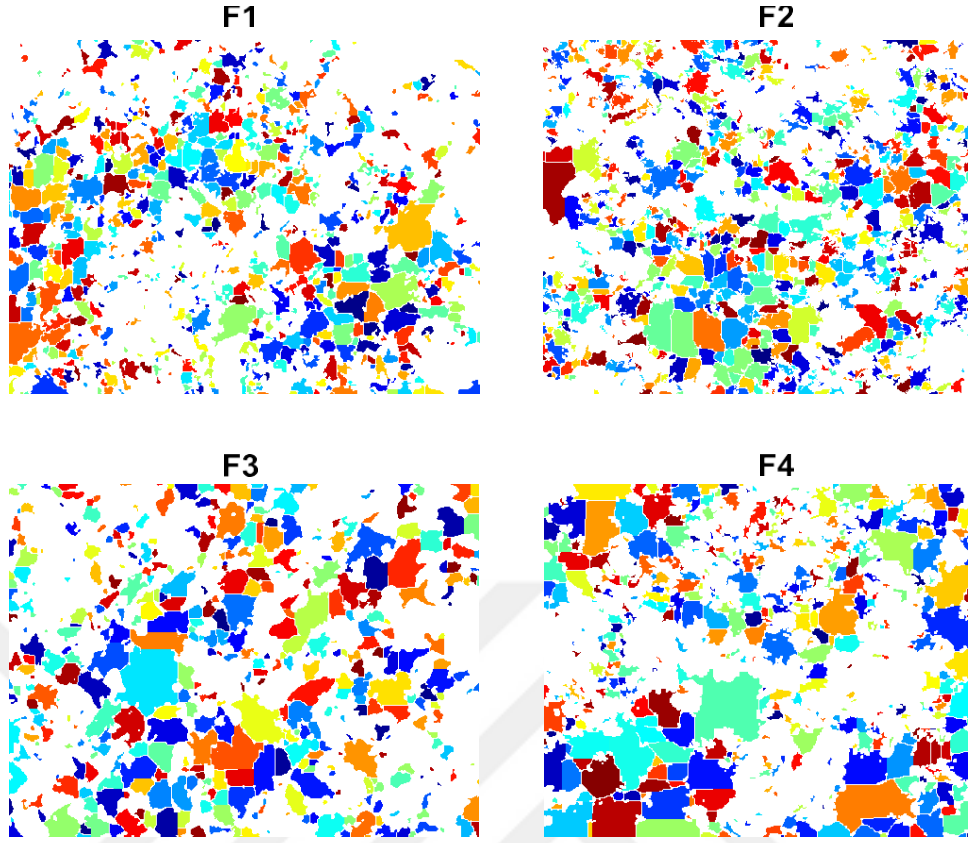
Gözeneklerin bölümlendirilmesi



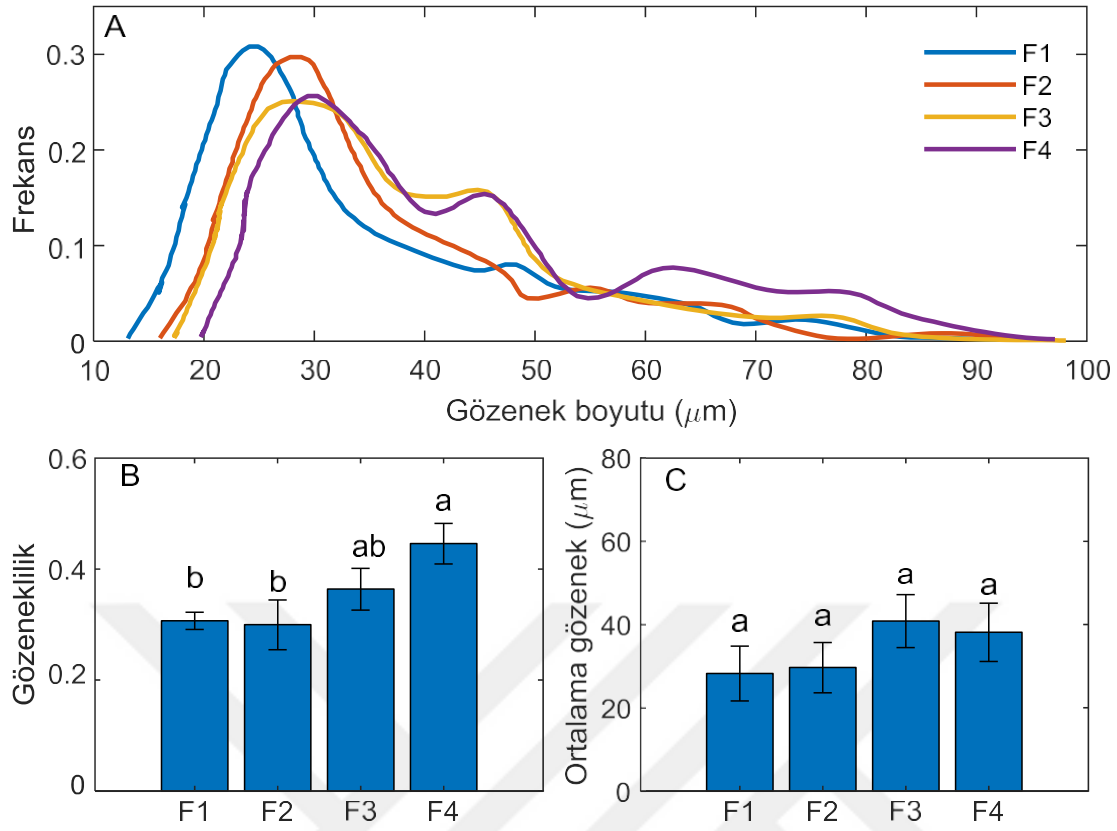
Şekil 33. Çoklu seviyeli eşikleme (multi level tresholding) kullanılarak elde edilen resimlerde gözenek boyutu ve miktarının belirlenmesi aşamaları (Rabbani ve ark., 2014; Ezeakacha ve ark., 2018)



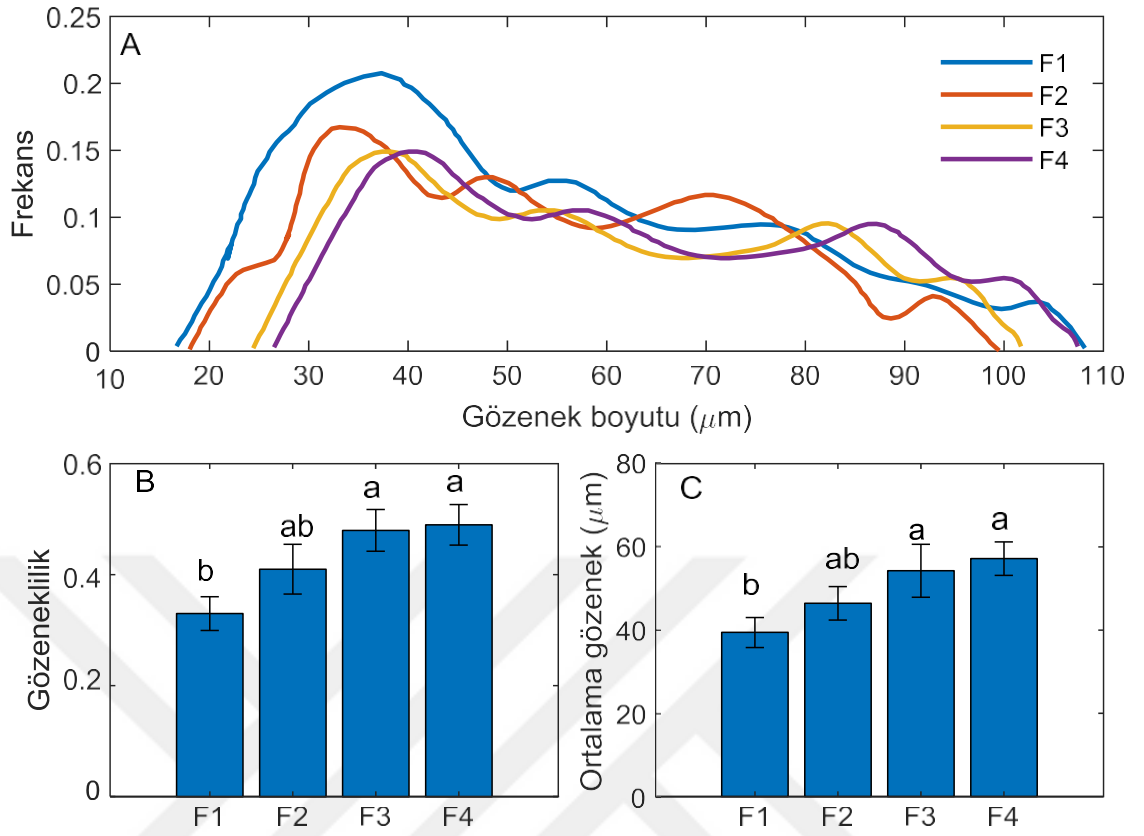
Şekil 34. Kesit resimlerinden elde edilmiş ekstrüde ürünlere ait gözenekleri gösteren resimler



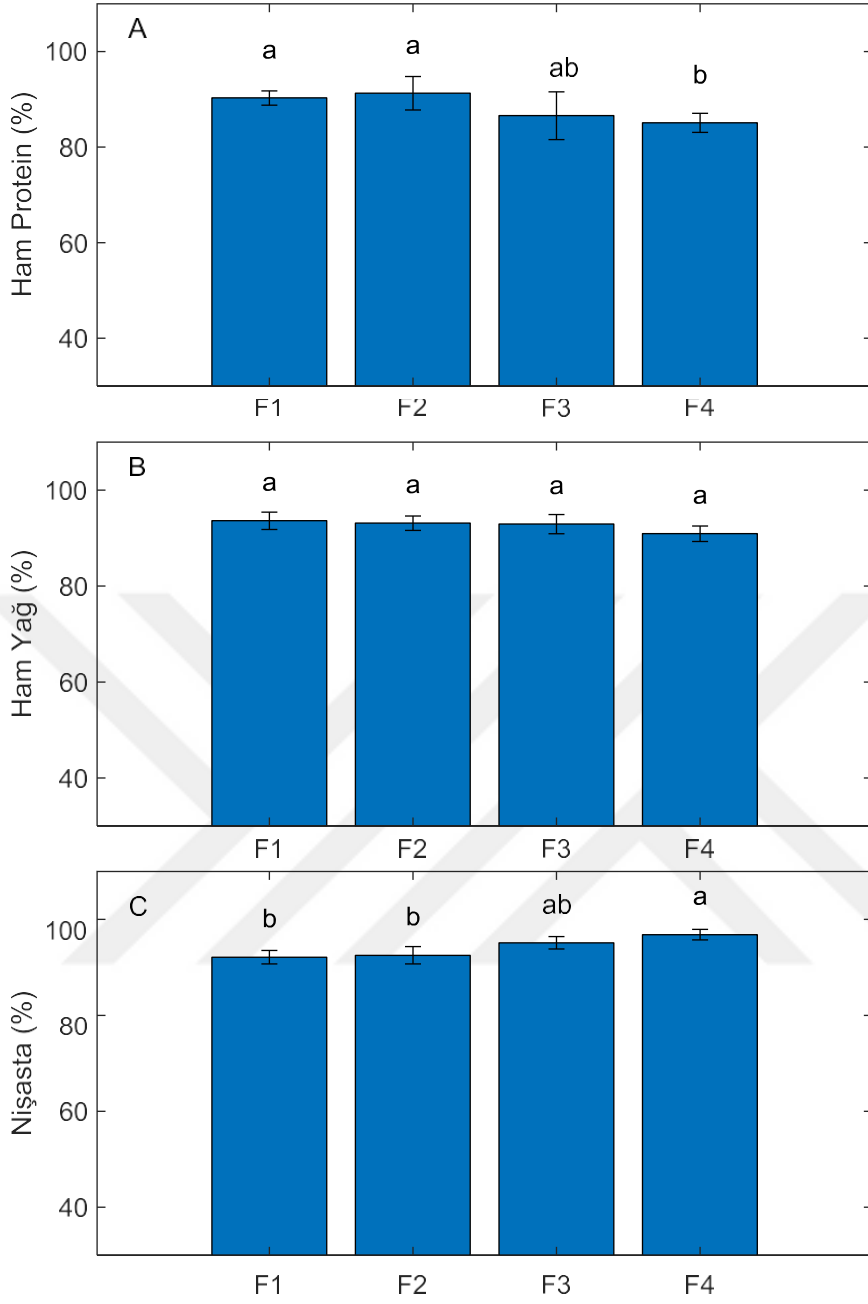
Şekil 35. Kesit resimlerinden elde edilmiş fırınlanmış ürünlere ait gözenekleri gösteren resimler



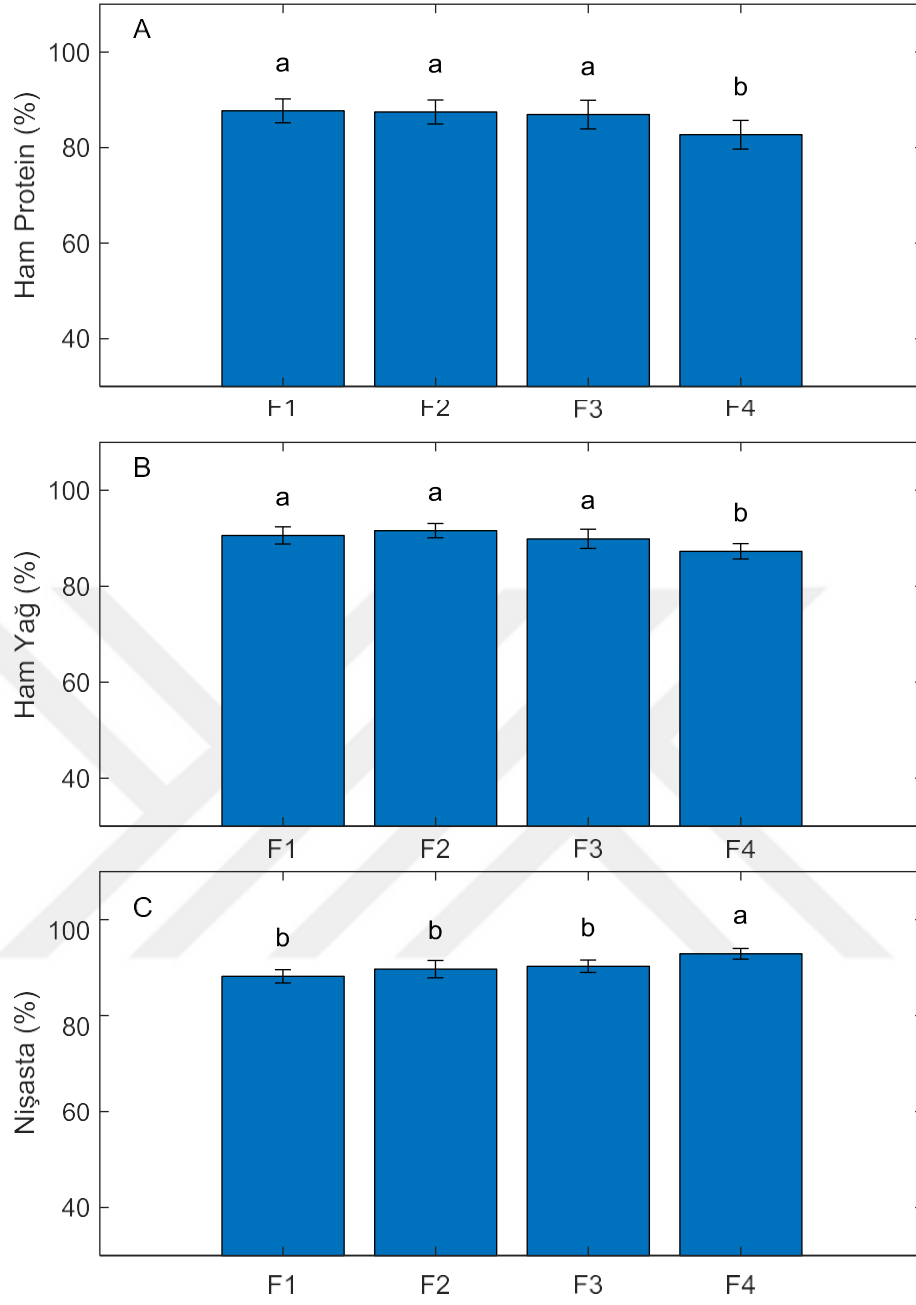
Şekil 36. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış ekstrüde mamaların kesit resimlerinden elde edilmiş gözenek boyut dağılımı (A), gözeneklilik değerleri (B) ve ortalama gözenek boyutları (C). Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



Şekil 37. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış fırınlanmış mamaların kesit resimlerinden elde edilmiş gözenek boyut dağılımı (A), gözeneklilik değerleri (B) ve ortalama gözenek boyutları (C). Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



Şekil 38. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış ekstrüde mamaların in vitro koşullardaki ham protein (A), ham yağ (B) ve nişasta (C) sindirilebilirlik değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).



Şekil 39. Farklı formülasyonlar ile hazırlanmış fırınlanmış mamaların in vitro koşullardaki ham protein (A), ham yağ (B) ve nişasta (C) sindirilebilirlik değerleri. Farklı harfler istatistiksel olarak farkın önemli olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasının temel amacı, normalde israf edilen üretim fazlası ekmeklerin tahıl kaynakları yerine köpek mamalarında ikame edilme olanaklarını araştırılmasıdır. Bu amaçla proses parametrelerinin mamaların bazı fiziksel kalite özelliklerine etkileri de araştırma kapsamına alınmıştır. Kullanılan ekmek oranının etkilerinin belirlenmesi amacıyla 4 farklı formülasyon hazırlanmıştır. Çizelge 3-1’de verilen formülasyonlar hazırlanırken temel besinsel bileşenler bakımından birbirine olabildiğince yakın olmasına özen gösterilmiştir. Tüm formülasyonların benzer temel besinsel özelliklere sahip olmasına rağmen kütlece %0 ila %47,5 arasında değişen oranlarda ekmek içeriğine sahip olduğu Tablo 2’de görülmektedir. Böylece diğer değişkenlerin etkisinin en aza indirilerek mısır, buğday ve pirinç yerine ikame edilen ekmeğin ürünlerde oluşturduğu etkiler araştırılmıştır.

4.1. Viskozite Analizleri

Ekmeğin fırında pişirilmesi sırasında, nişasta granülleri jelleşir ve bunun sonucunda kısmen çözünür hale gelir, ancak granüller yapılarının bir kısmını korurlar (Hug-Iten ve ark., 2001). Nişasta polimerlerinin yeniden düzenlenmesi ve moleküller arasında oluşan hidrojen bağları, ekmeğin soğutulması ve bayatlaması sırasında amiloz ve amilopektinin kristalleşmesine neden olur. Retrogradasyon, bayatlamanın bir sonucu olarak ortaya çıkan nişastanın yeniden kristalleşmesini ifade etmektedir. Amilopektinin kristalleşmesinin, bayatladıkça ekmeğin sertliğinin artmasındaki birincil neden olduğu düşünülmektedir (Cauvain ve ark., 2007). Köpek maması üretiminde yaygın olarak kullanılan mısır, pirinç ve buğday gibi tahıllar yerine öğütülmüş ve kurutulmuş ekmek kullanılmasındaki en büyük fark ekmekte bulunan nişastanın hali hazırda (kısmen de olsa) jelatinize olmasıdır. Nişastanın jelatinizasyonu ve diğer bileşenlerle etkileşimi, tahıl içeren köpek mamalarının ekstrüzyon ile işlenmesinde önemlidir. Bu nedenle formülasyonlardaki nişastanın durumunu belirlemek için Rapid Visco Analyzer (RVA) cihazı kullanılmıştır. Bu amaçla diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı kullanılması da uygulamalar arasında

yer almaktadır ancak RVA tekniğinin nişasta jelatinizasyonun viskoziteye de etkisi de incelenemediği için tercih edilmiştir.

Ekstrüde veya fırınlanmış köpek maması matrislerinin büyük çoğunluğu, su varlığında nişastanın pişirilmesinden kaynaklanan sistemlerdir. Bu nedenle, ısıtma-soğutma döngüleri sırasında reolojinin incelenmesi, nihai ürünlerin ve hammaddelerin kalite değerlendirmesi amacıyla gerekli olduğu düşünülmektedir. RVA bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır ve hem hammaddelerin hem de ekstrüde / fırınlanmış ürünlerin özelliklerini değerlendirmek için kullanılabilir (Champagne ve ark., 1999; Guelpa ve ark., 2015; Balet ve ark., 2019). RVA ısıtma-soğutma çevrimlerindeki viskoziteyi analiz etme kabiliyeti nedeniyle ürünlerin işlenmesi sırasında oluşabilecek değişimlerin analiz edilmesi için de kullanılabilir. Bu özellikler aynı zamanda kontrollü koşullar altında proseslerin küçük ölçekte simüle edilmesine ve ekstrüzyon ve fırınlama gibi üretim süreci ilerledikçe viskozitedeki değişikliklerin izlenmesine de uygun hale getirmektedir (Wongsaipun ve ark., 2018; S. Liu ve ark., 2019). Tipik bir RVA eğrisinde soğuk viskozite, pik viskozite ve son viskozite önemli parametrelerdir (Becker ve ark., 2001; Cozzolino, 2016). Bu nedenle, tahıl yerine ikame edilen ekmeklerin ürünün nihai dokusunu nasıl etkileyeceğini anlamak için 4 farklı formülasyon için denemeler yapılmıştır (Şekil 16).

F1, F2, F3 ve F4 formülasyonları için RVA profillerinden elde edilen soğuk viskozite, pik viskozite ve son viskozite değerleri Şekil 17’de verilmiştir. Ekmeğin ürün formülasyonlarına dahil edilmesi karışımların soğuk viskozite değerlerinde bir artışa neden olduğu görülmektedir. Özellikle F4 numunesinin soğuk viskozite değerinin önemli oranda diğer numunelerden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Kuru bileşenler su ile karıştırıldığında esas olarak çözünür bileşenler viskoziteyi kontrol eder (Mason ve Hoskeney, 1985). Öncesinde bir fırınlama işlemine tabi tutulan ekmek artıklarında bulunan nişasta hali hazırda jelatinize olmuş durumdadır. Bu nedenle formülasyonlara eklenen ekmek, karışımların viskozitesini diğer bileşenlere göre (ham mısır, pirinç ve buğday) daha fazla etkilemiştir. Öte yandan pik viskozite değerleri incelendiğinde ise ekmek içermeyen F1 numunesi en yüksek pik viskozite değerine sahip olmuştur ($p<0.05$). Kullanılan ekmek oranı arttıkça pik viskozite değerleri düşmüş F4 numunesi en düşük pik viskozite değerine sahip olmuştur ($p<0.05$).

Pik viskozite tahıllarda bulunan nişastanın ısı ve suyun etkisiyle genişerek viskoziteyi arttırması sonucu oluşmaktadır (Ozcan ve Jackson, 2005; Wang ve ark., 2018). Fırınlanmış bir ekmekte nişastanın çoğu zaten jelatinleştirildiğinden, pik viskozite değerleri kademeli olarak kontrol (F1) numunesine oranla, ekmek oranı arttıkça düşmüştür. Değerler arasındaki fark Şekil 17B’de gösterildiği üzere önemli bulunmuştur. Ekmeğin formülasyonlara dahil edilmesinin bir diğer etkisi de son viskozite değerlerinde azalma olmuştur (Şekil 17C). Ham nişastanın daha önce son viskozitenin oluşumunda daha etkili olduğu gösterilmiştir (Ozcan ve Jackson, 2005). Hasar görmüş nişasta moleküllerinin sınırlı etkileşimi nedeniyle, son (soğuk) viskozite değerlerinin, önceki ısı işlem uygulamalarıyla azaldığı daha önce de bildirilmiştir (Gat ve Ananthanarayan, 2015; Offiah ve ark., 2019). Ekmeklerin fırınlanması sırasında nişastanın önemli bir kısmı jelatinize olmaktadır, bu işleme bir de RVA sırasında uygulanan ısı işlem ve karıştırma kuvveti eklenince son viskozite değerleri F3 ve F4 formülasyonlarında daha düşük gözlemlenmiştir ($p<0.05$).

4.2. Fiziksel Analizler

Farklı formülasyonlar (F1-F4) ile üretilen ekstrüde ürünlere ait resimler Şekil 18’de verilmiştir. Aynı kuru madde formülasyonlar kullanılarak üretilen fırınlanmış numunelere ait resimler ise Şekil 19’da verilmiştir. Resimler aynı ışık altında ve aynı mesafeden çekilmiştir. Resimlerin sadece görsel karşılaştırma için sağlanmış olmasına rağmen, en yüksek oranda ekmek içeren F4 numunesinin özellikle renk ve genişleme bakımından diğer numunelerden ayrıldığı gözlenmiştir.

Ekstrüzyon ürünlerinde fiziksel özellikler besleme nişasta çeşidi, nem içeriği, ekstrüzyon vida hızı, vida konfigürasyonu, namlu sıcaklığı gibi birçok parametreye göre farklılık gösterebilmektedir. Patatesin köpek yemlerine etkisini inceleyen bir çalışmada patates nişastasının ekstrüzyona çok duyarlı olduğu, bu nedenle patates içeren formülasyonlar ile yüksek genişleme indeksi ve gözenekli yapıya sahip ekstrüde köpek mamalarının üretildiği belirtilmiştir (Domingues ve ark., 2019). Hammadde karışımının nemi, ekstrüzyon sıcaklıkları, vida konfigürasyonu ve hızı gibi sistem değişkenlerinin buğday ve mısır unundan oluşan ekstrüzyon ürünlerinin fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bir makalede ise genişleme indeksinin nem oranı ile arttığı belirtilmiştir (Ryu ve Ng, 2001). Bir başka çalışmada ise eski tahıl ve tahıl içermeyen karbonhidrat kaynaklarının ekstrüzyon prosesi, besin kullanımı ve

mamaların lezzetliliği üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Darı ve sorgum içeren ekstrüde köpek mamalarının, darı ve sorgum içermeyen ürünlere göre daha sert ve genleşme indekslerinin daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Pezzali ve Aldrich, 2019). Vida hızı ve besleme su oranının etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada ise besleme sırasında kullanılan nem içeriğindeki azalmanın vidaların uyguladığı kuvveti arttırdığı ve bu nedenle ürünlerde genleşme indeksinin artış gösterdiği belirtilmiştir (Davidson ve ark., 1984). Bir başka araştırmada ise nem içeriğinin artmasının karışımın elastik modülüz değerini azalttığı ve genleşmenin azaldığı belirtilmiştir (Alvarez-Martinez ve ark., 1988), Moraru ve Kokini artan nem oranın ekstrüzyon sırasında hamurun viskozitesini düşürdüğü ve bununda ürünlerin büzüşmesine neden olduğunu rapor etmiştir (Moraru ve Kokini, 2003). Ekstrüde köpek mamalarının fiziksel özelliklerine proses koşullarının etkisinin incelendiği bir başka çalışmada ise spesifik termal enerji uygulamasının, ekstrüde etmek için gereken mekanik enerjiyi azalttığı, genleşme indeksi ve nişasta jelatinleşmesini ise arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca artan spesifik termal enerjinin in vitro sindirilebilirliği de iyileştirmiştir (Baller ve ark., 2021).

İlgili literatür kapsamlı bir biçimde incelendiğinde ekstrüde ürünlerin fiziksel özelliklerinin birçok parametreye bağlı olduğu görülmektedir. Bazı durumlarda artan nem oranı genleşme indeksini arttırırken bazı durumlarda azalmaya neden olabilmektedir. Benzer durum vida hızı, nişasta oranı, ekstrüder sıcaklıkları içinde söylenebilmektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında F1 numunesinin tekrar edilebilir bir biçimde üretilbildiği ekstrüzyon/fırınlama şartları ve nem oranı ön çalışmalar ile belirlenmiş ve diğer formülasyonlar için de aynı proses koşulları kullanılmıştır.

Şekil 19'da verilen fırınlanmış ürünlere ait resimler dış görünüşleri bakımından incelendiğinde ise ekmek içeren numuneler ile kontrol numunesi arasında, renk dışında, belirgin bir fark gözlenmemiştir.

F1, F2, F3 ve F4 formülasyonları kullanılarak üretilen ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin fiziksel özelliklerine ait sonuçlar Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23'te verilmiştir. Her iki proseste de genel olarak ekmek oranının arttırılması genleşme indeksi değerlerinde belirli bir artışa neden olmuştur. Bu artış özellikle F4 formülasyonlarında daha önemli olmuştur ($p<0.05$).

Öğütülmüş ekmek, unu geri dönüştürülmüş ekmek artıklarının öğütülmesiyle elde edilmektedir. Ekmek unları önceden mayalandığı için ekmek ununda bulunan, önceden jelatinize edilmiş amilopektin hali hazırda gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu durum ekmek kullanılan numunelerde görülen artan genleşme indeksi değerlerini açıklayabilir. Çünkü ekstrüzyon veya fırınlama prosesi sırasında bu gözenekler daha büyük kabarcıklar için çekirdek görevi görebilir. Diğer bir deyişle ekstrüzyon veya fırınlama sırasında uygulanan ısı işlem sonucu genişleyen su buharı için uygun bir alan oluşturabilir. Bu durum da daha yüksek genleşme ve daha düşük yoğunluk değerlerine neden olabilmektedir (Mason ve Hosney, 1985; Kokini ve ark., 1992; Hoover, 1995; Cisneros ve Kokini, 2002; Wang ve ark., 2005). Ekstrüde veya fırınlanmış ürünlerin yığın ve tane yoğunluğu, ürünün kaplayacağı toplam hacim hakkında fikir verir ve genişlemeyi, gözeneklerin ve boşlukların gelişimi de dahil olmak üzere hücre yapısındaki değişiklikleri gösterir. Beklendiği üzere genel olarak genleşme indeksi ile ters orantılı olmaktadır. Üretilen ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin ortalama yığın ve tane yoğunluğu değerleri ekmek oranı arttıkça azalmıştır. F3 ve F4 numuneleri, hem ekstrüzyon hem de fırınlama işleminde, F1 ve F2 numunelerinden düşük olmuştur ($p<0.05$). Tane yoğunluğu değerlerinde ise bir düşüş eğilimi olmasına rağmen fırınlanmış numunelerde görülen farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).

Xie ve ark. (Xie ve ark., 2009), ekstrüzyon işlemi sırasında suyun bir çekirdek gibi davranarak ekstrüde ürünlerde kabarcıkların oluşmasına neden olduğunu ve namludan çıktıktan sonra ani nem buharlaşması nedeniyle genişlemeye neden olduğunu belirtmişlerdir. Daha önceki birçok araştırmacı da, nişastanın daha büyük oranda dahil edilmesinin daha yüksek genişlemeye ve daha düşük yoğunluk değerlerine yol açtığı sonucuna varmıştır (R Chinnaswamy ve Hanna, 1988; Rangan Chinnaswamy ve Hanna, 1988; Kannadhasan ve ark., 2011). Ekmek unu içeriğindeki nişastanın prejelatinize olması ve prejelatinize nişastada bulunan gözenekli yapının jelatinize olmamış amilopektine göre daha fazla kabarcık oluşturması artan genleşme ve düşük yoğunluğa neden olduğu düşünülmektedir. Kamarudin (Kamarudin ve ark., 2018) tarafından yapılan pre-jelatinize gölevez ve pre-jelatinize kırık pirinç ilavesinin ekstrüde balık yemlerinde olan etkilerinin incelendiği çalışmada da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerde kullanılan mısır, pirinç, buğday gibi tahılların yerine ekmek kullanılmasının bir başka etkisi ise renk değerlerinde görülen hafif değişimlerdir. Mısır genel olarak sarı rengi sağlayan β -karoten bakımından zengindir (Maziya-Dixon ve ark., 2000). Buğday kepeğinde bulunan antosiyaninler de renk değişimlerine neden olabilmektedir (Zhu, 2018). Ürünlerde bu renk verici maddelerin eksilmesi Şekil 23'te görüldüğü üzere L^* değerlerinde bir artışa neden olmuştur. Lab renk kolorimetresinde L^* değeri 0 (siyah) ve 100 (beyaz) arasındaki aydınlık derecesini ölçmek için kullanılmaktadır. Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerde kullanılan ekmek oranı arttıkça L^* değerinde bir artış gözlenmiş ve bu artış özellikle F3 ve F4 numunelerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

4.3. Spesifik Mekanik Enerji

Ekstrüde ürünlerin üretimi sırasında ekstrüder vida hızı, ekmek oranına bakılmaksızın bütün denemelerde sabit tutulmuştur. Ancak Şekil 24'te görülebileceği üzere spesifik mekanik enerji (SME) değerleri özellikle F3 ve F4 numunelerinde F1 ve F2 numunelerine göre daha düşük olmuştur ($p<0.05$). Ekstrüder ile yapılan üretimlerde SME birim ürün başına ekstrüder motorunun harcadığı enerjinin bir göstergesidir. SME değerinin düşük olması enerji maliyeti bakımından istenilen bir durumdur. Proses sırasındaki eriyik viskozitesi, ekstrüder sıcaklıkları ve besleme su oranı SME değerine etki eden en önemli faktörlerdir (Bhattacharya ve Hanna, 1987; Della Valle ve ark., 1989; Akdogan, 1996; Samuelsen ve Oterhals, 2016). Şekil 16 ve Şekil 17'de verilen RVA profilleri ve pik viskozite değerleri incelendiğinde numunelerde kullanılan ekmek oranı arttıkça pik viskozite değerleri düşmektedir. Bu durum eriyik viskozitesinin ekmek oranı arttıkça düştüğünü ve dolayısıyla SME değerlerinin düşmesini açıklamaktadır (Fletcher ve ark., 1985; Kannadhasan ve ark., 2011; Samuelsen ve Oterhals, 2016; Ponrajan ve ark., 2020). Ekmek içeren formülasyonlarda bulunan önceden jelatinize edilmiş nişasta ve denatüre gluten proteini miktarı, doğal tahıllar ekmekle ikame edildiğinde yükselir. Önceden jelatinize edilmiş nişasta ve denatüre gluten oranının yükseltilmesi, ekstrüder haznesindeki eriyiğin görünür viskozitesinin ve ekstrüder vidaları ile namlu duvarı arasındaki sürtünmenin düşmesine neden olmakta ve bu nedenle harcanan SME değerlerinde azalma görülmektedir.

4.4. Ürünlerde Tekstür Ölçümleri

Ekstrüde ve fırınlanmış ürünlerin tekstür özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kapsamlı denemeler yapılmıştır. Ürünlerde geometrik şekil farklılıklarının ölçümlere etkisini en aza indirmek amacıyla delme ve kırma deneyleri kullanılmıştır (Şekil 13) ve elde edilen kuvvet zaman grafiklerinin dağılımı Şekil 25’te verilmiştir. Tekstür, tüm duyuusal deneyimi etkileyen bir kalite özelliğidir ve genellikle tazeliikle bağlantılıdır (Breene, 1975; Roudaut ve ark., 2002). Ürünlerin saklandığı ortamdaki nem (ambalajların içerisi veya ambalaj açıldıktan sonra etrafta bulunan nem) düşük su oranına sahip ekstrüde veya fırınlanmış ürünler tarafından kolaylıkla absorbe edilebilir, bu da ürünlerdeki tekstürel değişimlere neden olabilmektedir (Piazza ve ark., 2007; Saeleaw ve Schleining, 2011). Öte yandan üretim koşulları ve ürünü oluşturan bileşenler de tekstürü önemli oranda değiştirebilmektedir. Alvarenga ve ark. evcil hayvan yemleri ile ilgili yaptığı çalışmada yemlere sorgum buğdayı eklenmesinin sertlik değerlerini arttırdığını belirtmişlerdir (Alvarenga ve ark., 2018). Gross ve ark. ekstrüde yemlerin depolama sıcaklıklarının tekstür üzerine etkilerini incelemişlerdir (Gross ve ark., 1994). Patates (Domingues ve ark., 2019), hidrokolloidler (Li ve ark., 2017), taze et (Koppel ve ark., 2014, 2015), diyet lifler (Donadelli ve ark., 2021), bakla (Corsato Alvarenga ve Aldrich, 2019), jelatin (Manbeck ve ark., 2017), kılıçotu (Manbeck ve ark., 2017), portakal lifi (Pacheco ve ark., 2021) gibi birçok ingrediven evcil hayvan yemlerinde kullanılmış ve ürünlerin tekstür özellikleri tekstür analiz cihazı ile belirlenmiştir.

Şekil 26’da ekstrüde ve fırınlanmış ürünlere ait tipik kuvvet zaman grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde kuvvetin ulaştığı maksimum değer sertlik olarak kabul edilmiştir. Kuvvet zaman grafiklerinden farklı verilen elde edilebilmektir, gevreklik bu bunlardan biridir. Şekil 26’da gösterilen kuvvet zaman grafiklerinde küçük üçgenler ile gösterilen her pikin toplam sayısı bir çok çalışmada gevreklik olarak tanımlanmaktadır (Piazza ve ark., 2007; Saeleaw ve Schleining, 2011; Gibson, 2015a). Şekil 27 ve Şekil 28’de ekstrüde ve fırınlanmış ürünlere ait kuvvet zaman grafiklerinden elde edilen F_{maks} (sertlik) ve toplam pik sayısı (gevreklik) değerleri verilmiştir. F_{maks} (sertlik) değerleri hem delme hem de kırma deneyleri için ayrı ayrı verilmiştir.

Ekstrüde ürünlerde yapılan tekstür analizi ölçümlerinde pik sayısının (gevrekliğin) ekmek oranının artmasıyla arttığı gözlenmiştir. F3 ve F4 numunelerinde elde edilen ortalama pik sayısı F1 ve F2 numunelerine göre daha yüksek olmuştur ($p<0.05$). Benzer trend fırınlanmış numunelerde de gözlenmiştir (Şekil 28). Ekstrüde ürünler için yapılan kırma deneyi ölçümlerinde ise ölçülen F_{maks} kuvvetleri (sertlik) artan ekmek oranı ile belirli oranda düşmüş, F3 ve F4 numunesine ait değerler diğer numunelerden istatistiksel olarak farklı olmuştur ($p<0.05$). Fırınlanmış ürünlerde de artan ekmek oranı kırma deneyi ile elde edilen sertlik değerlerinde azalmaya neden olmuş ancak sadece F4 numunesindeki azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ekstrüde veya fırınlanmış ürünlerde şekilsel değişikliklerden dolayı oluşabilecek ölçüm farklılıklarına daha az duyarlı olan delme deneyine ait sonuçlar da Şekil 27C ve Şekil 28C’de verilmiştir. Ekstrüde ürünlerde elde edilen değerler 40 N - 59 N arasında değişirken fırınlanmış numunelere ait değerler 28 N - 45 N arasında değişim göstermiştir. Söz konusu değerlerin daha anlaşılır olması amacıyla piyasadan 10 farklı markada ekstrüde köpek maması temin edilmiş ve bu ürünlerin delme deneyi sonuçları kıyaslama amaçlı olarak Şekil 29’da verilmiştir. Ticari örneklerden elde edilen sertlik değerlerinin 22 N - 69 N gibi geniş bir aralıkta olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla çalışma sırasında elde edilen tüm ürünlerin sertlik değerlerinin piyasada satılan ürünler ile mukayese edilebilir seviyelerde olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak ürünlerde kullanılan ekmek oranı arttıkça gevreklik değerlerinde bir artış, sertlik değerlerinde ise bir azalma görülmektedir. Şekil 17’de verilen pik viskozite değerleri elde edilen sertlik ve gevreklik değerlerini açıklayabilir. Ekstrüder içerisinde artan sıcaklık ürün karışımını eriyik haline getirmektedir. Ancak ekmek oranı arttıkça bu eriyik viskozitesi daha düşük olmakta ve ince duvarlara sahip daha fazla sayıda gözenek oluşmasını sağlamaktadır (Ding ve ark., 2005). Ekmek oranı arttıkça daha düşük sertlik değerlerine sahip olmasına neden olan bir başka faktör ise ekmeğin yapısının yerine kullanıldığı mısır, pirinç ve buğdaydan çok farklı olmasıdır. Ekmek içerisinde bulunan gluten denature hale gelmiştir ayrıca fermentasyon sırasında ekmek yapısında hali hazırda birçok gözenek oluşmuş haldedir. Bu gözenekler ekstrüzyon ve fırınlama işlemi sırasında daha da fazla sayıda gözenek oluşmasına olanak sağlamaktadır. Elde edilen bulgular önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür (Samray ve ark., 2019).

4.5. Ürünlerde Gözeneklilik Analizleri

Köpek maması üretiminde buğday, mısır ve pirinç yerine israf edilen ekmeklerin ikame edilmesi özellikle fiziksel ve tektür özelliklerinde bazı değişimlere neden olmuştur. Söz konusu değişimler ekmek katkısı arttıkça oluşan daha gözenekli yapı ile açıklanmıştır. Bu nedenle gözenek yapısının daha detaylı incelenmesi amacıyla numunelerin kesitsel resimleri üzerinde kapsamlı bir görüntü analizi yapılmıştır. Şekil 30'da gösterildiği biçimde ekstrüde ve fırınlanmış numunelerin kesit resimleri bir stereo mikroskop kullanılarak kayıt edilmiştir. Farklı formülasyonlarda üretilen ekstrüde ürünlere ait resimler Şekil 31'de fırınlanmış numunelere ait resimler Şekil 32'de verilmiştir. Kesit yüzeylerinde bulunan daha koyu alanlar yapılarıdaki gözenekleri yansıtmaktadır. Gri tonlamalı resimler üzerinde, en düşük standart sapmalara sahip en karanlık bölgeleri bulmak için çok seviyeli eşikleme yapılarak gözenek dağılımı elde edilmiştir (Otsu, 1979; Rabbani ve ark., 2014). Şekil 33'te gösterildiği gibi ilk önce elde edilen resimlerden düz beyaz bir arka plan üzerinde siyah pikseli koyu segmentler, altı niceleme seviyesine sahip çok seviyeli eşikleme kullanılarak üretilmiştir. Kesit yüzeyinin gözeneklilik alanı daha sonra bir segmentasyon algoritması (Rabbani ve ark., 2014; Rabbani ve Salehi, 2017; Ezeakacha ve ark., 2018) kullanılarak çeşitli renklerle bölümlere ayrıldı ve etiketlendi (Şekil 34 ve Şekil 35). Daha sonra, bölümlere ayrılmış ve etiketlenmiş görüntüler gözeneklilik açısından nicelleştirildi (Şekil 36 ve Şekil 37).

Şekil 36 ve Şekil 37'de kesit resimlerde görülen gözeneklerin nicelleştirilmiş grafikleri görülmektedir. Şekil 36A'da ekstrüde ürünlere ait gözenek dağılımı verilmiştir. Ekstrüde ürünlerde ekmek oranı arttıkça numuneler daha az keskin tepe noktasına sahip bir dağılım göstermiştir. Ayrıca dağılım grafiğinin daha büyük gözenek boyutlarını gösteren sağ tarafa doğru kaydığı görülmektedir. Kesit alanı içerisindeki gözeneklerin toplam alanının kesit alanına olan oranını gösteren gözeneklilik değerleri ise Şekil 36B'de verilmiştir. Özellikle F4 numunesinin istatistiksel olarak F1 ve F2 numunelerinden daha yüksek bir gözeneklilik değerine sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Kesit alanı içerisindeki gözeneklerin ortalama büyüklükleri hesaplandığında ise (Şekil 36C) numuneler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Fırınlanmış numunelerde ise genel olarak gözenek dağılımının ekstrüde ürünlere göre nispeten daha

geniş bir aralığa sahip olduğu görülmüştür. Ekstrüde ürünler ile benzer olarak ekmek oranı arttıkça hem gözeneklilik hem de ortalama gözenek boyu artmıştır.

Ekmek içeren numunelerde oluşan nispeten daha gözenekli yapı, pre-jelatinize edilmiş nişasta içeriğine ve ekmek kırıntılarının önceden var olan gözenekli yapısına bağlı olduğu düşünülmektedir (Kamarudin ve ark., 2018; Samray, 2018). Mısır, buğday ve pirinç yerine ikame edilen ekmek sahip olduğu farklı yapı sayesinde ekstrüzyon sırasında eriyikte çok sayıda hava kabarcığı oluşmasına neden olarak daha ince hücre duvarlarına ve daha yumuşak, daha gevrek ve gözenekli bir yapıya neden olabilmektedir. Benzer şekilde, fırınlama sırasında gözenekler içerisinde bulunan hava ve su buharı genişleyerek ekmek içeren ürünlerin daha yüksek gözeneklilik değerlerine sahip olmasını sağlamış olduğu düşünülmektedir.

4.6. Ürünlerin İn Vitro Sindirilebilirlik Değerlerinin Belirlenmesi

Farklı formülasyonlar ile üretilmiş ekstrüde ve fırınlanmış mamaların in vitro sindirilebilirlik değerleri sırasıyla Şekil 38 ve Şekil 39’da verilmiştir. Ekstrüde ürünlerde yapılan protein sindirilebilirlik analizleri ürünlerde bulunan proteinlerin %85,1 ile %91,3 arasında değişen oranlarda sindirilebildiğini göstermiştir. F3 ve F4 numunelerinde artan ekmek oranı ile birlikte sindirilebilirlik değerlerinde belirli bir düşme gözlenmiştir. Özellikle F4 numunesinde gözlemlenen fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Artan ekmek oranı ürünlerde artan gluten miktarını da göstermektedir. Gluten buğday tarafından üretilen bir depo proteindir. Gluten protein fraksiyonu monomerik, etanolde çözünen gliadinlere ve polimerik etanolde çözünmeyen gluteninlere ayrılır (Shewry, 2019). Glütteni oluşturan kısımların hepsinde tekrarlayan amino asit dizileri ve yüksek prolin ($> \% 10$) ve glutamin içeriği ($> \% 30$) bulunur ve bu da diğer proteinlerden çok farklı çözünürlüklerine, protein yapılarına ve işlevselliklerine neden olur (Shewry, 2019). Gluten su eşliğinde yoğrulduğunda (hamurda olduğu gibi), gliadin ve glutenin, gluten makropolimeri (GMP) adı verilen viskoelastik bir protein ağ yapısı oluşturur, bu ağ yapı hamurun reolojik özelliklerini ve ekmeğin tekstür özelliklerini önemli derecede etkiler (Jekle ve Becker, 2011, 2015; Shewry, 2019). GMP oluşumunda sülfür bağları, kovalent bağlar ve kovalent olmayan etkileşimler (hidrojen bağları) etkili olmaktadır (Tilley ve ark., 2001; Jekle ve Becker, 2015; Lucas ve ark., 2018). Gluten ağ yapısının özellikleri sadece yoğurma sırasında değil fırınlanma sırasında da değişikliğe uğramaktadır (Jekle

ve Becker, 2011; Smith ve ark., 2015). Rahaman ve ark. fırınlama ve diğer proses koşulları sırasında protein ikincil yapısındaki değişiklikleri ölçmüş ve sülfür bağlarının kopmasını/oluşumunu analiz etmiştir. A-helislerin, β -tabakalara oranındaki değişimleri takip ederek fırınlama sırasında glüten ağ yapısında önemli değişimlerin olduğu belirlemişlerdir (Rahaman ve ark., 2016). Fırınlama (50 ila 95°C arasında) sırasında glüten molekülleri arasında sülfür çapraz bağları oluşarak bir polimerizasyonun gerçekleştiği de gösterilmiştir (Lagrain ve ark., 2011).

Yoğurma ve fırınlama sırasında meydana gelen yapısal değişimler, glütenin sindirilebilirliğini de azalttığı başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Smith ve ark., 2015). Benzer şekilde, Wu ve ark. (Wu ve ark., 2017), hamuru fırında pişirmenin glüten proteinlerinin sindirilebilirliğini azalttığını bildirmiştir. Hamur, ekmek kırıntısı ve ekmek kabuğunun in vitro sindirimi sırasında salınan toplam azot içeriğinin analiz edildiği bir çalışmada da fırınlamanın glüten sindirilebilirliğini azalttığı gösterilmiştir (Pasini ve ark., 2001). Dolayısıyla yüksek oranda ekmek içeren F4 numunesinin protein sindirilebilirliği değerlerinde gözlemlenen düşüş önceden fırınlanmış ekmeklerde bulunan glüten proteinlerindeki yapısal değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ham yağ sindirilebilirliği incelendiğinde, ekmek içeriğinin arttırılmasının ortalama sindirilebilirlik değerlerinde küçük bir azalmaya yol açtığı, ancak farkın deneme F1, F2 ve F3 için önemsiz ($p>0.05$) olduğu belirlenmesine rağmen, nispeten yüksek ekmek içeren F4 (fırınlanmış) için anlamlı olduğu gösterilmiştir ($p<0.05$). İlgili literatür incelendiğinde (Alonso ve ark., 2000; De Pilli ve ark., 2011; Alam ve ark., 2016), lipitler nişastaya, çoğunlukla amiloza bağlanır ve lipit sindirimine dirençli kompleksler oluşturur ve bu da lipit sindirilebilirliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Özellikle yüksek oranda ekmek içeren formülasyonlarda bulunan, önceden jelatinize olmuş nişasta da lipit molekülleri ile kompleksler oluşturmak için daha yüksek oranda serbest amiloz bulundurmaktadır. Bu durum özellikle F4 formülasyonlarında görülen azalmayı açıklayabilir.

Ekstrüde ve fırınlanmış numunelerde bulunan nişasta moleküllerinin in vitro sindirilebilirliği değerleri Şekil 38C ve Şekil 39C’de verilmiştir. Hem ekstrüde hem de fırınlanmış numunelerde tahıl yerine ekmek kullanılması nişasta sindirilebilir değerlerinde bir artışa neden olmuştur. Önceden pişirilmiş ekmeğin diyet

formülasyonlarına dahil edilmesi, özellikle F4 örneklerinde mevcut nişastanın sindirilebilirliğini arttırmıştır ($p<0.05$). F2 ve F3 formülasyonlarında da sindirilebilirlikte küçük bir artış gözlenmiştir, ancak kontrol örneğinden (F1) istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiştir.

Hem ekstrüzyon hem de fırınlama ile nişastanın jelatinize olduğu, bu durumunda sindirilebilirliği arttırdığı bilinmektedir. Ancak ekstrüzyon işleminin uyguladığı yüksek sıcaklık ve mekanik kuvvet, fırınlama prosesine göre nişasta moleküllerinin jelatinizasyonunun daha yüksek oranda oluşmasını sağlamaktadır (Guy, 2001; Cauvain ve ark., 2007; Watson, 2011). Önceden fırınlama prosesinden geçmiş olan ekmekteki nişasta molekülleri, mama üretim işleminden önce önemli ölçüde jelatinize olmuştur. Mamaların üretimi sırasında ekmekte bulunan nişasta moleküllerinin ham tahıllarda bulunan bozulmamış nişasta moleküllerine göre daha fazla parçalanacağı (dekstrinizasyon gibi) beklenmektedir. Bu durum formülasyonlarda bulunan ekmek oranının artması ile gözlemlenen nişasta sindirilebilirlik değerlerindeki artışı açıklamaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen verilere göre;

- Mısır, buğday, pirinç gibi evcil hayvan yemi üretiminde sıklıkla kullanılan hammaddeler yerine öğütülmüş ekmek kullanılmasının viskozite değerlerini değiştirdiği, bu durum da son ürün özelliklerinde ve ekstrüderin enerji sarfiyatında etkili olduğu gözlenmiştir.
- Ekmek kullanımı ürünlerin genleşme indeksi ve L^* değerlerinde artışa, yığın ve tane yoğunluğu değerlerinde ise düşüşe neden olabilmektedir.
- Özellikle yüksek oranda ekmek kullanılan ürünlerin sertlik değerlerinde belirli bir düşme gözlenmiş, bu durum da artan gözeneklilik değerleri ile açıklanmıştır.
- İn vitro koşullarda yapılan sindirilebilirlik analizlerinde ise ekmek kullanılan ürünlerde protein sindirilebilirliğinde az da olsa bir düşme gözlemlenirken, nişasta sindirilebilirliğinde bir miktar artış gözlenmiştir. Yağ sindirilebilirliğinde ise ekmek kullanımı önemli bir değişime neden olmamıştır (Fırınlanmış F3 numunesi hariç).

Sonuç olarak köpek mamalarının içeriğinde önemli oranda bulunan karbonhidrat kaynaklarının bir bölümünün ekmek artıkları ile ikame edilebileceği anlaşılmıştır.

Tahılların %11 ve %29,5 oranında azaltılarak yerine ekme  ilavesi ürünlerin analiz edilen özelliklerinde önemli değişimlere neden olmazken, ekme  ikamesi %47,5 değerinde olduğunda bazı değişimler gözlenmiştir. Ancak üretilen tüm ürünler tekstür değerleri bakımından ticari numuneler ile mukayese edilebilir düzeyde olmuşlardır. Ayrıca bu tez çalışmasında ekstrüder yöntemine alternatif olarak fırınlama yönteminin de kullanılabileceği gösterilmiştir.



KAYNAKLAR

Abd Karim, A., Norziah, M. H. ve Seow, C. C. (2000) “Methods for the study of starch retrogradation”, *Food Chemistry*, 71(1), 9–36.

Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. de J., Harumi, E. N. ve Martínez-Bustos, F. (2012) “Optimization of extrusion process for production of nutritious pellets”, *Food Science and Technology*, 32, 34–42.

Akdogan, H. (1996) “Pressure, torque, and energy responses of a twin screw extruder at high moisture contents”, *Food Research International*, 29(5–6), 423–429.

Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H. ve Gupta, K. (2016) “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.

Ali, A., Shehzad, A., Khan, M. R., Shabbir, M. A. ve Amjid, M. R. (2012) “Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A”, *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(3), 171–179.

Alvarenga, I. C., Ou, Z., Thiele, S., Alavi, S. ve Aldrich, C. G. (2018) “Effects of milling sorghum into fractions on yield, nutrient composition, and their performance in extrusion of dog food”, *Journal of Cereal Science*, 82, 121–128.

Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P. ve Harper, J. M. (1988) “A general model for expansion of extruded products”, *Journal of Food Science*, 53(2), 609–615.

Anton, A. A. ve Luciano, F. B. (2007) “Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review evaluación instrumental de textura en alimentos extruidos: una revisión”, *CYTA-Journal of Food*, 5(4), 245–251.

AOAC (1990) “Official methods of analysis., 15th edn.(Association of Official Analytical Chemists, Inc.: Arlington, VA, USA).”.

Arhaliass, A., Legrand, J., Vauchel, P., Fodil-Pacha, F., Lamer, T. ve Bouvier, J.-M. (2009) “The effect of wheat and maize flours properties on the expansion mechanism during extrusion cooking”, *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 186–193.

Avramenko, N. A., Tyler, R. T., Scanlon, M. G., Hucl, P. ve Nickerson, M. T. (2018) “The chemistry of bread making: The role of salt to ensure optimal functionality of its constituents”, *Food Reviews International*, 34(3), 204–225.

Axtell, B. ve Fellows, P. (2004) Setting up and running a small flour mill or bakery.

Balet, S., Guelpa, A., Fox, G. ve Manley, M. (2019) “Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: A review”, *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360.

Baller, M. A., Pacheco, P. D. G., Vitta-Takahashi, A., Putarov, T. C., Vasconcellos, R. S. ve Carciofi, A. C. (2021) “Effects of thermal energy on extrusion characteristics, digestibility and palatability of a dry pet food for cats”, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105, 76–90.

Becker, A., Hill, S. E. ve Mitchell, J. R. (2001) “Milling - A further parameter affecting the Rapid Visco Analyser (RVA) profile”, *Cereal Chemistry*, 78(2), 166–172.

Bednar, G. E., Murray, S. M., Patil, A. R., Flickinger, E. A., Merchen, N. R. ve Fahey Jr, G. C. (2000) “Selected animal and plant protein sources affect nutrient digestibility and fecal characteristics of ileally cannulated dogs”, *Archives of Animal Nutrition*, 53(2), 127–140.

Bhattacharya, M. ve Hanna, M. A. (1987) “Influence of process and product variables on extrusion energy and pressure requirements”, *Journal of Food Engineering*, 6(2), 153–163.

Biagi, G., Cipollini, I., Grandi, M., Pinna, C., Vecchiato, C. G. ve Zaghini, G. (2016) “A new in vitro method to evaluate digestibility of commercial diets for dogs”, *Italian Journal of Animal Science*, 15(4), 617–625.

Bilgiçli, N. ve Soylu, S. (2016) “Buğday ve un kalitesinin sektörel açıdan değerlendirilmesi”, *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 5(2), 58–67.

Björck, I. ve Asp, N.-G. (1983) “The effects of extrusion cooking on nutritional value—a literature review”, *Journal of Food Engineering*, 2(4), 281–308.

Björck, I., Nyman, M., Pedersen, B., Siljeström, M., Asp, N. G. ve Eggum, B. O. (1986) “On the digestibility of starch in wheat bread — studies in vitro and in vivo”, *Journal of Cereal Science*, 4(1), 1–11.

Bordoloi, R. ve Ganguly, S. (2014) “Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters”, *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 2(1), 1–3.

Van Der Borgh, A., Goesaert, H., Veraverbeke, W. S. ve Delcour, J. A. (2005) “Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved”, *Journal of Cereal Science*, 41(3), 221–237.

Brancoli, P., Bolton, K. ve Eriksson, M. (2020) “Environmental impacts of waste management and valorisation pathways for surplus bread in Sweden”, *Waste Management*, 117, 136–145.

Brancoli, P., Lundin, M., Bolton, K. ve Eriksson, M. (2019) “Bread loss rates at the supplier-retailer interface--Analysis of risk factors to support waste prevention measures”, *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 128–136.

Breene, W. M. (1975) “Application of texture profile analysis to instrumental food texture evaluation”, *Journal of Texture Studies*, 6(1), 53–82.

Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K. ve Brennan, C. S. (2013) “Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks”, *International Journal of Food Science & Technology*, 48(5), 893–902.

Brown, J. (1993) “Advances in breadmaking technology”, *Advances in Baking Technology*, 38–87.

Brümmer, T., Meuser, F., van Lengerich, B. ve Niemann, C. (2002) “Effect of extrusion cooking on molecular parameters of corn starch”, *Starch-Stärke*, 54(1), 1–8.

Çağrı, H. ve Öztürk, S. (2016) “İsraf sorunu: Türkiye’de ekmek israfı sorunu ve Türkiye ekonomisi üzerindeki etkileri”.

Campden, C. (2001) “Raw materials for extrusion cooking”, *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*, 5–28.

Cappelli, A., Lupori, L. ve Cini, E. (2021) “Baking technology: A systematic review of machines and plants and their effect on final products, including improvement strategies”, *Trends in Food Science & Technology*, 115, 275–284.

Case, L. P., Daristotle, L., Hayek, M. G. ve Raasch, M. (2010) *Canine and feline nutrition: a resource for companion animal professionals*.

Castrica, M., Tedesco, D. E. A., Panseri, S., Ferrazzi, G., Ventura, V., Frisio, D. G. ve Balzaretto, C. M. (2018) “Pet food as the most concrete strategy for using food waste as feedstuff within the European context: A feasibility study”, *Sustainability (Switzerland)*, 10(6), 1–10.

Cauvain, S. P. (2012) *Breadmaking: improving quality*. Elsevier

Cauvain, S. P., Young, L. S. ve others (2007) “Technology of breadmaking”. (2007): 285-286.

Champagne, E. T., Bett, K. L., Vinyard, B. T., McClung, A. M., Barton, F. E., Moldenhauer, K., Linscombe, S. ve McKenzie, K. (1999) “Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyser measurements”, *Cereal Chemistry*, 76(5), 764–771.

Chanvrier, H., Jakubczyk, E., Gondek, E. ve Gumy, J.-C. (2014) “Insights into the texture of extruded cereals: Structure and acoustic properties”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, 61–68.

Cheftel, J. C. (1986) “Nutritional effects of extrusion-cooking”, *Food chemistry*, 20(4), 263–283.

Chessari, C.J. and Sellahewa, J.N. (2001). *Effective Process Control in Guy, R (2001) (Ed) Extrusion Cooking Technologies and Applications*. Wood head publishing limited and CRC press LLC, Cambridge, England.

Chiang, G. H. (1983) “A simple and rapid high-performance liquid chromatographic procedure for determination of furosine, a lysine-reducing sugar derivative”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(6), 1373–1374.

Chinnaswamy, R ve Hanna, M. A. (1988) “Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch”, *Journal of Food Science*, 53(3), 834–836.

Chinnaswamy, Rangan ve Hanna, M. A. (1988) “Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches”, *Cereal Chemistry*, 65(2), 138–143.

Cho, I. H. ve Peterson, D. G. (2010) “Chemistry of bread aroma: A review”, *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 575–582.

Cisneros, F. H. ve Kokini, J. L. (2002) “A generalized theory linking barrel fill length and air bubble entrapment during extrusion of starch”, *Journal of Food Engineering*, 51(2), 139–149.

Corsato Alvarenga, I. ve Aldrich, C. G. (2019) “The effect of increasing levels of dehulled faba beans (*Vicia faba* L.) on extrusion and product parameters for dry expanded dog food”, *Foods*, 8(1), 26.

Coşkuner, Y., Karababa, E. ve Ercan, R. (1999) “Düz ekmeklerin üretim teknolojisi”, *Gıda*, 24(2).

Coulter, L. A. ve Lorenz, K. (1991) “Extruded Corn Grits-Quinoa Blends: I. Proximate Composition, Nutritional Properties And Sensory Evaluation”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 15(4), 231–242.

Cozzolino, D. (2016) “The use of the rapid visco analyser (RVA) in breeding and selection of cereals”, *Journal of Cereal Science*, 70, 282–290.

Dahlin, K. ve Lorenz, K. (1993) “Protein digestibility of extruded cereal grains”, *Food Chemistry*, 48(1), 13–18.

Davidson, V. J., Paton, D., Diosady, L. L. ve 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.

Deffenbaugh, L. (2007) “Optimizing pet food, aquatic and livestock feed quality”, Riaz, MN: Extruders and expanders in pet food, aquatic and livestock feeds. Agrimedia GmbH, Clenze, Germany, 327–342.

Deffenbaugh, L., Stroucken, W. P. J., van der Poel, A. F. B., Kappert, H. J. ve Beynen, A. C. (1996) “Extruding vs pelleting of a feed mixture lowers apparent nitrogen digestibility in dogs”, Riaz, MN: Extruders and expanders in pet food, aquatic and livestock feeds. Agrimedia GmbH, Clenze, Germany, 71(4), 520–522.

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G. ve Sahin, S. (2010) “Rheological properties of gluten-free bread formulations”, *Journal of Food Engineering*, 96(2), 295–303.

Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Tucker, G. ve 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.

Domingues, L., Murakami, F., Zattoni, D., Kaelle, G., de Oliveira, S. ve Félix, A. (2019) “Effect of potato on kibble characteristics and diet digestibility and palatability to adult dogs and puppies”, *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 292–300.

Donadelli, R. A., Dogan, H. ve Aldrich, G. (2021) “The effects of fiber source on extrusion parameters and kibble structure of dry dog foods”, *Animal Feed Science and Technology*, 274, 114884.

Dou, Z., Toth, J. D. ve Westendorf, M. L. (2018) “Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications”, *Global Food Security*, 17(November 2017), 154–161.

Dunsford, B., Plattner, B., Greenbury, D. ve Rokey, G. (2002) “The influence of extrusion processing on petfood palatability”, *Proceedings of Pet Food Forum*. Chicago, Illinois. Watt Publishing, Inc. Mt. Morris, Illinois, USA, 327–342.

Dust, J. M., Gajda, A. M., Flickinger, E. A., Burkhalter, T. M., Merchen, N. R. ve Fahey, G. C. (2004) “Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(10), 2989–2996.

Elgün, A. ve Ertugay, Z. (1995) “Tahıl işleme teknolojisi”, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 718, 376.

Ercan, R. ve Özkaya, H. (1985) “Ekmeğin bayatlaması”, Gıda, 10(6).

Eriksson, M., Ghosh, R., Mattsson, L. ve Ismatov, A. (2017) “Take-back agreements in the perspective of food waste generation at the supplier-retailer interface”, Resources, Conservation and Recycling, 122, 83–93.

Ermgassen, E. K. H. J. zu, Balmford, A. ve Salemdeeb, R. (2016) “Reduce, relegalize, and recycle food waste”, Science, 352(6293), 1526.

Ezeakacha, C. P., Rabbani, A., Salehi, S. ve Ghalambor, A. (2018) “Integrated image processing and computational techniques to characterize formation damage”, Proceedings - SPE International Symposium on Formation Damage Control, 2018-Febru.

Fapojuwo, O. O., Maga, J. A. ve Jansen, G. R. (1987) “Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum”, Journal of Food Science, 52(1), 218–219.

Fletcher, S. I., Richmond, P. ve Smith, A. C. (1985) “An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits”, Journal of Food Engineering, 4(4), 291–312.

Harper, J. M. (1994). The technology of extrusion cooking: edited by ND Frame, Blackie, ISBN 0 7514 0090 4.

Gat, Y. ve Ananthanarayan, L. (2015) “Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical properties of ready-to-eat expanded snacks”, Journal of Food Science and Technology, 52(5), 2634–2645.

Ghosh, R. ve Eriksson, M. (2019) “Food waste due to retail power in supply chains: Evidence from Sweden”, Global food security, 20, 1–8.

Gibson, M. (2015a) Physico-chemical and shelf-life between baked and extruded pet foods. Kansas State University.

Gibson, M. (2015b) “Physico-chemical and shelf-life between baked and extruded pet foods”, 167.

Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı (2012) Türk Gıda Kodeksi Ekmek ve Ekmek Çeşitleri, Pub. L.

Gmoser, R., Lennartsson, P. R. ve Taherzadeh, M. J. (2021) “From surplus bread to burger using filamentous fungi at bakeries: Techno-economical evaluation”, *Cleaner Environmental Systems*, 2(February), 100020.

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. ve Delcour, J. A. (2005) “Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality”, *Trends in food science & technology*, 16(1–3), 12–30.

Gomez, M. H. ve Aguilera, J. M. (1983) “Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn”, *Journal of Food Science*, 48(2), 378–381.

Gray, J. A. ve Bemiller, J. N. (2003) “Bread staling: molecular basis and control”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1–21.

Gross, K. L., Bollinger, R., Thawngmung, P. ve Collings, G. F. (1994) “Effect of three different preservative systems on the stability of extruded dog food subjected to ambient and high temperature storage”, *The Journal of Nutrition*, 124(suppl_12), 2638S–2642S.

Guelpa, A., Bevilacqua, M., Marini, F., O’Kennedy, K., Geladi, P. ve Manley, M. (2015) “Application of Rapid Visco Analyser (RVA) viscograms and chemometrics for maize hardness characterisation”, *Food Chemistry*, 173, 1220–1227.

Güneyli, U., Kasap, G., Beyhan, Y., Taşçı, N., Samur, S. ve Tayfur, M. (1982) “Fırın, Bakkal,-Bayilerde Meydana Gelen Ekmek İsrafi ve Apartmanlardan Çöpe Atılan Ekmek Kayıpları, İsraf ve Kayıpların Nedenleri ve Önlemler”, *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 11, 80–91.

Guy, R. (2001) *Extrusion cooking: technologies and applications*. Woodhead Publishing.

Guy, R. C. E. (1994) “Raw materials for extrusion cooking processes”, *The technology of extrusion cooking*, 52–72. Woodhead Publishing.

Harper, J. M. (1988) "Effects of extrusion processing on nutrients", Nutritional evaluation of food processing, 365–391.

Harper, J. M. ve Clark, J. P. (1979) "Food extrusion", Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 11(2), 155–215.

Harper, J. M., and G. R. Jansen. (1981) "Nutritious foods produced by low-cost technology. Summary report of cooperative activities between Colorado State University and the Off. of Int. Cooperation and Dev., USDA 1974–1980." Dept. Agricultural and Chemical Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO.

Hendriks, W. H., Sritharan, K., Egaña, J. I., Lopez, A., Quezada, Q., Bednar, G. E., Murray, S. M., Patil, A. R., Flickinger, E. A., Merchen, N. R., Fahey Jr, G. C., Ledl, F., Schleicher, E., Chiang, G. H., Deffenbaugh, L., Stroucken, W. P. J., van der Poel, A. F. B., Kappert, H. J., Beynen, A. C., Hullar, I., Fekete, S., Szöcs, Z., Øverland, M., Romarheim, O. H., Ahlstrøm, Ø., Storebakken, T., Skrede, A., Hickman, M. A., Rogers, Q. R., Morris, J. G., Van Der Poel, T. F. B., Blonk, J., Van Zuilichem, D. J., Van Oort, M. G., Alonso, R., Aguirre, A., Marzo, F., Hendriks, W. H., Emmens, M. M. A., Trass, B. ve Pluske, J. R. (2000) "Effect of extrusion on the quality of soybean-based catfood", Journal of the Science of Food and Agriculture, 53(2), 159–165.

Hoover, R. (1995) "Starch retrogradation", Food reviews international, 11(2), 331–346.

Hsieh, F., Peng, I. C. ve Huff, H. E. (1990) "Effects of salt, sugar and screw speed on processing and product variables of corn meal extruded with a twin-screw extruder", Journal of Food Science, 55(1), 224–227.

Hubbe, M. (2011) "Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry: Additives and Ingredients, their Composition, Functions, Strategies for Use", Retrieved online on Jun, 4.

Huber, G. (2001) "Snack foods from cooking extruders", Snack Foods Processing, 315–368.

Hug-Iten, S., Escher, F. ve Conde-Petit, B. (2001) "Structural properties of starch in bread and bread model systems: Influence of an antistaling α -amylase", *Cereal Chemistry*, 78(4), 421–428.

Hurrell, R. F. ve Carpenter, K. J. (1981) "The estimation of available lysine in foodstuffs after Maillard reactions. In progress in food and nutrition Science. Maillard reactions in food; Eriksson, L., Ed", Pergamon Press: Oxford, UK, 5(1–6), 159–176.

Hussain, M. A., Rahman, M. S. ve Ng, C. W. (2002) "Prediction of pores formation (porosity) in foods during drying: generic models by the use of hybrid neural network", *Journal of Food Engineering*, 51(3), 239–248.

Ilo, S., Schoenlechner, R. ve Berghofe, E. (2000) "Role of lipids in the extrusion cooking processes", *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 97–110.

Jekle, M. ve Becker, T. (2011) "Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy", *Food Research International*, 44(4), 984–991.

Jekle, M. ve Becker, T. (2015) "Wheat dough microstructure: The relation between visual structure and mechanical behavior", *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(3), 369–382.

Kallu, S., Kowalski, R. J., Ganjyal, G. M., Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., Ganjyal, G. M. ve Moscicki, L. (2019) "Impacts of cellulose fiber particle size and starch type on expansion during extrusion processing", *Journal of Food Science*, 82(7), 111810.

Kamarudin, M. S., De Cruz, C. R., Saad, C. R., Romano, N. ve Ramezani-Fard, E. (2018) "Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets", *Animal Feed Science and Technology*, 236, 122–130.

Kannadhasan, S., Muthukumarappan, K. ve Rosentrater, K. A. (2011) "Effect of starch sources and protein content on extruded aquaculture feed containing DDGS", *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 282–294.

Kim, M.-H., Song, Y.-E., Song, H.-B., Kim, J.-W. ve Hwang, S.-J. (2011) “Evaluation of food waste disposal options by LCC analysis from the perspective of global warming: Jungnang case, South Korea”, *Waste management*, 31(9–10), 2112–2120.

Kokini, J. L., Ho, C.-T., Karwe, M. V ve others (1992) *Food Extrusion Science and Technology*. Marcel Dekker New York

Koppel, K., Gibson, M., Alavi, S. ve Aldrich, G. (2014) “The effects of cooking process and meat inclusion on pet food flavor and texture characteristics”, *Animals*, 4(2), 254–271.

Koppel, K., Monti, M., Gibson, M., Alavi, S., Donfrancesco, B. Di ve Carciofi, A. C. (2015) “The effects of fiber inclusion on pet food sensory characteristics and palatability”, *Animals*, 5(1), 110–125.

Kotancılar, G., Çelik, İ. ve Ertugay, Z. (1995) “Ekmeğin besin değeri ve beslenmedeki önemi”, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(3).

Kumar, L., Brennan, M. A., Mason, S. L., Zheng, H. ve Brennan, C. S. (2017) “Rheological, pasting and microstructural studies of dairy protein--starch interactions and their application in extrusion-based products: A review”, *Starch-Stärke*, 69(1–2), 1600273.

Kvamme, J. L. ve Phillips, T. D. (2003) *Petfood technology*. Petfood technology Mt Morris: Watt

Lagrain, B., Rombouts, I., Brijs, K. ve Delcour, J. A. (2011) “Kinetics of heat-induced polymerization of gliadin”, *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(5), 2034–2039.

Lai, L. S. ve Kokini, J. L. (1991) “Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review)”, *Biotechnology Progress*, 7(3), 251–266.

Lankhorst, C., Tran, Q. D., Havenaar, R., Hendriks, W. H. ve van der Poel, A. F. B. (2007) “The effect of extrusion on the nutritional value of canine diets as assessed by in vitro indicators”, *Animal Feed Science and Technology*, 138(3–4), 285–297.

Laxhuber, S. (1997) “Drying and cooling in production of extrudates”, *Kraftfutter*, 11, 460–466.

Ledl, F. ve Schleicher, E. (1990) “New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body”, *Angewandte Chemie International Edition in English*, 29(6), 565–594.

Leonard, W., Zhang, P., Ying, D. ve Fang, Z. (2020) “Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218–246.

Li, G., Wang, S. ve Zhu, F. (2016) “Physicochemical properties of quinoa starch”, *Carbohydrate Polymers*, 137(2), 328–338.

Li, P., Zhang, Z. ve others (2017) “Effect of different food hydrocolloids on texture of pet dog chew.”, *Animal Husbandry and Feed Science (Inner Mongolia)*, 38(11), 54–58.

Lin, S., Hsieh, F. ve Huff, H. E. (1997) “Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food”, *LWT-Food Science and Technology*, 30(7), 754–761.

Lin, S., Hsieh, F. ve Huff, H. E. (1998) “Effects of lipids and processing conditions on lipid oxidation of extruded dry pet food during storage”, *Animal Feed Science and Technology*, 71(3–4), 283–294.

Liu, S., Yuan, T. Z., Wang, X., Reimer, M., Isaak, C. ve Ai, Y. (2019) “Behaviors of starches evaluated at high heating temperatures using a new model of Rapid Visco Analyzer--RVA 4800”, *Food Hydrocolloids*, 94, 217–228.

Liu, Y., Chen, J., Wu, J., Luo, S., Chen, R., Liu, C. ve Gilbert, R. G. (2019) “Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology”, *Carbohydrate polymers*, 213, 192–198.

Lucas, I., Becker, T. ve Jekle, M. (2018) “Gluten polymer networks—A microstructural classification in complex systems”, *Polymers*, 10(6), 617.

MacLean Jr, W. C., de Romaña, G., Gastañaduy, A. ve Graham, G. G. (1983) “The effect of decortication and extrusion on the digestibility of sorghum by preschool children”, *The Journal of Nutrition*, 113(10), 2071–2077.

Manbeck, A. E., Aldrich, C. G., Alavi, S., Zhou, T. ve Donadelli, R. A. (2017) “The effect of gelatin inclusion in high protein extruded pet food on kibble physical properties”, *Animal Feed Science and Technology*, 232(February), 91–101.

Mason, W. R. ve Hosney, R. C. (1985) Factors affecting the viscosity of extrusion cooked wheat starch. Kansas State University.

Mastrangelo, A. M. ve Cattivelli, L. (2021) “What makes bread and durum wheat different?”, *Trends in Plant Science*, 26(7), 677–684.

Milani, E. ve Koocheki, A. (2021) “Evaluation of technological and functional properties of breakfast cereal based on flax meal and rice flour”, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*.

Moraru, C. I. ve 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.

Morris, V. J. (1990) “Starch gelation and retrogradation”, *Trends in Food Science & Technology*, 1, 2–6.

Moschakis, T., Murray, B. S. ve Dickinson, E. (2005) “Microstructural evolution of viscoelastic emulsions stabilised by sodium caseinate and xanthan gum”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 284(2), 714–728.

Mościcki, L. ve van Zuilichem, D. J. (2011) “Extrusion-cooking and related technique”, *Extrusion-cooking techniques: Applications, theory and sustainability*, 1–24.

Murray, S. M., Flickinger, E. A., Patil, A. R., Merchen, N. R., Brent Jr, J. L. ve Fahey Jr, G. C. (2001) “In vitro fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chyme from dogs”, *Journal of Animal Science*, 79(2), 435–444.

Navale, S. A., Swami, S. B. ve Thakor, N. J. (2015) “Extrusion cooking technology for foods: A review”, *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.

Nemeth, L. J., Paulley, F. G. ve Preston, K. R. (1996) “Effects of ingredients and processing conditions on the frozen dough bread quality of a Canada Western Red Spring wheat flour during prolonged storage”, *Food Research International*, 29(7), 609–616.

Offiah, V., Kontogiorgos, V. ve Falade, K. O. (2019) “Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(18), 2979–2998.

Ofisi, T. M. (2013) “Türkiye’de ekmek israfı araştırması”, Erişim adresi <http://www.anararastirma.com.tr/dosyalar/arastirmalar/1205/dosya-1205-6253.pdf>. Erişim tarihi, 2, 2019.

Onurlubaş, Ö. Ü. E. ve Altunışık, R. (2019) “Ekmek tüketim alışkanlıkları ve israf eğilimi üzerine bir araştırma: Bursa ili örneği”, *Cataloging-In-Publication Data*, 257.

Otsu, N. (1979) “A threshold selection method from gray-level histograms”, *IEEE Transactions on Systems, and Cybernetics*, 9(1), 62–66.

Ozcan, S. ve Jackson, D. S. (2005) “Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures”, *Cereal Chemistry*, 82(2), 223–227.

Özkaya, H. (2005) “Özkaya B”, *Öğütme Teknolojisi*, Ankara, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, (30).

Pacheco, P. D. G., Baller, M. A., Peres, F. M., de Mello Ribeiro, É., Putarov, T. C. ve Carciofi, A. C. (2021) “Citrus pulp and orange fiber as dietary fiber sources for dogs”, *Animal Feed Science and Technology*, 282, 115123.

Pacheco, P. D. G., Putarov, T. C., Baller, M. A., Peres, F. M., Loureiro, B. A. ve Carciofi, A. C. (2018) “Thermal energy application on extrusion and nutritional characteristics of dog foods”, *Animal Feed Science and Technology*, 243(February), 52–63.

Paquet, A., Thresher, W. C. ve Swaisgood, H. E. (1987) "Further studies on in vitro digestibility of some epimeric tripeptides", *Nutrition Research*, 7(6), 581–588.

Parker, R. ve Ring, S. G. (2001) "Aspects of the physical chemistry of starch", *Journal of Cereal Science*, 34(1), 1–17.

Pasini, G., Simonato, B., Giannattasio, M., Peruffo, A. D. B. ve Curioni, A. (2001) "Modifications of wheat flour proteins during in vitro digestion of bread dough, crumb, and crust: an electrophoretic and immunological study", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2254–2261.

Pezzali, J. G. ve Aldrich, C. G. (2019) "Effect of ancient grains and grain-free carbohydrate sources on extrusion parameters and nutrient utilization by dogs", *Journal of Animal Science*, 97(9), 3758–3767.

Phillips, R. D. (1989) "Effects of extrusion cooking on the nutritional quality of plant proteins", *Protein Quality and the Effects of Processing*, 219–246.

Phillips, R. D. ve Finley, J. W. (1989) *Protein quality and the effects of processing*. New York: Marcel Dekker.

Piazza, L., Gigli, J. ve Ballabio, D. (2007) "On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 86(1), 52–59.

Pico, J., Bernal, J. ve Gómez, M. (2015) "Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review", *Food Research International*, 75, 200–215.

De Pilli, T., Derossi, A., Talja, R. A., Jouppila, K. ve Severini, C. (2011) "Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(4), 610–616.

De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A. ve Severini, C. (2008) "Study on formation of starch--lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour", *Journal of Food Engineering*, 87(4), 495–504.

Van Der Poel, T. F. B., Blonk, J., Van Zuilichem, D. J. ve Van Oort, M. G. (1990) “Thermal inactivation of lectins and trypsin inhibitor activity during steam processing of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) and effects on protein quality”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 53(2), 215–228.

Ponrajan, A., Tonner, T., Okos, M., Campanella, O. ve Narsimhan, G. (2020) “Comparing inline extrusion viscosity for different operating conditions to offline capillary viscosity measurements”, *Journal of Food Process Engineering*, 43(5), e13199.

Pu, D., Zhang, H., Zhang, Y., Sun, B., Ren, F., Chen, H. ve He, J. (2019) “Characterization of the aroma release and perception of white bread during oral processing by gas chromatography-ion mobility spectrometry and temporal dominance of sensations analysis”, *Food Research International*, 123, 612–622.

Rabbani, A., Jamshidi, S. ve Salehi, S. (2014) “An automated simple algorithm for realistic pore network extraction from micro-tomography images”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 123, 164–171.

Rabbani, A. ve Salehi, S. (2017) “Dynamic modeling of the formation damage and mud cake deposition using filtration theories coupled with SEM image processing”, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 42, 157–168.

Rahaman, T., Vasiljevic, T. ve Ramchandran, L. (2016) “Shear, heat and pH induced conformational changes of wheat gluten--Impact on antigenicity”, *Food Chemistry*, 196, 180–188.

Ratnayake, W. S. ve Jackson, D. S. (2008) “Starch gelatinization”, *Advances in Food and Nutrition Research*, 55, 221–268.

ReFED, A. (2016) “A roadmap to reduce US food waste by 20 percent”, Rockefeller Foundation: New York, NY, USA.

Riaz, M. N. (Ed.). (2000). *Extruders in food applications*. CRC press.

Riaz, Mian N ve Rokey, G. J. (2011) *Extrusion problems solved: Food, Pet Food and Feed*. Elsevier

Rokey, G. ve Plattner, B. (1995) “Process description”, Pet food production. Wenger Mfg, Inc., Sabetha, KS, USA, 1–18.

Rosell, C. M. (2011) “The science of doughs and bread quality”, Flour and breads and their fortification in health and disease prevention, 3–14.

Roudaut, G., Dacremont, C., Pàmies, B. V., Colas, B. ve Le Meste, M. (2002) “Crispness: a critical review on sensory and material science approaches”, Trends in Food Science & Technology, 13(6–7), 217–227.

Rufián-Henares, J. A. ve Delgado-Andrade, C. (2009) “Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals”, Food Research International, 42(3), 394–400.

Ryu, G. H. ve Ng, P. K. W. (2001) “Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates”, Starch/Staerke, 53(3–4), 147–154.

Saeleaw, M. ve Schleining, G. (2011) “A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques”, Journal of Food Engineering, 105(3), 387–399.

Şahin, S. K. ve Bekar, A. (2018). Küresel Bir Sorun “Gıda Atıkları”: Otel İşletmelerindeki Boyutları. Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 6(4), 1039-1061. DOI: 10.21325/jotags.2018.347

Salazar-Villanea, S., Butré, C. I., Wierenga, P. A., Bruininx, E. M. A. M., Gruppen, H., Hendriks, W. H. ve van der Poel, A. F. B. (2018) “Apparent ileal digestibility of Maillard reaction products in growing pigs”, PloS one, 13(7), e0199499.

Samray, M. N. (2018) “Enzyme dirençli ni{\c{s}}asta ilavesinin galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi”.

Samray, M. N., Masatcioglu, T. M. ve Koksel, H. (2019) “Bread crumbs extrudates: A new approach for reducing bread waste”, Journal of Cereal Science, 85(August 2018), 130–136.

Samuelsen, T. A. ve Oterhals, Å. (2016) “Water-soluble protein level in fishmeal affects extrusion behaviour, phase transitions and physical quality of feed”, *Aquaculture Nutrition*, 22(1), 120–133.

Schopf, M. ve Scherf, K. A. (2021) “Water absorption capacity determines the functionality of vital gluten related to specific bread volume”, *Foods*, 10(2), 228.

Serrano, X. (1997) “The extrusion-cooking process in animal feeding. Nutritional implications”, *Feed manufacturing in Southern Europe: New challenges*; Morand-Fehr P., Ed, 107–114.

Sharma, S., Singh, N. ve Singh, B. (2015) “Effect of extrusion on morphology, structural, functional properties and in vitro digestibility of corn, field pea and kidney bean starches”, *Starch-Stärke*, 67(9–10), 721–728.

Shewry, P. (2019) “What is gluten—why is it special?”, *Frontiers in Nutrition*, 101.

Shewry, P. R., Tatham, A. S., Barro, F., Barcelo, P. ve Lazzeri, P. (1995) “Biotechnology of breadmaking: unraveling and manipulating the multi-protein gluten complex”, *Bio/technology*, 13(11), 1185–1190.

Smith, F., Pan, X., Bellido, V., Toole, G. A., Gates, F. K., Wickham, M. S. J., Shewry, P. R., Bakalis, S., Padfield, P. ve Mills, E. N. C. (2015) “Digestibility of gluten proteins is reduced by baking and enhanced by starch digestion”, *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(10), 2034–2043.

Spears, J. K. ve Fahey Jr, G. C. (2004) “Resistant starch as related to companion animal nutrition”, *Journal of AOAC International*, 87(3), 787–791.

Stear, C. A. ve Stear, C. A. (1990) “Handbook of Breadmaking Technology”. Springer, Boston, MA.

Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. J. ve Courtin, C. M. (2017) “Bread dough and baker’s yeast: An uplifting synergy”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 850–867.

- Su, C.-W. ve Kong, M.-S. (2007) “Effects of soybean oil, cellulose, and SiO₂ addition on the lubrication and product properties of rice extrusion”, *Journal of food engineering*, 78(2), 723–729.
- Sun, T., Lærke, H. N., Jørgensen, H. ve Knudsen, K. E. B. (2006) “The effect of extrusion cooking of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs”, *Animal feed science and technology*, 131(1–2), 67–86.
- Svensson, S. E., Bucuricova, L., Ferreira, J. A., Filho, P. F. S., Taherzadeh, M. J. ve Zamani, A. (2021) “Valorization of bread waste to a fiber-and protein-rich fungal biomass”, *Fermentation*, 7(2), 1–14.
- Svihus, B., Uhlen, A. K. ve Harstad, O. M. (2005) “Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review”, *Animal Feed Science and Technology*, 122(3–4), 303–320.
- Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T. ve Takeda, Y. (2014) “The principles of starch gelatinization and retrogradation”, *Food and Nutrition Sciences*, 2014.
- Taşçı, R., Karabak, S., Bolat, M., Pehlivan, A., Şanal, T., Oğuz, A., Külen, S., Güneş, E. Ve Albayrak, M. (2017) “Ankara ilinde ekmek fırınlarının üretim yapısı ve ekmek israfı”, *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 1–16.
- Tebben, L., Shen, Y. ve Li, Y. (2018) “Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality”, *Trends in Food Science & Technology*, 81, 10–24.
- Thachil, M. T., Chouksey, M. K. ve Gudipati, V. (2014) “Amylose-lipid complex formation during extrusion cooking: effect of added lipid type and amylose level on corn-based puffed snacks”, *International Journal of Food Science & Technology*, 49(2), 309–316.
- Therdthai, N. ve Zhou, W. (2003) “Recent advances in the studies of bread baking process and their impacts on the bread baking technology”, *Food Science and Technology Research*, 9(3), 219–226.

Tilley, K. A., Benjamin, R. E., Bagorogoza, K. E., Okot-Kotber, B. M., Prakash, O. ve Kwen, H. (2001) “Tyrosine cross-links: molecular basis of gluten structure and function”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2627–2632.

Tiwari, A. ve Jha, S. K. (2017) “Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks--An overview”, *International Journal of Food Studies*, 6(1).

TMO (2019) Ekmek israfı ve tüketici alışkanlıkları.

Tran, Q. D., Hendriks, W. H. ve van der Poel, A. F. B. (2008) “Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(9), 1487–1493.

Della Valle, G., Kozlowski, A., Colonna, P. ve Tayeb, J. (1989) “Starch transformation estimated by the energy balance on a twin screw extruder”, *Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie*, 22(5), 279–286.

Della Valle, G., Vergnes, B., Colonna, P. ve Patria, A. (1997) “Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion”, *Journal of Food Engineering*, 31(3), 277–295.

Walker, P. M., Finnigan, D. M., Brown, S. A. ve Dust, J. M. (2002) “Evaluation of feed mixtures amended with processed food waste as feedstuffs for finishing lambs”, *The Professional Animal Scientist*, 18(3), 237–246.

Wang, L., Ganjyal, G. M., Jones, D. D., Weller, C. L. ve Hanna, M. A. (2005) “Modeling of bubble growth dynamics and nonisothermal expansion in starch-based foams during extrusion”, *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 24(1), 29–45.

Wang, Shujun, Chao, C., Xiang, F., Zhang, X., Wang, Shuo ve Copeland, L. (2018) “New insights into gelatinization mechanisms of cereal endosperm starches”, *Scientific Reports*, 8(1), 1–8.

Wang, Shujun, Li, C., Copeland, L., Niu, Q. ve Wang, Shuo (2015) “Starch retrogradation: A comprehensive review”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585.

Watson, T. (2011) “Breaking It Down – Measuring Food Quality and Digestibility”, *Vet Times*, 1–8.

Whistler, R. L., BeMiller, J. N. ve Paschall, E. F. (2012) *Starch: chemistry and technology*.

Wieser, H. (2007) “Chemistry of gluten proteins”, *Food microbiology*, 24(2), 115–119.

Wolter, R., do Socorro, E. ve Houdre, C. (1998) “Foecal and ileal digestibility of diets rich in wheat or tapioca starch in the dog.”, *Recueil de Medecine Veterinaire (France)*.

Wongsapin, S., Krongchai, C., Jakmunee, J. ve Kittiwachana, S. (2018) “Rice grain freshness measurement using rapid visco analyzer and chemometrics”, *Food Analytical Methods*, 11(2), 613–623.

Wu, T., Taylor, C., Nebl, T., Ng, K. ve Bennett, L. E. (2017) “Effects of chemical composition and baking on in vitro digestibility of proteins in breads made from selected gluten-containing and gluten-free flours”, *Food Chemistry*, 233, 514–524.

Xie, F., Yu, L., Su, B., Liu, P., Wang, J., Liu, H. ve Chen, L. (2009) “Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios”, *Journal of Cereal Science*, 49(3), 371–377.

Xu, D., Zhang, J., Cao, Y., Wang, J. ve Xiao, J. (2016) “Influence of microcrystalline cellulose on the microrheological property and freeze-thaw stability of soybean protein hydrolysate stabilized curcumin emulsion”, *LWT*, 66, 590–597.

Yanniotis, S., Petraki, A. ve Soumpasi, E. (2007) “Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch”, *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594–599.

Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z. ve Liu, C. (2018) “Properties of starch after extrusion: a review”, *Starch-Stärke*, 70(11–12), 1700110.

Yönetmelik (2022) “Resmi Gazete”, İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği, 31918(9 Ağustos 2022 SALI).

Yuliani, S., Torley, P. J., D’Arcy, B., Nicholson, T. ve Bhandari, B. (2006) “Effect of extrusion parameters on flavour retention, functional and physical properties of mixtures of starch and d-limonene encapsulated in milk protein”, *International Journal of Food science & Technology*, 41, 83–94.

Zeng, X., Zheng, B., Xiao, G. ve Chen, L. (2022) “Synergistic effect of extrusion and polyphenol molecular interaction on the short/long-term retrogradation properties of chestnut starch”, *Carbohydrate Polymers*, 276, 118731.

Zhang, C., Zhang, H., Wang, L. ve Qian, H. (2014) “Physical, functional, and sensory characteristics of cereal extrudates”, *International Journal of Food Properties*, 17(9), 1921–1933.

Zu Ermgassen, E. K. H. J., Phalan, B., Green, R. E. ve Balmford, A. (2016) “Reducing the land use of EU pork production: where there’s swill, there’s a way”, *Food Policy*, 58, 35–48.

