

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**EKSTRÜDE BAKLAGİL UNLARI ELDESİNDE
UYGULANAN İŞLEM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Kübra TULUK

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU

İkinci Danışman: Öğr. Gör. Dr. Burak ALTINEL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2024

Kübra TULUK tarafından Doktora Tezi olarak sunulan “Ekstrüde Baklagil Unları Eldesinde Uygulanan İşlem Parametrelerinin Ürün Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 13.09.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza****Jüri Başkanı : Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU**

.....

Raportör Üye: Prof. Dr. Şebnem TAVMAN

.....

Üye : Prof. Dr. Filiz İÇİER

.....

Üye : Prof. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM

.....

Üye : Doç. Dr. Nazlı SAVLAK

.....



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Ekstrüde Baklagıl Unları Eldesinde Uygulanan İşlem Parametrelerinin Ürün Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13 / 09 / 2024

Kübra TULUK

ÖZET**EKSTRÜDE BAKLAGİL UNLARI ELDESİNDE UYGULANAN
İŞLEM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

TULUK, Kübra

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU

İkinci Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Burak ALTINEL

Eylül 2024, 127sayfa

Bu tez çalışmasında ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının üretiminde vida hızı ve ekstrüder sıcaklığının un özelliklerine etkileri incelenerek optimum işlem koşullarının belirlenmesi ve optimum koşullarda üretilen ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının farklı oranlarda ekmek üretiminde kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında optimum koşulların belirlenmesi amacıyla Yanıt Yüzey Yöntemi Merkezi Kompozit Tasarımı ile oluşturulan deneme planına göre ekstrüzyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Ekstrüder sıcaklığı (135, 150 ve 165°C) ve vida dönüş hızı (200, 250 ve 300 rpm) bağımsız değişkenler; su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi içerikleri ise yanıtlar olarak değerlendirilmiştir. Optimizasyon, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi içeriğinin minimize edilmesi ve suda çözünürlük indeksinin maksimize edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her üç hammadde (maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu) için de optimum koşullar 165°C sıcaklık ve 200 rpm vida hızı olarak belirlenmiştir. Buğday ununun, ham unların ve optimum koşullarda üretilen ekstrüde baklagil unlarının fitik asit, çözünmeyen diyet lifi, su absorplama indeksi, protein içerikleri ve renk değerleri (L^* , a^* , b^*) belirlenmiştir. Ekstrüder sıcaklığının artışı ile unların su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra,

vida hızının artması ile su absorplama indeksi ve çözünmeyen diyet lifi azalırken fitik asit miktarının arttığı belirlenmiştir. Ekstrüde unların protein miktarının ham unların protein miktarına yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise optimum koşullarda üretilen ekstrüde unlar ve ham (ekstrüde edilmemiş) unlar buğday unu ikamesi olarak (%12.5 ve %25 oranlarında) ekmek formülasyonlarında kullanılarak ekmek üretimleri gerçekleştirilmiş ve ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem, kül, renk ve tekstürel özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada buğday ekmeğinin (kontrol ekmeği) spesifik hacim değerinin $5.15 \text{ cm}^3/\text{g}$, ekmek içi sertlik değerinin 91.61 g ve çiğnenebilirlik değerinin ise 15.82 g olduğu belirlenmiştir. Buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ikame edilen ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ile üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerlerinin $1.72\text{--}4.46 \text{ cm}^3/\text{g}$ arasında değiştiği, ekmek içi sertlik değerlerinin $150.42\text{--}1718.81 \text{ g}$ arasında değiştiği ve çiğnenebilirlik değerlerinin ise $31.22\text{--}240.11 \text{ g}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu bulgular değerlendirildiğinde; buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ikame edilen ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek ununun ekmeğin spesifik hacim değerinde önemli seviyede bir azalma, ekmek içi sertliğinde ve çiğnenebilirliğinde ise önemli seviyede bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu, ekstrüde kırmızı mercimek unu, ekmek üretimi, ekmek kalite özellikleri.

ABSTRACT

DETERMINATION THE EFFECTS OF PROCESS PARAMETERS ON THE PRODUCT PROPERTIES OF EXTRUDED LEGUME FLOURS

TULUK, Kübra

PhD Thesis, Food Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU

Second Supervisor: Lecturer Dr. Burak ALTINEL

September 2024, 127 pages

This doctoral thesis aimed to determine the optimum process conditions for the effects of screw speed and extruder temperature on the flour properties in the production of extruded mung bean, broad bean and red lentil flours and to examine the use of extruded mung bean, broad bean and red lentil flours produced under optimum conditions in bread production at different rates.

In the first stage of this doctoral thesis, extrusion trials were carried out according to the trial plan created with the Central Composite Design Response Surface Method to determine the optimum conditions. Extruder temperature (135, 150, and 165°C) and screw rotation speed (200, 250, and 300 rpm) were independent variables; water absorption index, phytic acid, and insoluble dietary fiber were evaluated as responses. Higher water absorption index values were preferred, while lower values for phytic acid and insoluble dietary fiber were considered optimal. As a result of the analysis, the optimum conditions for both raw materials were determined as 165 °C temperature and 200 rpm screw speed. Water absorption index, phytic acid, insoluble dietary fiber, protein content, colour values (L^* , a^* , b^*) of the extruded flours, raw flours, and wheat flour produced under optimum conditions were determined. It was determined that as the extruder temperature increased, the flour's water absorption index, phytic acid, and insoluble dietary fiber amount decreased. As the screw speed increased, the

water absorption index and insoluble dietary fiber decreased while the amount of phytic acid increased. It has been observed that the protein amount of extruded flour is close to the protein amount of raw flour.

In the second stage of this doctoral thesis, bread production was carried out by using extruded flours and raw (non-extruded) flours produced under optimum conditions as wheat flour substitutes (12.5% and 25%) in bread formulations and the volume, specific volume, baking loss, moisture, ash, color, textural properties and microstructure was determined. In this doctoral thesis, the specific volume, the crumb hardness, and the chewiness of crumb of wheat bread (control bread) were found to be 5.15 cm³/g, 91.61 g, and 15.82 g, respectively. Bread samples produced from flour blends (wheat flour was substituted with raw and extruded mung bean flour, faba bean flour, and red lentil flour at 12.5% and 25%) had the specific volume, the crumb hardness, and the chewiness of crumb ranged between 1.72–4.46 cm³/g, 150.42–1718.81 g, and 31.22–240.11 g, respectively. These findings led to the conclusion that the substitution of raw and extruded mung bean flour, faba bean flour, and red lentil flour at 12.5% and 25% levels caused a significant decrease in the specific volume of bread compared to that of the wheat bread. Besides, the substitution of raw and extruded mung bean flour, faba bean flour, and red lentil flour at 12.5% and 25% levels resulted in a significant increase in the crumb hardness, and in the chewiness of crumb of bread compared to those of the wheat bread.

Keywords: Extruded mung bean flour, extruded faba bean flour, extruded red lentil flour, bread-making, bread quality characteristics.

ÖNSÖZ

Baklagiller, protein, mineral, vitamin, diyet lifi ve biyoaktif bileşenler bakımından oldukça zengin bir içeriğe sahip olmaları ve glisemik indeks değerlerinin düşük olması nedeniyle insan beslenmesi açısından oldukça önemli bir besin kaynağıdır. Sahip olduğu faydalı özellikleri nedeniyle, baklagillerin insan beslenmesine dahil edilmesine yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda tüketicilerin sağlıklı beslenme talebinin artması ve beslenme alışkanlıklarının değişmesi nedeniyle, tüketicilerin hem baklagiller gibi besin değeri yüksek hammaddelere hem de ürünlere çeşitli fonksiyonel özellikler kazandıran ekstrüzyon gibi modern gıda işleme teknolojileri ile üretilen gıdalara olan ilgisi artış göstermiştir.

Ekstrüzyon işlemi, farklı boyut, şekil, doku ve lezzete sahip çok sayıda ürünün işlenmesi ve üretilebilmesine imkân sağladığı için gıda endüstrisi açısından önemli bir işleme tekniğidir. Ekstrüzyon pişirme işleminde kullanılan parametreler olan sıcaklık, vida hızı ve sisteme beslenecek içeriğin nem miktarı ekstrüzyon sonunda elde edilecek olan ekstrüde ürünün özellikleri üzerinde son derecede etkilidir. Ekstrüzyonla pişirme tekniğinin hammaddesini genleşme özelliği yüksek olduğu için tahılların oluşturmaktadır. Ancak, son yıllarda farklı hammaddelerin de ekstrüzyon işleminde kullanımı üzerine yapılan çalışmalar giderek yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada farklı baklagillerin ekstrüzyon işleminde hammadde olarak kullanılacak olması, ekstrüde un elde etme potansiyelinin optimizasyon işlemi ile değerlendirilecek olması ve optimum işlem koşullarında üretilen ekstrüde baklagil unlarının ekmek üretiminde kullanılacak olması; bu çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. Elde edilecek sonuçların; baklagil temelli ya da baklagil unu ikameli bir ürün ya da un karışımları üretilmesinde literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı; ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının üretiminde vida hızı ve ekstrüder namlu sıcaklığının un özelliklerine etkilerinin incelenmesi, optimum işlem koşullarının belirlenmesi ve optimumum koşullarda üretilen ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı

mercimek unlarının farklı oranlarda ekmek üretiminde kullanımının incelenmesidir.

İZMİR

13.09.2024

Kübra TULUK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Baklagiller	5
2.1.1. Maş fasulyesi (<i>Vigna radiata</i> L.).....	6
2.1.2. Bakla (<i>Vigna radiata</i> L.).....	7
2.1.3. Kırmızı mercimek (<i>Lens culinaris</i> Medic.)	8
2.2. Ekstrüzyon	9
2.2.1. Ekstrüzyon işleminde baklagillerin kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar	10
2.3. Ekmek	19
3. GEREÇ VE YÖNTEM	23
3.1. Gereç	23
3.2. Yöntem.....	24

3.2.1.	Ekstrüde un üretimi ve optimizasyon	24
3.2.2.	Ekstrüde un özelliklerinin belirlenmesi.....	26
3.2.3.	Optimum koşullarda üretilen ekstrüde unlarda yapılan analizler ..	29
3.2.4.	Buğday unu özelliklerinin belirlenmesi	30
3.2.5.	Ekmek üretimi	31
3.2.6.	Ekmek analizleri	32
3.2.7.	İstatistiksel analizler	34
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
4.1.	Maş Fasulyesi için Sonuçların Değerlendirilmesi	35
4.2.	Bakla için Sonuçların Değerlendirilmesi	41
4.3.	Kırmızı Mercimek için Sonuçların Değerlendirilmesi	47
4.4.	Optimizasyon	53
4.5.	Optimizasyon Yanıtlarının Değerlendirilmesi ve Yapılan Çalışmalar ile Karşılaştırılması	55
4.5.1.	Su absorplama indeksi	55
4.5.2.	Fitik asit.....	58
4.5.3.	Çözünmeyen diyet lifi.....	61
4.6.	Buğday Unu, Ham ve Ekstrüde Maş Fasulyesi Unu, Bakla Unu ve Kırmızı Mercimek Ununun Özellikleri.....	64
4.6.1.	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Özellikleri..	67
4.7.	Ekmek Özellikleri	69
4.7.1.	Ekmeklerin kalite özellikleri	69

4.7.2.	Ekmeklerin doku profili analizi.....	82
4.7.3.	Taramalı elektron mikroskopisi (SEM).....	96
5.	GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	100
	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	102
	TEŞEKKÜR	123
	ÖZGEÇMİŞ	124





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Fitik asit standart eğrisi.	28
Şekil 3.2 Ekmek üretim yöntemi.	31
Şekil 4.1 Ekstrüde maş fasulyesi unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	40
Şekil 4.2 Ekstrüde bakla unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.	46
Şekil 4.3 Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	52
Şekil 4.4 Unların Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi özellikleri	69
Şekil 4.5 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.	72
Şekil 4.6 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmek içi görünüşleri.	72
Şekil 4.7 Ham ve ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.	74
Şekil 4.8 Ham ve ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmek içi görünüşleri.	74
Şekil 4.9 Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.	76
Şekil 4.10 Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmek içi görünüşleri.	76
Şekil 4.11 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-MF, c) 25-H-MF, d)12.5-E-MF, e) 25-E-MF	97

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil 4.12 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-BKL, c) 25-H-BKL, d)12.5-E-BKL, e) 25-E-BKL98

Şekil 4.13 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-KM, c) 25-H-KM, d)12.5-E-KM, e) 25-E-KM.....99



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unu üretimindeki deney tasarımının bağımsız değişkenleri ve varyasyon seviyeleri.	25
Çizelge 3.2 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım (Central Composite Design) deneme planı (5 merkez noktalı 13 deney).....	25
Çizelge 4.1 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.	35
Çizelge 4.2 Ekstrüde maş fasulyesi ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	37
Çizelge 4.3 Ekstrüde maş fasulyesi ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	38
Çizelge 4.4 Ekstrüde maş fasulyesi ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	39
Çizelge 4.5 Ekstrüde maş fasulyesi unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.	41
Çizelge 4.6 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.	41
Çizelge 4.7 Ekstrüde bakla ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	43
Çizelge 4.8 Ekstrüde bakla ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	44
Çizelge 4.9 Ekstrüde bakla ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	45
Çizelge 4.10 Ekstrüde bakla unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.	47

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge 4.11 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.12 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	49
Çizelge 4.13 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.	50
Çizelge 4.14 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	51
Çizelge 4.15 Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.	53
Çizelge 4.16 Optimum koşullarda üretilen unların analiz sonuçları ve doğrulamaları.	54
Çizelge 4.17 Buğday unu ve maş fasulyesi, bakla, kırmızı mercimek unlarının (ham ve ekstrüde) özellikleri.....	65
Çizelge 4.18 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin kalite özellikleri.....	70
Çizelge 4.19 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmek içi tekstür özellikleri.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
cm^3	Santimetreküp
g	Gram
μl	Mikrolitre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Newton
Nr	Number (Numara)
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin potansiyeli)
sn	Saniye
μm	Mikrometre
$^{\circ}C$	Derece Santigrat

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AACC	American Association of Cereal Chemists
ANOVA	Analysis of Variance
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BU	Buğday unu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
E1320-MF	135°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1325-MF	135°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1330-MF	135°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1520-MF	150°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1525-MF	150°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1530-MF	150°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1620-MF	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1625-MF	165°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1630-MF	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu
E1320-BKL	135°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1325-BKL	135°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1330-BKL	135°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1520-BKL	150°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1525-BKL	150°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1530-BKL	150°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1620-BKL	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
E1625-BKL	165°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1630-BKL	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu
E1320-KM	135°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1325-KM	135°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1330-KM	135°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1520-KM	150°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1525-KM	150°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1530-KM	150°C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1620-KM	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1625-KM	165°C 250 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E1630-KM	165°C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu
E-BKL	Ekstrüde bakla unu
E-KM	Ekstrüde kırmızı mercimek unu
E-MF	Ekstrüde maş fasulyesi unu
H-BKL	Ham bakla unu
H-KM	Ham kırmızı mercimek unu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
12.5-E-BKL	%12.5 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmek
12.5-E-KM	%12.5 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek
12.5-E-MF	%12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmek
12.5-H-BKL	%12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmek
12.5-H-KM	%12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek
12.5-H-MF	%12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmek
25-E-BKL	%25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmek
25-E-KM	%25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek
25-E-MF	%25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmek
25-H-BKL	%25 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmek
25-H-KM	%25 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
25-H-MF	%25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmek





1. GİRİŞ

Modern yaşam tarzının zaman kazanımı ihtiyacından dolayı tüketime hazır ürünlere olan tüketici talebi artmaktadır. Ekstrüzyon pişirme, büyük ölçüde; gevrek genişletilmiş atıştırmalıklar, kahvaltılık gevrekler, hazır çorbalar ve spor yiyecekleri gibi birçok tüketime hazır ürünlerin üretimi için kullanılan bir tekniktir. Ekstrüde gıdalar, tüketime hazır olma kolaylıkları, hoş görünümleri ve dokuları ile tüketiciyi çekebilmektedir. Ekstrüzyon pişirmenin hammaddeleri, iyi bir genleşme özelliğine sahip oldukları için çoğunlukla tahıllardır. Bununla birlikte; ekstrüde gıdalar, nişastadan enerji sağlamanın yanı sıra; diğer bileşenlerle zenginleştirilirse diğer besin maddelerinin taşıyıcıları olarak da işlev görebilmektedir. Tüm temel gıda maddeleri ekstrüzyonla elde edilemese de ekstrüde gıda ürünleri tüketiciler için çok daha caziptir, çünkü tohum bazlı gıdaların çok çeşitli bileşenleri ekstrüzyon yoluyla kullanılabilmekte ve değerlendirilebilmektedir.

Ekstrüzyon işlemi, gıda endüstrisinde önemli bir işleme tekniğidir. Farklı boyut, şekil, doku ve lezzete sahip çok sayıda ürünün işlenmesi ve üretilebilmesi için gelişmekte olan bir teknolojidir. Ekstrüzyonla pişirme; karıştırma, kesme, kurutma veya şekillendirme gibi işlemleri aynı anda gerçekleştirebildiği için verimli bir teknik olarak kabul edilmektedir. Ekstrüzyon pişirme işleminde kullanılan parametreler olan sıcaklık, vida hızı ve sisteme beslenecek içeriğin nem miktarı ekstrüzyon sonunda elde edilecek olan ekstrüde ürünün özellikleri üzerinde son derecede etkilidir. Bu sebeple; ekstrüzyon işleminde kullanılacak besleme nemi, sıcaklık, vida hızı, besleme debisi ve ürün içeriği gibi koşulların istenilen son ürüne göre düzenlenmesi gerekmektedir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında, ham maddelerde çeşitli yapısal, kimyasal ve besinsel dönüşümlerin meydana gelmesi ile, hammaddelerin tekno-fonksiyonel özelliklerinde de gelişmeler meydana gelmektedir. Ekstrüzyon işlemi ile hammaddenin yapısında bulunan besleyici bileşikler; geleneksel gıda işleme yöntemlerine kıyasla daha az zarar görmekte bunun yanı sıra ekstrüzyon işlemi ile baklagillerin doğal yapısında bulunan ve tüketildiğinde özellikle protein, vitamin

ve mineralleri bağlayarak sindirim sistemindeki emilimini azaltan bileşiklerin seviyelerinin azaltılması veya tamamen uzaklaştırılması da sağlanabilmektedir.

Ekstrüzyon pişirme işleminde enerji tüketiminin daha az olması, üretim veriminin yüksek ve son ürününün daha ekonomik olması, yüksek sıcaklıkta çalışabilme ve kısa sürede işlenebilir bir yöntem olması gibi avantajlarının yanı sıra istenilen yapı, tekstür ve duyu özellikleri de sağlayabilen bir yöntem olduğu için günümüzde tercih edilen ve kullanımı gün geçtikçe artan bir işleme yöntemidir.

Baklagiller sahip oldukları yüksek miktardaki protein, karbonhidrat, diyet lifi, vitamin, mineral gibi içerikler nedeniyle birçok ülkede insan beslenmesi için önemli bir besin kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca, birçok fizyolojik ve metabolik süreçte önemli rol oynayan biyoaktif bileşenler bakımından da iyi bir kaynak olduğu ifade edilmektedir. Baklagiller, özellikle kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, potasyum gibi mineraller bakımından zengindir. Baklagillerin günlük diyetle dahil edilmesinin; plazma kolesterol seviyesini azaltmak, şeker hastalığı, koroner kalp hastalığı ve kanser gibi yaygın metabolik hastalıkları önlemek gibi birçok yararlı fizyolojik etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir. Baklagiller ülkemizde de yaygın olarak tüketilmesine rağmen, gıda ürünlerine işlenmesinde ve ekonomik değerinin artırılmasında hala eksikler mevcuttur. Baklagiller, tüketime uygun hale getirilmek için geleneğe ve lezzet tercihlerine bağlı olarak; ıslatma, kaynatma, filizlendirme, basınçlı pişirme ve fermantasyon gibi çeşitli yöntemlerle işlenmektedir. Evsel işleme ve pişirme yöntemlerinin; fitik asit, polifenoller, saponinler gibi faktörlerinin seviyesini azalttığı ve baklagil tanelerinin protein sindirilebilirliğini arttırdığı bilinmektedir. Gıda işlemenin antibesinsel faktörler üzerindeki etkileri, işleme tekniğine ve zaman, sıcaklık ve nem içeriği gibi işlem koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişmekte ve böylelikle protein ve minerallerin biyoyararlanımı artırılabilir. Ayrıca ekstrüzyonla pişirmenin, nişasta ve proteinlerin sindirilebilirliğini artırabildiği de ifade edilmiştir. Bu nedenle, ekstrüzyon pişirme yöntemi; baklagil eklenmiş tüketime hazır gıda üretmek için uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

İncelenen literatüre dayanarak; ekstrüzyonun umut vaadeden çok yönlü bir teknoloji olduğu ve geleneksel ekstrüde atıştırılmalıkların ötesinde daha kaliteli fonksiyonel gıdalar üretebilmenin yenilikçi bir yolu olarak geniş bir perspektiften görülmesi gerektiği ifade edilmektedir. Ekstrüzyon, işlem koşullarının uyarlanması; hidrasyon özelliklerini değiştirmek, gıda matrislerinin stabilitesini ve fonksiyonelliğini geliştirmek için oldukça iyi bir fırsat sunmaktadır. Ekstrüde unların işlevselliğinin geliştirilmesi ya da iyileştirilmesi, yenilikçi, glutensiz, yüksek miktarda lif ve fenolik içeriğine sahip, mineral bakımından zengin, düşük yağ içeriği ve düşük glisemik indekse sahip gıdaların geliştirilmesinde ve yaşam tarzı hastalıklarını ve özellikle tip 2 diyabeti yönetmek için fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde bir faaliyet alanı olarak; bu teknolojinin etkili bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmektedir. Ekstrüde unların, hidrokolloidlerin özelliklerini taklit ettiği ve bu nedenle “yeşil etiketli” sentetik hidrokolloidlere alternatif olarak da kullanılabileceği ifade edilmiştir. Atıştırılmalık ve fırıncılık endüstrisinde tüketicilerin değişen ihtiyaçlarına yönelik yenilikçi ürünlerin geliştirilmesinde bu bilgilerin faydalı olabileceği belirtilmektedir.

Ekstrüde materyallerin özellikleri, hem hammaddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine hem de işlem koşullarına bağlı olduğu için, farklı hammaddelerin yeni tekno-fonksiyonel un elde etme potansiyelini değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, farklı baklagil çeşitleri kullanılarak, farklı hammaddelerden modifiye edilmiş teknolojik işlemlere sahip un eldesinde; kullanılacak işlem koşullarının optimizasyonu ve bu işlem koşullarının ürünün fiziksel, kimyasal ve teknolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenecek olması; bu tez çalışmasının önemini ve özgün değerini oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının üretiminde kullanılacak ekstrüzyon işlem koşullarının optimize edilmesi ve optimum koşullarda üretilen ekstrüde unların buğday unu (%12.5 ve %25 oranlarında) ikamesi olarak ekmek üretiminde kullanılması ve ekmeklerin bazı kalite özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla bu tez çalışmasında; maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının, 135, 150 ve 165 °C sıcaklık ve 200, 250 ve 300 rpm vida hızı işlem koşulları altında ekstrüde edilmesiyle ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unları üretilmiştir. Elde edilen

ekstrüde unlarda bulunan fitik asit miktarı, çözünmeyen diyet lifi miktarı ve su absorplama indeksi analiz sonuçları değerlendirilerek optimum işlem koşulları tespit edilmiştir. Optimum koşullarda üretilen ekstrüde unların ve ham unların (ekstrüde edilmemiş un) fiziksel, kimyasal ve teknolojik özellikleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Optimum koşullarda üretilen ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı unları ve ekstrüde edilmemiş maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının, buğday unu ile ikame edilmesiyle üretilen ekmeklerin bazı kalite özellikleri belirlenmesi ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Baklagiller

Baklagiller; protein, karbonhidrat, vitamin ve mineral içerikleri bakımından oldukça zengin bir gıda grubunu oluşturmaktadır (Türksoy, 2018). Ayrıca, birçok fizyolojik ve metabolik süreçte önemli rol oynayan biyoaktif bileşenler bakımından da iyi bir kaynak olduğu ifade edilmektedir (Singh et al., 2017). Baklagiller, özellikle kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, potasyum gibi mineraller bakımından zengindir (Nikmaram et al., 2017). Krupa (2008), baklagillerin günlük diyetle dahil edilmesinin; plazma kolesterol seviyesini azaltmak, şeker hastalığı, koroner kalp hastalığı ve kanser gibi yaygın metabolik hastalıkları önlemek gibi birçok yararlı fizyolojik etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Protein, diyet lifi, vitamin (ağırlıklı olarak B vitamini) ve mineraller (Fe, Zn) bakımından zengin bir besin kaynağı olan baklagillerin; katma değerli ürünler elde etmek amacıyla, gıda endüstrisinde kullanılabileceği ve ekstrüzyon pişirme sonucu ortaya çıkan ve arzu edilen bazı etkilerinden faydalanılabileceği ifade edilmiştir (Ciudad-Mulero et al., 2020). Yenilebilir bitki tohumları, bazı esansiyel vitamin ve minerallerin yanı sıra sahip olduğu yüksek miktarda sağlıklı lipid, protein, karbonhidrat ve lif içeriğinden dolayı hem insan hem de hayvanlar için beslenme açısından değerli bileşenlerin önemli kaynaklarıdır (Nikmaram et al., 2017). Tüm yenilebilir bitki tohumları arasında baklagiller ve tahıllar, hayvansal kaynaklardan elde edilen proteinlere kıyasla çok daha ucuz oldukları için dünyanın birçok yerinde diyet proteinlerinin başlıca kaynaklarıdır (Nikmaram et al., 2017). Geçmişte, ekstrüde gıda ürünleri geliştirmek amacıyla yalnızca soya fasulyesi kullanılsa da son yıllarda ekstrüde gıdaların besin değerini iyileştirmek için diğer baklagillerin de ekstrüde gıdalara ilave edilmesini göz önüne alan çalışmaların sayısı artmıştır (Pasqualone et al., 2020). Ancak tüm bu olumlu özelliklerine rağmen baklagillerin yapısında bulunan antinutrisyonel bileşikler (örn; fitat, tanen, enzim inhibitörleri), protein, vitamin, mineral gibi bileşikler bağlayarak biyoyararlılığının azalmasına sebep olduğu için; baklagillerin gıda

üretiminde bir bileşen olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (Nikmaram et al., 2017).

Baklagillerin sahip olduğu besin bileşimi ve buna bağlı sağlık faydalarına rağmen baklagillerin yapısında bulunan bazı besleyici olmayan (antinutrisyonel) faktörlerin varlığı; baklagillerin gıda üretiminde bileşen olarak uygulamalarını sınırlandırmanın yanı sıra insanlarda sağlık ile ilişkili çok sayıda sonuçların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Antinutrisyonel faktörler (ANF), yenilebilir tohumların doğal yapısında bulunan ve tüketildiğinde; özellikle protein, vitamin ve mineralleri bağlayarak bu bileşiklerin insan vücudundaki besin yararlılığını etkileyen ve buna bağlı olarak da sindirim sistemindeki emilimini azaltan bileşiklerdir. Yenilebilir tohumlarda bol miktarda bulunan antinutrisyonel faktörlerden bazıları; fitat, fenolik bileşikler (örneğin; tanenler), lektin, enzim inhibitörleri (örneğin; tripsin inhibitörleri), saponinler ve oksalattır. Bu antinutrisyonel faktörlerin çoğu sindirim sistemi üzerinde etkilidir ve insan vücudundaki diğer metabolizma sistemlerini etkilemektedir. Bu tür antinutrisyonel faktörlerin olumsuz etkileri farklı işleme teknikleri kullanılarak ve bu bileşiklerin insan ve hayvan tüketiminden önce azaltılması veya uzaklaştırılması ile ortadan kaldırılabilir. Baklagil ve tahılların besinsel kalitesini iyileştirmek için; ısıtma işlemi, enzim uygulaması, ısıtma, filizlendirme (çimlendirme), ısıtma ve fermantasyon gibi geleneksel ön işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkta uzun süre pişirme işlemi; yenilebilir tohumlardaki protein, nişasta ve diğer değerli ısıya duyarlı bileşenlerde istenmeyen fizikokimyasal değişikliklere neden olabilmektedir (Nikmaram et al., 2017).

2.1.1. Maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.)

Maş fasulyesi, birçok Asya ülkesinde, Güney Avrupa'nın kurak bölgelerinde ve Kanada ile Amerika Birleşik Devletleri'nin daha sıcak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen, kısa bir büyüme döngüsüne sahip (70-90 gün) yazlık bir baklagildir (Yi-Shen et al., 2018). Taneleri yeşilimsi sarı veya kahverengi renklidir ve küresel bir şekle sahiptir (Dahiya et al., 2015). Haşlanarak, sebze veya et ile pişirilerek, tatlı olarak veya ekmek, kek gibi gıda ürünlerinin formülasyonlarına ilave edilerek; farklı şekillerde kullanılarak tüketilmektedir (Anwar et al., 2007). Maş fasulyesi önemli bir protein (%14.6-32.6), karbonhidrat

(%53.3-67.1) ve enerji (338-347 kcal/100g KM) kaynağı olmasının yanı sıra yağ (%0.71-1.85), diyet lifi (%3.8-6.15) ve kül (%0.17-5.87) içeriğine sahiptir (Dahiya et al., 2015). Maş fasulyesi proteini, lizin, lösin ve treonin açısından zengin, metionin, tirozin ve triptofan açısından nispeten düşüktür (Meng et al., 2019). Maş fasulyesinin, metiyonin açısından fakir olması ve az da olsa tripsin inhibitörü içermesi; protein etki oranını bir miktar azaltsa da bazı temel aminoasitler açısından zengin olması ve yüksek lizin içeriğine sahip olması nedeniyle (Taşkın, 2019); buğday unu-maş fasulyesi unu kombinasyonu ile unun protein içeriği ve kalitesi iyileştirilebileceği ve aminoasit dizilimi ve un temelli ürünlerin besin kalitesi arttırılabileceği ifade edilmiştir (Meng et al., 2019). Tang et al. (2014), maş fasulyesinin sahip olduğu yüksek protein içeriği ve sindirilebilirliği nedeniyle; maş fasulyesinin tahıllarla birlikte tüketilmesi, vejetaryen diyetin bir parçası olarak, protein alım kalitesini önemli derecede arttırmak için önerilmektedir (Yi-Shen et al., 2018). İyi bir sindirilebilirliğe ve düşük gaz yapma özelliği (flatülans) sahip bir baklagil olarak bilinen maş fasulyesinin; fosfor ve provitamin A açısından zengin ve besleyici olmayan faktörler bakımından nispeten yoksun olduğu belirtilmektedir (Anwar et al., 2007). Besinsel açıdan, maş fasulyesinin, nohuttan daha yüksek protein içeriği, soya fasulyesinden daha düşük yağ içeriği ve önemli miktarda demir içeriği ile iyi bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir (Dahiya et al., 2015). Maş fasulyesi proteinleri ve hidrolizatlarının, gıdalarda, farmasötiklerde, diğer ürünlerde ve proseslerde kullanılabilecek önemli besinsel, fonksiyonel ve biyoaktif potansiyele sahip bileşiklerin kaynakları olarak büyük umut vaat ettiği belirtilmiştir (Yi-Shen et al., 2018).

2.1.2. Bakla (*Vigna radiata* L.)

Bakla, Orta Doğu ve Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilmekte, Dünya'nın farklı bölgelerinde tarımı yapılmaktadır (Azaza et al., 2009). İri ve küçük taneli iki forma sahip olan baklanın; ülkemizde çoğunlukla Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde yetiştirildiği belirtilmektedir (Başdemir vd., 2020). Bakla, enerji, protein, folik asit, niasin, C vitamini, magnezyum, potasyum kaynağıdır (Macarulla et al., 2001). Bakla tohumlarının %26-34 protein, %2-4 ham yağ, %15-24 diyet lifi, %40-50 nişasta ve %2.1-2.3 sükroz içeriğine sahip

olduğu belirtilmiştir (Mlyneková et al., 2014). Bakla tohumlarının, tokoferoller de dahil olmak üzere, fenolik veya fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşikler açısından zengin bir kaynak olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, bakla tohumlarının antioksidan potansiyeli de çeşitli araştırmalarla doğrulanmıştır (Amarowicz and Shahidi, 2017). Bakla proteinlerinin bileşimindeki lizin içeriği yüksek olduğu için, tahıl proteinleri için yeterli bir tamamlayıcı oldukları ifade edilmektedir (Giménez et al., 2012).

Buğday ununa bakla unu ilavesinin, daha yüksek bir protein içeriği sağladığı ancak hamurun viskoelastik özelliklerini etkilediği ifade edilmiştir (Giménez et al., 2012). Bakla atıştırılabilir gıda endüstrisi için önemli bir potansiyele sahiptir. Al-Kaisey et al. (2000) baklanın, perhiz yemeklerinde kullanılabileceği veya özellikle çocuklar için proteince zengin ve ucuz yiyeceklerin hazırlanmasında tahılları desteklemek için bir katkı olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir (Chillo et al., 2008).

2.1.3. Kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medic.)

Mercimek dünyada üretilen beş büyük baklagil çeşidinden biri olmakla birlikte yıllık üretim miktarının yaklaşık 4.5 milyon ton olduğu ifade edilmiştir. Çoğunlukla Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Türkiye, Avustralya ve Hindistan'da üretildiği belirtilmiştir. Mercimek bitkileri genellikle sonbahar mevsiminde ekilmekte ve yaz mevsimi sonunda hasat edilmektedir (Chelladurai and Erkinbaev, 2020). Mercimek çeşitleri sarı, yeşil, kırmızı, kahverengi ve siyah olmak üzere çok çeşitli renklerden oluşmakta ancak dünya mercimek tüketiminin yaklaşık %80'i kırmızı mercimekten oluşmaktadır (Göncü and Çelik, 2020).

Mercimek, %4.4 protein, %1.8 yağ, %41-50.8 karbonhidrat, %21.4 lif, yüksek oranda diğer mineral besin maddeleri ve doymamış linoleik ve oleik asit içeren, insan beslenmesi için en önemli bitkisel ürünlerden biridir (Man and Păucean, 2013). Çok iyi bir protein kaynağı olmasının yanında düşük yağ içeriğine sahip olması nedeniyle tip 2 diyabet, koroner kalp hastalığı ve obezite riskini azaltmaya yardımcı olduğu ifade edilmiştir. Mercimek, fenolikler, karotenoidler ve tokoferoller gibi antioksidan özelliğe sahip fitokimyasallar için zengin bir kaynaktır (Zhang et al., 2014; Zhang et al., 2015). Bunlar arasında

fenoliklerin kanser hücrelerine karşı güçlü antioksidan, anti-inflamatuar ve anti-proliferatif aktivitelere sahip olduğu bildirilmiştir (Sun et al., 2013, Zhang et al., 2011). Mercimekte fenolik asitler (Amarowicz et al., 2009; Xu and Chang, 2009), stilbenler (Aguilera et al., 2010) ve flavonlar, flavonoller, flavanoller, proantosiyanidinler ve antosiyaninler de dahil olmak üzere çeşitli flavonoid (Amarowicz et al., 2010; Dueñas et al., 2002; Dueñas et al., 2003; Tsopmo and Muir, 2010) alt grupların da tanımlandığı ifade edilmiştir. Ayrıca, mercimek proteinleri yüksek lisin içeriğine sahip olduğu için, tahıl bazlı ürünlere dahil edildiğinde veya yeterli miktarda kükürt içeren amino asitler içeren tahıl proteinleriyle bir araya geldiğinde beslenme açısından gerekli olan miktarı da karşılayabilmektedir (Gómez et al., 2008). Yapılan çalışmalarda mercimek unu ve mercimek proteininin tek başına veya diğer baklagil proteinleriyle kombinasyon halinde tofu benzeri ürün, suni süt, köfte ve ekmek gibi ürünlere dahil edildiği belirtilmiştir (Jarpa-Parra, 2018).

2.2. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon pişirme, otomatik kontrollü, yüksek kapasiteli, sürekli çalışan, verimliliği yüksek, çok yönlü olması ile farklı ürünlere uyarlanabilen, enerji verimi yüksek ve maliyeti düşük bir işleme teknolojisi olması nedeniyle diğer işleme yöntemlerine kıyasla daha popüler bir hale gelmektedir. Yeni gıda ürünlerinin tasarımı ve geliştirilmesine olanak tanınması, yüksek ürün kalitesi, benzersiz ürün şekilleri ve özellikleri sağlaması, enerji tasarrufu sağlaması ve atık oluşumuna izin vermemesi de diğer olumlu özelliklerini oluşturmaktadır (Faraj et al., 2004).

Ekstrüzyon pişirme ile üretilen gıdalar; kahvaltılık gevrekler, bebek gıdaları, makarna ve makarna ürünleri, atıştırmalıklar, et ve peynir türevi ürünler (et veya peynir olmamasına karşın gıdaya et veya peynir kokusu ve tadı veren katkı maddesi), şekerleme ürünleri, sakız, modifiye nişasta, evcil hayvan gıdaları, hazır çorbalar, kuru içecek karışımları ve tekstrüre edilmiş sebze proteini gibi çok çeşitli gıda ürünlerinden oluşmaktadır (Alam et al., 2016). Ekstrüde gıdalar, tüketime hazır olma kolaylıkları, hoş görünümleri ve doku özellikleri ile tüketiciyi cezbetmektedir. Bunun yanında; modern yaşam tarzının ihtiyaçlarından biri olan

zaman kazanımı da sağladığı için; tüketime hazır ürünlere olan tüketici talebi gün geçtikçe artmaktadır (Pasqualone et al., 2020).

Ekstrüzyon pişirme işleminde kullanılan parametreler olan sıcaklık, vida hızı ve sisteme beslenecek içeriğin nem miktarı ekstrüzyon sonunda elde edilecek olan ekstrüde ürünün özellikleri üzerinde son derecede etkilidir (Pasqualone et al., 2020) Ekstrüzyon ile gıda materyali sıcaklık ve basınç altındaki mekanik kesme (kayma)'nin birlikte etkisiyle plastikleşmekte ve pişmektedir (Patil and Kaur, 2018). Ekstrüzyon işlemi esnasında, ham maddeler çeşitli yapısal, kimyasal ve besinsel dönüşümlere maruz kalmakta ve böylece hammaddelerin teknolojik özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir (Ye et al., 2018). Yapının değiştirilmesine, çözünürlüğün ve hidrasyon özelliklerinin iyileşmesine yardımcı olmaktadır (Alam et al., 2016). Beslenme açısından bakıldığında ise ekstrüzyon işlemi, antinutrisyonel faktörlerin azaltılması, nişastanın jelatinize olması, diyet lifi içeriğinin artması ve lipid oksidasyonunun azaltılması gibi yararlı etkiler sunmaktadır (Ciudad-Mulero et al., 2020). Aynı zamanda; bitki hücre duvarı bakımından zengin materyaller, çeşitli tahıl ve baklagillerin kepek ve kabukları gibi lifli materyallerin çözünür lif içeriğini de arttırmaktadır (Alam et al., 2016).

2.2.1. Ekstrüzyon işleminde baklagillerin kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

Ekstrüzyon pişirmenin hammaddelerini, iyi bir genleşme özelliğine sahip oldukları için çoğunlukla tahıllar oluşturmaktadır. Ekstrüde gıdaların, nişastadan enerji sağlamanın yanı sıra; diğer bileşenlerle zenginleştirilirse diğer besin maddelerinin taşıyıcıları olarak da işlev görebileceği ifade edilmektedir (Pasqualone et al., 2020). Tüm temel gıda maddeleri ekstrüzyonla elde edilemese de ekstrüde gıda ürünleri tüketiciler için çok daha caziptir, çünkü tohum bazlı gıdaların çok çeşitli bileşenleri ekstrüzyon yoluyla kullanılabilmekte ve değerlendirilebilmektedir (Nikmaram et al., 2017). Ekstrüde ürün dayanıklı olmasının yanı sıra, belirli bir yapıya ve ürün kabul edilebilirliğini arttıran uzun bir raf ömrüne sahiptir (Morales et al., 2015). Farklı botanik kaynaklardan elde edilen un ve nişastaların fonksiyonel özelliklerini etkili biçimde değiştirmek ve

besleyici özelliklerini iyileştirmek amacıyla ekstrüzyon işleminden faydalandığı belirtilmiştir (Ai et al., 2016).

Ekstrüzyon pişirme teknolojisi, genellikle granüler ya da toz formdaki tarımsal ürünleri tamamen pişmiş, düşük nemli, uzun raf ömrüne sahip gıda ürünlerine dönüştüren, yüksek sıcaklıkta kısa süreli uygulanan, çok yönlü ve modern bir gıda işleme ünitesidir (Ciudad-Mulero et al., 2020). Ekstrüzyon pişirme işleminde ayarlanacak başlıca parametreler; sıcaklık, vida hızı ve sisteme beslenecek içeriğin nem miktarıdır. Bu parametreler, ekstrüzyon sonunda elde edilecek olan ekstrüde ürünün özellikleri üzerinde son derecede etkilidir (Pasqualone et al., 2020).

Ekstrüzyon pişirme işleminde ayarlanacak başlıca parametreler; sıcaklık, vida hızı ve sisteme beslenecek içeriğin nem miktarıdır. Bu parametreler, ekstrüzyon sonunda elde edilecek olan ekstrüde ürünün özellikleri üzerinde son derecede etkilidir (Pasqualone et al., 2020). Ekstrüzyon ile gıda materyali sıcaklık ve basınç altındaki mekanik kesme (kayma)'nin birlikte etkisiyle plastikleşmekte ve pişmektedir (Patil and Kaur, 2018). Ekstrüzyon işlemi esnasında, ham maddeler çeşitli yapısal, kimyasal ve besinsel dönüşümlere maruz kalmakta ve böylece istenen ürünler elde edilmektedir (Ye et al., 2018). Yapının değiştirilmesine, çözünürlüğün, kabarma gücünün, su hidrasyon viskozitesinin ve su tutma kapasitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Alam et al., 2016). Beslenme açısından bakıldığında ise ekstrüzyon işlemi, antinutrisyonel faktörlerin yok edilmesi, nişastanın jelatinize olması, diyet lifi içeriğinin artması ve lipid oksidasyonunun azaltılması gibi yararlı etkiler sunmaktadır (Ciudad-Mulero et al., 2020). Aynı zamanda; bitki hücre duvarı bakımından zengin materyaller, çeşitli tahıl ve baklagillerin kepek ve kabukları gibi lifli materyallerin çözünür lif içeriğini de arttırmaktadır (Alam et al., 2016).

Günümüzde, yüksek basınçlı işleme, mikrodalga ve ekstrüzyon gibi diğer bazı teknikler, antinutrisyonel faktörlerin seviyelerini azaltmak için alternatif olarak uygulanmaktadır. Termal olmayan, minimum ısıtma veya yüksek sıcaklıkta kısa süreli pişirmeyi içeren bu işleme yöntemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla; daha önemli bir besin muhafazası sunmakta ve son ürünün besin kalitesinin

önemli ölçüde iyileşmesini sağlamaktadır (Nikmaram et al., 2017). Ekstrüzyon pişirme teknolojisinin, baklagillerde bulunan tanenler, fitik asit, tripsin inhibitörleri ve lektinler gibi bazı antinutrisyonel bileşiklerin seviyelerini düşürdüğü bilinmektedir. Ayrıca ekstrüzyonla pişirmenin, nişasta ve proteinlerin sindirilebilirliğini artırabildiği de ifade edilmiştir. Bu nedenle, ekstrüzyon pişirme yöntemi; baklagil eklenmiş tüketime hazır gıda üretmek için uygun bir yöntem olarak görülmektedir (Pasqualone et al., 2020).

İşlenmemiş ya da doğal unların gıda üretiminde kullanımı bazı kusurlar ortaya çıkarmaktadır. Doğal unlar, zayıf fonksiyonel özelliklere sahiptir, ki bu da onların bazı ürünler için kullanımını uygunsuz hale getirmekte ve çoğunlukla istenilen sonuçları elde etmek için bazı modifikasyonlar ya da diğer bileşen veya katkı maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal unlar; işlenmiş emsallerine kıyasla düşük su absorpsiyonu, düşük çözünübilirlik ve yüksek çirşlenme profiline sahip olarak nitelendirilmektedirler. Doğal unların fonksiyonel özellikleri herhangi bir kimyasal kullanmadan hidrotermal işlemlerle de geliştirilebilmektedir. Ekstrüzyon ile gıda materyali sıcaklık ve basınç altındaki mekanik kesmenin birlikte etkisiyle plastikleşmekte ve pişmektedir (Patil and Kaur, 2018). Bunun sonucunda; gıdanın fonksiyonel özelliklerini, besin ve fitokimyasal kompozisyonunu değiştiren kimyasal reaksiyonlar ve moleküler dönüşümler gerçekleşmektedir (Morales et al., 2015).

Ekstrüde materyallerin özellikleri, hammaddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olmasının yanı sıra işlem koşullarına da bağlıdır (Espinosa-Ramírez et al., 2021). Ekstrüde un eldesi ile ilişkili olarak literatürde bazı çalışmalar mevcuttur. Espinosa-Ramírez et al. (2021), nohut, mercimek, siyah fasulye, benekli fasulye, yulaf, sorgum, amarant, kinoa tam tane unlarının ekstrüzyon vasıtasıyla tekno-fonksiyonel özelliklere sahip un elde etme potansiyelini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; sabit vida hızında (140 rpm) 2 farklı sıcaklık (80, 100 °C) ve 2 farklı besleme nemi (%20, 40) koşulu ile çalışmış ve elde edilen ekstrüdatların öğütülmesi ile ekstrüde un elde edilmiştir. Ekstrüde unlarla; ekstrüde edilmemiş unlar karşılaştırıldığında; ekstrüzyon işlemi sonrasında protein, nişasta, kül ve çözünabilir diyet lifi miktarında önemli bir değişiklik gözlenmezken; yağ, toplam diyet lifi ve

çözünmeyen diyet lifi miktarında önemli bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca ekstrüzyon işlemi sonrasında unun hidrasyon özelliklerinin büyük oranda iyileştiği, yağ bağlama kapasitesi artarken, protein çözünürlüğü ve köpürme özelliklerinin önemli oranda azaldığı belirlenmiştir (Espinosa-Ramírez et al., 2021). Rathod and Annapure (2016), ekstrüzyon işleminin; ekstrüde mercimek ürünündeki tripsin inhibitörü, fitik asit, tanenler gibi besinsel olmayan faktörler (antinutrisyonel faktörler) üzerine etkilerinin yanı sıra bazı ekstrüzyon parametrelerinin in vitro protein ve nişasta sindirilebilirliği üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada 3 farklı nem (%14, 18, 22), 3 farklı sıcaklık (140, 160, 180 °C) ve 3 farklı vida hızı koşulu (150, 200, 250 rpm) kullanmışlardır. Ekstrüzyonun, fitik asit, kondense tanen ve tripsin inhibitörü miktarını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiş, ekstrüzyon sıcaklığının 140 °C'den 180 °C'ye yükselmesinin; fitik asidi ve taneni % 99'a kadar azaltabilmesi ile; besleyici olmayan bileşiklerde %93'ten fazla bir azalma sağladığı belirlenmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığı ve besleme neminin artması ile; protein (%89'a kadar) ve nişasta (%96'ya kadar) sindirilebilirliğinin de arttığı belirlenmiştir (Rathod and Annapure., 2016). Youvchev et al. (2017), bazı ekstrüzyon parametrelerinin nohut ve arpa ekstrüdatlarının özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; çıkış sıcaklığı ve besleme nemi arasındaki etkileşimin, ürün özelliklerini en çok etkileyen faktörler olduğunu belirlemiştir. Hem nohut hem de arpa ekstrüdatları için; sertlik arttıkça yığın yoğunluğunun arttığı ve genleşme oranının azaldığı, yığın yoğunluğu arttıkça ise genleşme oranının azaldığı belirlenmiştir.

Diez-Sánchez et al. (2019), kuş üzümlü muffin kek üretiminde teknolojik fonksiyonel bileşen olarak ekstrüde un kullanımını araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; buğday ununu farklı sıcaklıklarda (50, 80, 110, 150 °C) ekstrüde ettikten sonra; her bir sıcaklık değeri için %50 buğday unu, %50 ekstrüde buğday unu kullanarak farklı formülasyonlarda muffin kekler üretmiştir. 50 °C'de ekstrüde edilmiş unun su bağlama kapasitesi kontrol örneği ile aynı iken, diğer sıcaklıklarda ekstrüde edilen unların su bağlama kapasitelerinin arttığı belirlenmiştir. Muffin keklerin dokusal özellikleri arasında, duysal özellikleri (görünüş, tekstür, lezzet, genel kabul edilebilirlik) arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark belirlenmemiştir ($p < 0.01$). In vitro sindirilebilirlik özellikleri

karşılaştırıldığında; daha yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarında glikoz salınımında artış görülse de tüm formülasyonların kontrol ile benzer glikoz salınımına sahip olduğu belirlenmiştir (Diez-Sánchez et al., 2019).

Pasqualone et al. (2021), daha hafif ve daha şiddetli olmak üzere iki farklı ekstrüzyon-piştirme koşullarının, mercimek ununun (*Lens culinaris* Medik.) nişasta jelatinizasyonu, hamurun reolojik özellikleri ve tekno-fonksiyonel parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 100 °C çıkış sıcaklığı ve 220 rpm vida hızı, 115 °C çıkış sıcaklığı ve 230 rpm vida hızı koşulları ile endüstriyel ölçekte çalışmışlardır. Ekstrüzyon piştirme ile; tekno-fonksiyonel özelliklerin iyileştiği (su absorplama kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi artmış, yağın yoğunluğu azalmış) belirlenmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile protein, lipit, kül, toplam diyet lifi miktarı azalırken, karbonhidrat miktarının arttığı belirlenmiştir. Ekstrüde un hamurlarının reolojik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Pasqualone et al., 2021).

Meng et al. (2019), ekstrüde maş fasulyesi unu ile zenginleştirilmiş hamurların reolojisi ve mikroyapısını araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada; buğday unu ile %20 oranında ekstrüde maş fasulyesi ununu ikame etmiş ve ekstrüzyon koşulları olarak; %24 ve 28 besleme nemi, 200, 250 ve 300 rpm vida hızları olarak belirlemiştir. Ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesinin, su absorplama kapasitesini ve yumuşama derecesini önemli derecede arttırdığı, hamur stabilitesini azalttığı belirlenmiştir. Hamurun mikro yapısı incelendiğinde; ekstrüde maş fasulyesi-buğday unu karışım hamurunda nişasta granülleri arasında çapraz bağlanma ile ağ yapısı oluştuğu belirlenmiştir (Meng et al., 2019).

Huang et al. (2021), yağ uzaklaştırma ve ekstrüzyon işleminin kinoa ununun fizikokimyasal ve depolama özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada; 30 kg/h besleme debisi, 300 rpm vida hızı, 80, 140, 150, 160, 170–180 °C, sıcaklık profili uygulayarak ekstrüzyon işlemini gerçekleştirmiştir. Yağ uzaklaştırma işleminin hidrasyon, mikroyapı, çirilenme ve reolojik özellikleri etkilemediği, ekstrüzyon işleminin ise; kimyasal bileşim üzerinde hafif etkisinin olduğu, bununla birlikte parlaklığın azaldığı, sarılığın, su absorplama indeksinin, suda çözünürlük indeksinin ve kabarma gücünün arttığı belirlenmiştir.

Ekstrüde unun, nişastanın tamamen jelatinize olmasına bağlı olarak; daha pürüzsüz bir yüzey mikroyapısı gösterdiği, en düşük çirşlenme sıcaklığına sahip olduğu ve viskozitesinin azaldığı belirlenmiştir (Huang et al., 2021).

Otondi et al. (2020), ekstrüde tapyoka-çiya tohumu hazır (instant) ununun fizikokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada tapyoka unu ile %0, 20, 40 ve 60 oranlarında çiya tohumu unu ikame edilmiştir. Vida hızı 100rpm, besleme nemi %10, 15, 20, ekstrüderin sıcaklık profili 50, 150, 250 °C olacak şekilde belirlenmiştir. Çiya unu ikame oranı arttıkça, ekstrüdatın yığın yoğunluğunun ve su absorplama indeksi değerlerinin arttığı, suda çözünabilirlik indeksi değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çiya unu ikame oranı arttıkça, nem, kül, protein ve yağ oranının da arttığı belirlenmiştir. Ekstrüzyon proses parametrelerinin (besleme nemi ve ikame seviyeleri), elde edilen hazır unların hem besleyici hem de fonksiyonel özelliklerini etkilediği ifade edilmiştir (Otondi et al., 2020).

Ghumman et al. (2016), ekstrüzyon sıcaklığının ve besleme neminin, mercimek ve “horsegram”ın (Hindistan’da yaygın olarak yetiştirilen bir baklagil) fonksiyonel özellikleri ve çirşlenme özellikleri üzerine etkilerini değerlendirmek ve elde edilen ekstrüdatın özelliklerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; 100, 125 ve 150 °C’lik sıcaklık ve %15, 20 ve 25 besleme nem miktarı koşullarında ekstrüzyon gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığının artması ve besleme neminin azalması ile her iki ekstrüdatın genişleme oranı ve aydınlık derecesinin (L^*) arttığı belirlenmiştir. Besleme neminin artması ile birlikte ise yağ absorplama kapasitesi artarken hem ekstrüzyon sıcaklığı hem de besleme neminin artması ile su absorplama kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Besleme neminin artması ve ekstrüzyon sıcaklığının azalması ile; her iki ekstrüdatın köpük kapasitesi artarken, viskozite ve in vitro protein sindirilebilirliğinin azaldığı belirlenmiştir (Ghumman et al., 2016).

Frohlich et al. (2014), kabuğu ayrılmış bezelye, kırık bezelye, kırmızı mercimek, yeşil mercimek ve nohutun ekstrüzyon özelliklerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; karşılaştırmak amacıyla, ticari olarak üretilmiş sarı mısır unu (ruşeym ve kepek kısmı ayrılmış) ve tam buğday unu kullanmıştır.

Farklı oranlarda kırık sarı bezelye unu (%5, 10, 15, 20) ve farklı partikül boyutlarına sahip bezelye kabuğu lifi (455, 315, 278, 180 μm) kullanılarak üretilen atıştırmalıkların ekstrüzyon parametreleri sabit tutularak ticari mısır unu ile üretilen atıştırmalıklar ile karşılaştırma yapılmıştır. İşlem parametrelerinin yanı sıra baklagil ununun içeriği, rafinasyon derecesi ve partikül boyutu ile baklagil türünün de ekstrüdatların genleşme performansını etkilediği ifade edilmiştir. Kabuk ayırmanın, lif ve mineral içeriğini azaltırken; ekstrüzyon boyunca genleşmeyi iyileştirdiği belirlenmiştir. Mercimek ve nohut unları ile kıyaslandığında; bezelye ununun mısır unu ile benzer genleşme oranı ve yığın yoğunluğu değerlerine ulaştığı; bunun nedeninin de diğer baklagillere kıyasla nişasta miktarının düşük ve yağ içeriğinin yüksek olmasından ileri geldiği ifade edilmiştir. Lif ilave oranı arttıkça ve partikül boyutu azaldıkça; ekstrüde ürünün daha az genişleme gösterdiği ve daha koyu bir renge sahip olduğu tespit edilmiştir. Partikül boyutuna bakılmaksızın; düşük ilave oranlarında daha yüksek genişleme oranları elde edilmiş, üretilen atıştırmalıkların yığın yoğunluğu değerlerinin, lif ilave oranından etkilenirken; lif partikül boyutundan etkilenmediği belirlenmiştir (Frohlich et al., 2014).

Ciudad-Mulero et al. (2020), ekstrüzyon işleminin; kırmızı mercimek ununun maya ile zenginleştirilmiş farklı formülasyonlarında bulunan fitokimyasallar ve besleyici olmayan faktörler üzerine etkilerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; 140 ve 160 °C çıkış sıcaklığı, 500 rpm vida hızı ve %17 besleme nemi koşulları kullanılmıştır. Ekstrüzyon işlemi ile, tüm örneklerin toplam α -galaktosid (rafinoz, stakiyoz, verbaskoz) içeriğinde %85'e kadar önemli bir artış sağlanmıştır. Ekstrüzyon işleminin; inositol hekza fosfat (IP6) olarak da bilinen ve mineralleri bağlayarak biyoyararlılığını engellediği bilinen fitik asidin miktarını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca ekstrüzyon işlemi ile tripsin inhibitör aktivitesi ve lektin içeriğinde de %90'dan fazla bir azalma sağlanmış, ekstrüzyonun; istenen prebiyotik bileşikleri artırarak ve besleyici olmayan faktörleri azaltarak faydalı bir etki gösterdiği belirtilmiştir (Ciudad-Mulero et al., 2020).

Ai et al. (2016), ekstrüzyon işleminin, dört farklı fasulye çeşidinden elde edilen fasulye unlarının kimyasal bileşimi ve fonksiyonel özellikleri üzerine

etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; ekstrüzyon işleminin fasulye unlarının protein ve nişasta içeriklerini önemli ölçüde değiştirmediği, ancak ekstrüzyon işleminin nişastanın tamamen jelatinleşmesine ve protein denatürasyonuna neden olduğu ve böylece irişlenme özelliklerini ve çözücü tutma kapasitelerini değiştirdiğini belirlemiştir. Ayrıca; ekstrüde edilmemiş ve ekstrüde edilmiş fasulye unlarının nişasta sindirilebilirliklerinin benzer olduğu ifade edilmiştir (Ai et al., 2016). Saadat et al. (2020), farklı çeşit ekstrüde baklagil unu karışımı içeren protein açısından zengin bir bar geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; un hammaddesi olarak nohut, maş fasulyesi, siyah mercimek, soya fasulyesi kullanmıştır. Farklı baklagil karışımları ilavesinin, barın besleyici değerini önemli ölçüde arttırdığı ve daha iyi bir protein sindirilebilirliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Kompozit un oranı arttıa, barın sertliğinin arttığı, yüksek kompozit unu oranlarında (%60, 75, 100) ise gevrek ve ufalanabilir bir yapı gösterdiği ve önemli derecede tatlı, tereyağı ve fasulye aromasına sahip olduğu belirlenmiştir (Saadat et al., 2020). Morales et al. (2015), atıştırmalık bir ürün üretimi için mercimek unu kullandıkları bir çalışmada; ekstrüzyon işleminin çözünmeyen lif miktarını azaltırken çözünebilir lif miktarını arttırdığını ve tokoferol içeriğinin azalttığını belirlemiştir. Yağcı et al. (2020), nohut temelli atıştırmalık üretimi amacıyla yaptıkları çalışmada; ekstrüdatın fiziksel özelliklerinin ekstrüzyon parametrelerinden önemli derecede etkilenirken; dokusal özelliklerin büyük oranda sıcaklık ve vida hızındaki değişikliklerden etkilendiğini belirlemiştir. Ekstrüzyon sonrasında nişasta ve protein sindirilebilirliği önemli derecede artarken; besleyici olmayan faktörlerin (tanen, fitik asit, tripsin inhibitörü aktivitesi, toplam diyet lifi içeriği) nemli derece azaldığı, ayrıca ekstrüde olmayan karışıma kıyasla ekstrüdatın çözünebilir lif içeriğinin de arttığı belirlenmiştir (Yağcı et al., 2020).

Ekstrüzyon pişirme işleminde ayarlanacak başlıca parametreler; sıcaklık, vida hızı ve beslenen içeriğin nem miktarıdır. Proses parametrelerinin yanı sıra; baklagil ununun rafinasyon derecesi ve partikül boyutu ile baklagilin türü de ekstrüdatın genişleme performansı üzerinde etkilidir. Baklagillerin kabuk kısmının uzaklaştırılması; lif ve mineral içeriğini azaltsa da ekstrüzyon boyunca genleşme performansını olumlu etkilemektedir. Nişasta bazlı ekstrüde ürünlere eklenen; protein ve lif içeriği ile bunların yığın yoğunluğu arasında da doğrudan

bir korelasyon bildirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile; nişasta sindirilebilirliği (işlem koşullarına bağlı olarak) %90'a kadar yükseltilmektedir; bu da nişasta jelatinizasyonunu arttırmaktadır. Ayrıca ekstrüzyon işlemi, amiloz ve özellikle amilopektin moleküllerinin yapıdan ayrılmasına neden olarak; daha küçük ve daha sindirilebilir kısımların, yani dekstrinler ve indirgen şekerlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır. Proteinlerin sindirilebilirliği de ekstrüzyonla pişirme ile genellikle artmaktadır. Baklagillerde bulunan; tripsin inhibitörleri, lektinler, tanenler ve fitatlar gibi bazı besleyici olmayan faktörlerin de ekstrüzyon işlemi ile büyük oranda azaltılabildiği belirlenmiştir (Pasqualone et al., 2020).

Baklagil kullanılarak ekstrüde ürün üretimi ile ilgili bazı çalışmalar mevcut olsa da ekstrüzyon işleminin baklagil unlarının fiziksel, kimyasal ve teknolojik özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmaların az sayıda olduğu yapılan literatür araştırmalarında gözlenmiştir. Son zamanlarda; yenilikçi ve daha sağlıklı gıdalara olan ilginin artması nedeniyle; tam taneli baklagillerin kullanılmasına yönelik artan bir ilgi gözlenmektedir. Ancak, besleyici bileşenler açısından zengin olması, glutensiz bir hammadde olması, fitokimyasallar açısından zengin olması gibi olumlu özelliklerin yanı sıra işlenmemiş (ham) unlar bazı olumsuz etkilere sebep olabilecek özelliklere de sahiptir. Ham unların fonksiyonel özelliklerinin zayıf olması, bu unların bazı ürünlerin üretiminde kullanılabilirliğini kısıtlamakta ve bu nedenle genellikle bazı modifikasyonlara ihtiyaç duyulmakta veya diğer katkı maddeleri ya da bileşenlerle zenginleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Martinez et al., 2015). Ham unlar düşük su absorpsiyonu, düşük çözünürlük ve yüksek çirilenme profili özellikleri göstermektedir. Ham unların fonksiyonel özelliklerinin herhangi bir kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmaksızın ekstrüzyon gibi hidrotermal işlemlerle iyileştirilebileceği belirtilmektedir (Patil and Kaur, 2018). Ekstrüde unların sahip olduğu olumlu özelliklerin; lif, mineral ve fenolik bileşikler açısından zengin, düşük yağ ve glisemik indekse sahip yenilikçi glutensiz ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabileceği ve özellikle tip 2 diyabet gibi yaşam tarzı rahatsızlıklarının düzenlenmesi için fonksiyonel gıdalar sunabileceği ifade edilmiştir (Patil and Kaur, 2018).

2.3. Ekmek

Ekmek, tarih boyunca insanoğlunun en çok ürettiği ve tükettiği gıda ürünü olmuştur (Paraskevopoulou et al., 2010). Ekmek üretiminin en eski gıda üretim teknolojilerinden biri olduğu bilinmektedir (Datta and Mondal, 2008). Ekmek; nişasta, proteinler, diyet lifi, lipidler, vitaminler ve mineraller gibi beslenme açısından önemli bileşenleri içerdiği için; insan beslenmesi açısından önemli bir gıda ürünüdür (Paraskevopoulou et al., 2012). Ekmek üretiminde hammadde olarak kullanılan unun ve buna bağlı olarak buğdayın özellikleri ekmeğin kalitesi üzerinde etkilidir. Kullanılan unun kalitesi, doğrudan ekmek kalitesi üzerinde etkilidir. Normal bir buğday ekmeğinin bileşimi yaklaşık %37 su, %8.7 protein, %50.5 karbonhidrat, %3.2 yağ, %2.0 kül'den meydana gelmektedir. Ekmek, nişasta oranı yüksek bir gıda maddesidir. Bu sebeple, önemli bir kalori veya enerji kaynağıdır (Tuluk, 2017).

Ekmek, insan gıdası olarak tüketilen gıda ürünlerinin başlıcalarından bir tanesidir. Tüm insanlığın ortak yiyeceği olması, kültürel etmenler ve yaşam tarzındaki farklılıklar gibi faktörlerin yanı sıra insanların gıda konusunda daha bilinçli hale gelmesi ve beklentilerinin artması gibi birçok faktör de insanların beslenme şekillerinin de farklı olmasına neden olmaktadır. Dünya üzerinde birçok farklı ekmek çeşidi mevcuttur (Tuluk, 2017). Ekmek, dünya üzerinde çok farklı yöntemlere göre üretilbildiği için, çeşitli hammadde ve içerikler; ekmek formülasyonuna dahil edilebilmektedir (Giannou et al., 2003). Ülkemizde yaygın olarak buğday unu ile üretilse de dünya üzerinde ekmek üretiminde birçok farklı çeşit mevcuttur. Beslenme alışkanlıklarımıza uygun, nötr tat ve aromaya sahip, doyurucu özellikte, ucuz ve kolay ulaşılabilir bir gıda ürünü olmasının yanında her gıdanın yanında tüketilebilmesi nedeniyle; ekmek yalnızca ülkemizde değil tüm dünyada en çok tüketilen gıda maddesidir (Tuluk, 2017).

Günümüzde fırın ürünlerine; tüketici ihtiyacına bağlı olarak sağlığa yararlı gıda maddeleri ile zenginleştirilmesi ile; bu ürünlere olan tüketici ilgisi de artış göstermiştir (Sajdakowska et al., 2019). Tüketicilerin bu talepleri doğrultusunda katkı maddeleri yerine; ekmeğin doğal bileşenlerle zenginleştirilmesi amaç edinilmiştir. Buğday dışında farklı hububat ve baklagiller de zenginleştirme amacıyla ekmek formülasyonuna dahil edilmekte ve daha besleyici ve daha uzun

raf ömrüne sahip ürünler elde edilebilmektedir (Tuluk, 2017). Ekmek üretiminde yer alan temel bileşenler un, su, ekmek mayası veya diğer kabartıcılar ve tuz olsa da genellikle besin değeri yüksek olan özel ve yeni ekmekler üretmek için; tercihe göre farklı bileşenler eklenebilmektedir (Dewettinck et al., 2008).

Baklagiller besin bileşenleri bakımından zengin oldukları için fırıncılık ürünlerinin zenginleştirilmesinde kullanılan gıda maddelerinden biridir (Paraskevopoulou et al., 2010). Baklagillerin sahip olduğu yüksek diyet lifi içeriği, iz elementler, gluten olmayan proteinler ve bazı kimyasal bileşenlerden dolayı baklagiller, temel gıda ürünlerinin üretilmesinde ve uygulamalarında büyük ilgi gören gıda maddeleridir. Bu nedenle, temel gıda ürünlerinin üretilmesinde buğday ununa baklagil unlarının eklenmesinin bir trend haline geldiği ifade edilmiştir (Meng et al., 2019). Dünya’da giderek artan nüfusa bağlı olarak; bireylerin protein ihtiyacının karşılanması yönündeki artan talep nedeniyle, ekmeğin protein bakımından zenginleştirilmesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Paraskevopoulou et al., 2012). Ancak proteinin yanında sağlık açısından önemli olan diğer bir besin bileşeni olan diyet lifi ve diyet lifi içeriği yüksek gıda maddeleri de önemli bir pazar payına sahiptir (Prückler et al., 2014).

Günümüzde tüketiciler, bir gıdanın tüketilmesinde sağlık açısından faydalarını dikkate alma eğiliminde olsa da o gıdanın kalite özelliklerine de önem vermektedirler. Ekmeğin zenginleştirilmesi amacıyla farklı bileşenlerin ekmek formülasyonuna ilave edilmesi, beslenme ve sağlık açısından ekmeği daha değerli hale getirirse de kalite özelliklerinde kayıplara da neden olabilmektedir. Bu nedenle, bir gıda ürününü üretirken; sağlık ve beslenme açısından daha faydalı hale getirmenin yanında ürün kalitesinin korunması veya geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar da önem kazanmıştır. Ekmek, insanoğlu tarafından en çok tüketilen gıdaların başında yer aldığı için; üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve ekmeğin zenginleştirilmesi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur.

İşlenmemiş ya da doğal un kullanımı bazı kusurlar ortaya çıkarmaktadır. Doğal unlar, zayıf fonksiyonel özelliklere sahiptir, ki bu da onların bazı ürünler için kullanımını uygunsuz hale getirmekte ve çoğunlukla istenilen sonuçları elde etmek için bazı modifikasyonlar ya da diğer bileşen veya katkı maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal unlar; işlenmiş olanlara kıyasla düşük su

absorpsiyonu, düşük çözünübilirlik ve yüksek çirilenme profiline sahip olarak nitelendirilmektedirler. Doğal unların fonksiyonel özellikleri herhangi bir kimyasal kullanmadan hidrotermal işlemlerle de geliştirilebilmektedir. (Patil and Kaur, 2018). Bunun sonucunda; gıdanın fonksiyonel özelliklerini, besin ve fitokimyasal kompozisyonunu değiştiren kimyasal reaksiyonlar ve moleküler dönüşümler gerçekleşmektedir (Morales et al., 2015). Ekstrüzyon işlemi ile unların işlevselliğinin geliştirilmesi ya da iyileştirilmesi, yenilikçi, glutensiz, yüksek miktarda lif ve fenolik içeriğine sahip, mineral bakımından zengin, düşük yağ içeriği ve düşük glisemik indekse sahip gıdaların geliştirilmesinde ve yaşam tarzı hastalıklarını ve özellikle tip 2 diyabeti yönetmek için fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde bir faaliyet alanı olarak; ekstrüzyon teknolojisinin etkili bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmiştir (Patil and Kaur, 2018). Ekstrüzyon pişirme teknolojisinin, baklagillerde bulunan tanenler, fitik asit, tripsin inhibitörleri ve lektinler gibi bazı antinutrisyonel faktörlerin seviyelerini düşürdüğü bilinmektedir. Ayrıca ekstrüzyonla pişirme işlemi, nişasta ve proteinlerin sindirilebilirliğini arttırabildiği için; ekstrüzyon pişirme yöntemi baklagil ile zenginleştirilmiş tüketime hazır gıdaların üretilmesinde uygun bir yöntem olarak görülmektedir (Pasqualone et al., 2020).

Ekstrüde unlar, glutensiz fırıncılık ürünlerinde buğday unu hamuru viskoelastisitesini taklit eden bir özelliğe sahip olduğu için, hidrokolloidlere farklı bir alternatif olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Patil and Kaur, 2018). Jafari et al. (2018a), ekstrüzyon pişirmenin etkilerini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada; ekstrüde edilmiş (%10 besleme nemi ve 160 °C kalıp sıcaklığında) ve ekstrüde edilmemiş sorgum unları, buğday unu ile %10 oranında ayrı ayrı ikame edilmiş ve ekmek kalitesini geliştirmek amacıyla ksantan gam kullanılmıştır. Ekstrüde edilmemiş sorgum unu ikameli hamurdan farklı olarak, ekstrüde edilmiş sorgum unu ikameli hamur karışımına ksantan gamı eklenmesinin hamur direncini azalttığı belirlenmiştir. Ekstrüde sorgum unu ve ksantan gamı ilavesinin ekmek içi sertliğini arttırdığı belirlenmiştir. Ekstrüde edilmemiş ve ekstrüde sorgum unu içeren her iki ekmekte ksantan gamı kullanılmasının, spesifik hacmi önemli ölçüde azalttığı ve ekmek içi sertliğini arttırdığı belirlenmiştir (Jafari et al., 2018a). Jafari et al. (2018b), besleme nemi ve kalıp sıcaklığının, ekstrüde sorgum–buğday unu kompozit hamuru ve ekmeği üzerindeki etkilerini

değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; ekstrüde sorgum unu (110 ve 160 °C kalıp sıcaklığı, %10, 14 ve 18 besleme nemi koşullarında) ikamesinin, buğday ekmeğinin duysal özelliklerini iyileştirdiği ancak, ekmekte homojen olmayan bir yapıya sebep olduğu, ekmek içi sertliğini arttırdığı ve spesifik hacimde azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, ekstrüde sorgum unu ilavesinin, sorgum–buğday unu kompozit hamurunun su kaldırma kapasitesini arttırdığı ancak gelişme süresi ve stabilite değerini azalttığı belirlenmiştir (Jafari et al., 2018b).



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında üretilmesi planlanan ekstrüde unların üretimi Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon işlem koşulları, ekstrüderin çalışma aralıkları ve çalışma sınırları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Ön denemelerde %18, 20, 22 ve 24 nem koşullarında ekstrüzyon işlemi uygulanarak ekstrüdat üretilmiştir. %22 ve %24 nem koşullarında üretilen ekstrüdatların öğütülmesi zor olduğu için %18 ve %20 nem koşullarında üretilen ekstrüdatlar öğütülerek un haline getirilmiş ve ön denemelerin sonraki analizleri için kullanılmıştır. Ekstrüzyonda uygulanan nem miktarının artması ile un rengi koyuluğunun arttığını ve un renginin daha sarı bir görünüme ulaştığı belirlenmiştir. Ham madde renginde en az renk değişikliğinin meydana geldiği besleme nemi değerinin %18 olduğu belirlenmiş ve bu nedenle esas denemelerde bu nem değerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun yanında, son ürünlerdeki düşük nem miktarı ürünün raf ömrü açısından önemli bir kriter olduğu için ön denemeler arasında en düşük besleme nem değeri olan %18'in esas denemelerde kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan ön deneme çalışmaları ile esas denemelerde kullanılacak ekstrüzyon işlem koşulları olarak besleme neminin %18, besleme hızının 10kg/h, ekstrüzyon sıcaklığının 135-150-165 °C, vida hızının ise 200-250-300 rpm olmasına karar verilmiştir.

3.1. Gereç

Bu tez çalışmasında ekstrüde un üretiminde hammadde olarak; maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.) unu, bakla unu (*Vicia faba* L.) ve kırmızı mercimek (*Lens culinaris* Medic.) unu kullanılmıştır. Maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu Değirmen Un ve Bakliyat Tic.'den (İzmir, Türkiye), ekmek üretimlerinde kullanılan buğday unu Söke Un A.Ş.'den (Aydın, Türkiye) temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Ekstrüde un üretimi ve optimizasyon

Ekstrüde un üretimi için Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde bulunan bilgisayar kontrollü laboratuvar ölçekli bir çift vidalı ekstrüder (Feza Makine Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır. Ekstrüderin, kovan çapı 25 mm ve kovan uzunluğunun kovan çapına oranı (L:D) 25:1'dir. Ekstrüder 4 kovan bölgesine sahiptir. Ekstrüderin dört kovan bölgesi vardır: ilk bölgenin sıcaklığı 60°C; 2. bölgenin sıcaklığı 100°C; 3. bölge sıcaklığı 130°C'de sabit tutulmuştur. 4. Bölge sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı ise deney tasarımına göre 135°C, 150°C ve 165°C olarak değiştirilmiştir. Vida hızı da deney tasarımına göre 200 rpm, 250 rpm ve 300 rpm olarak değiştirilmiştir. Hammaddeler, ekstrüdere %18 nem içeriğinde ve 10 kg/h besleme debisi ile beslenmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile elde edilen ekstrüdatlar oda sıcaklığında 1 saat soğutulduktan sonra ekstrüde un eldesi için; çekiçli değirmen (Falling Number AB, Type 121, İsveç) kullanılarak öğütülmüş ve sonraki analizler için polietilen torbalarda depolanmıştır.

Ekstrüde baklagil unlarının üretiminde; sıcaklık (A) ve vida hızı (B) olmak üzere iki bağımsız değişkenin; su absorplama indeksi (g/g), fitik asit (mg/100g) ve çözünmeyen diyet lifi (%) bağımlı değişkenlerin üzerindeki etkisini incelemek için yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) merkezi bütünleşik tasarım (Central Composite Design) ile oluşturulmuştur. Ekstrüde un üretiminde uygulanan deneme planı, Design Expert (Version 12.0) programı ile belirlenmiştir. Deneysel tasarım için kullanılacak bağımsız değişkenler, varyasyon seviyeleri ve yanıt değişkenleri ve Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unu üretimindeki deney tasarımının bağımsız değişkenleri ve varyasyon seviyeleri.

Bağımsız değişken	Faktör	Sembol	Değişken seviyeleri		
			-1	0	+1
Sıcaklık (°C)	X ₁	A	135	150	165
Vida hızı (rpm)	X ₂	B	200	250	300

Çizelge 3.2 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım (Central Composite Design) deneme planı (5 merkez noktalı 13 deney).

Deneme sırası	Sıcaklık (°C) X ₁	Vida hızı (rpm) X ₂	Su absorplama indeksi (g/g)	Fitik asit (mg/100g)	Çözünmeyen diyet lifi (%)
1	135 (-1)	200 (-1)			
2	135 (-1)	250 (0)			
3	135 (-1)	300 (+1)			
4	150 (0)	200 (-1)			
5	150 (0)	250 (0)			
6	150 (0)	250 (0)			
7	150 (0)	250 (0)			
8	150 (0)	250 (0)			
9	150 (0)	250 (0)			
10	150 (0)	300 (+1)			
11	165 (+1)	200 (-1)			
12	165 (+1)	250 (0)			
13	165 (+1)	300 (+1)			

Merkezi bütünleşik tasarım deneme planına göre ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu ve ekstrüde kırmızı mercimek unu üretimi için 5'i merkez noktada olmak üzere toplam 13 deneme gerçekleştirilmiştir. Optimum işlem koşullarının belirlenmesi; fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi içeriğinin minimize edilmesi ve suda çözünürlük indeksinin maksimize edilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon ile elde edilen matematiksel model için regresyon katsayısı (R^2), tahminleme regresyon katsayısı ($Pred-R^2$) ve düzeltilmiş regresyon katsayısı ($Adj-R^2$) değerlendirilmiştir. Modellerin matematiksel uyumunun belirlenmesinde uyum eksikliği “lack of fit” değeri ve regresyon katsayısı göz önünde bulundurulmuştur. Regresyon katsayısının maksimum, uyum eksikliği değerinin minimum olduğu modeller değerlendirilmiştir. Matematiksel modelde yer alan yanıt terimlerinin önemi varyans analizi ile değerlendirilmiş ve optimum nokta belirlenmiştir. Belirlenen optimum noktada her bir hammadde için tekrar üretimleri yapılmış ve doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Ekstrüde un özelliklerinin belirlenmesi

Elde edilen ekstrüdatlar laboratuvar tipi kuru öğütücü (Falling Number AB, Type 121, İsveç) ile öğütüldükten sonra, 250 μm 'lik elek (Prüfsieb Jel, JEL J. ENGELSMANN AG, Ludwigshafen/Rhein, Almanya) kullanılarak elenmiş ve 250 μm 'lik elek altına geçen kısım fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmıştır.

3.2.2.1. Su absorplama indeksi

Su absorplama indeksi değeri Anderson et al. (1969)'a göre belirlenmiştir. 2.5 g örnek üzerine 30 °C'de 30 ml distile su ilave edilerek süspansiyon haline getirilen örnekler 30 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra 3000 g'de 10 dakika santrifüj işleminden sonra üst faz (süpernatant) uzaklaştırılmış ve santrifüj tüpünde kalan jel kısmının ağırlığı kaydedilmiştir.

Su absorplama indeksi değeri; aşağıda verilen 1 numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\text{WAI (g/g kuru madde)} = \text{Jel ağırlığı} / \text{Örnek ağırlığı} \quad (1)$$

3.2.2.2. Fitik asit

0.06 gram örnek tartılarak 10 ml 0.2 N HCl ile 1 saat çalkalayıcıda çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Bu ekstraktan kuru ve temiz vida kapaklı test tüpüne 0.5 ml alınmıştır. Üzerine 1 ml ferrik çözelti ilave edildikten sonra tüpün

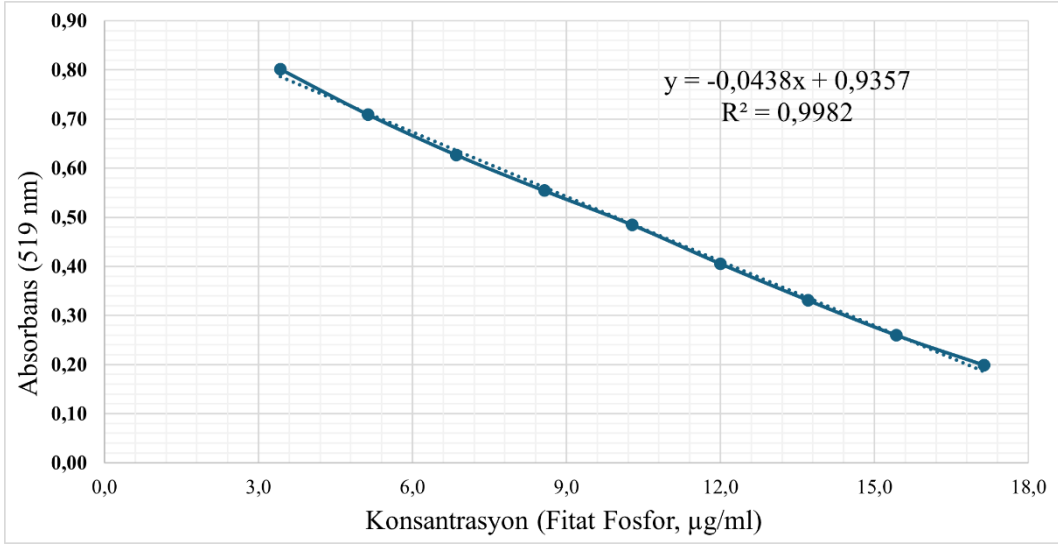
kapağı kapatılmıştır. Bu tüp 105 °C'de kaynar su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra buzlu suda 15 dakika oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Test tüpleri, santrifüj cihazında (Hettich Universal 320R cooled, Almanya) 3000g'de 30 dakika santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüj sonrasında, tüpün içindeki üst fazdan 1 ml alınarak başka bir test tüpüne aktarılmış ve üzerine 1.5 ml 2,2'-bipiridin çözeltisi ilave edilmiştir. Reaksiyon karışımı küvetlere aktarılmış ve spektrofotometrede (Varian UV-Visible Spectrophotometer, Cary 50 Bio, Avustralya) 519 nm dalga boyunda absorbans ölçülmüştür (Haug and Lantzsch, 1983). İki tekerrür halinde yapılan denemelerden elde edilen örnekler analize tabi tutulmuş ve spektrofotometrede her örnek için 18 adet absorbans değeri ölçülmüştür.

Fitik asit referans çözeltisi: Fitik asitin sodyum tuzu ($C_6H_6O_{24}P_6Na_{12}$) referans olarak kullanılmıştır. Stok çözelti 0.15 g sodyum fitatın 100 ml saf suda çözündürülmesi ile hazırlanmıştır. Referans çözelti, stok çözeltinin 3 ila 30 $\mu\text{g/ml}$ fitat fosfor aralığında HCl ile seyreltilmesiyle hazırlanmıştır.

Ferrik çözelti (Demir-III çözeltisi): Amonyum demir (III) sülfat.12H₂O ferrik çözeltisi, 0.2 g amonyum demir (III) sülfat.12H₂O bileşiğinin, 100 ml 2 N HCl içerisinde çözündürüldükten sonra saf su ile 1000 ml'ye tamamlanması ile hazırlanmıştır.

2,2'-Bipiridin çözeltisi: 10 g 2,2'-bipiridin ve 10 ml tiyoglikolik asidin, saf suda çözündürüldükten sonra hacminin 1000 ml'ye tamamlanması ile hazırlanmıştır.

Fitik asit kalibrasyon eğrisi (Standart eğrisi): Stok çözeltinin 3 ila 30 $\mu\text{g/ml}$ fitat fosfor aralığında HCl ile seyreltilmesiyle hazırlanan referans çözeltilerin spektrofotometrede 519 nm'de absorbansının ölçülmesi ile Şekil 3.1'de verilen kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Referans çözeltiler, 0.2 N HCl ile hazırlanmıştır.



Şekil 3.1 Fitik asit standart eğrisi.

3.2.2.3. Çözünmeyen diyet lifi

Ham baklagil unlarının ve ekstrüde baklagil unlarının çözünmeyen diyet lifi miktarları AOAC 991.43'te (Anon., 1991) belirtilen enzimatik-gravimetrik yöntemle Megazyme enzim kiti (Megazyme, Wicklow, İrlanda) kullanılarak belirlenmiştir.

Yöntemin uygulanışında; 1 g örnek bir behere tartılmış ve üzerine 40 ml MES/TRIS çözeltisi ilave edildikten sonra pH değeri 8.3'e ayarlanmıştır. pH ayarlamasından sonra örneklerin üzerine 50 µl α-amilaz enzimi ilave edilmiş ve 95-100 °C'deki çalkalamalı su banyosuna yerleştirilerek 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Bekletme aşamasından sonra örnekler 60 °C'ye soğutulmuştur. Soğutma aşamasından sonra örneklerin üzerine 50 µl proteaz enzimi ilave edilip 60 °C'deki su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Bekletme aşamasından sonra %5'lik HCl ve %5'lik NaOH çözeltileri kullanılarak örneklerin pH değerleri 4.0-4.7 aralığına ayarlanmıştır. Bu işlemin ardından örneklerin üzerine 150 µl amiloglukozidaz enzimi ilave edilerek 60 °C'deki su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Bu işlemde sonra örnekler vakum altında filtre edilmiştir. Filtrasyon işleminde darası önceden belirlenmiş filtre kağıtları kullanılmıştır. Beher içindeki ve filtre kağıdı üzerindeki örnek kalıntıları 70 °C'deki 10 ml saf su ile 2 kere yıkanmıştır. Daha sonra filtre kağıdı %78'lik 15 ml etanol çözeltisi ile 2

kez, %95'lik 15 ml etanol çözeltisi ile 2 kez ve 15 ml aseton çözeltisi ile 2 kez yıkanmıştır. Yıkama işleminin ardından örnekler 105 °C'deki etüvde bir gece bekletilerek kurutulmuştur, desikatör içinde soğutulmuş ve 0.1 mg hassasiyetle ağırlıkları ölçülmüştür. Örneklerin çözünmeyen diyet lifi miktarının belirlenmesi için örneklerin protein ve kül miktarı analizleri de yapılmıştır. Çözünmeyen diyet lifi miktarının hesaplanmasında Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$\text{Çözünmeyen diyet lifi (\%, kuru maddede)} = \frac{m_R - m_P - m_A - m_B}{m} \times 100 \quad (2)$$

$m_B = m_{RKör} - m_{PKör} - m_{AKör}$
 $m_P = (V_1 - V_2) \times 1.4007 \times 6.25$
 m_B : Filtre kağıdı darası (mg)
 m_P : Kalıntıdaki protein ağırlığı (mg)
 m_R : Kalıntı ağırlığı (mg)

m_A : Kalıntıdaki kül ağırlığı (mg)
 m : Örnek ağırlığı (mg)
 V_1 : Titrasyondaki 0.1 N HCl sarfiyatı (ml)
 V_2 : Kör denemedeki 0.1 N HCl sarfiyatı (ml)

3.2.3. Optimum koşullarda üretilen ekstrüde unlarda yapılan analizler

Optimum işlem koşullarında yapılan tekrar üretimlerden elde edilen ekstrüde baklagil unlarında da su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi (Bkz. 3.2.2 Ekstrüde un özelliklerinin belirlenmesi) analizleri yapılmıştır. Bu analizlere ilave olarak aşağıda verilen nem miktarı, protein, renk, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizleri yapılmıştır.

3.2.3.1. Nem miktarı

Ham ve ekstrüde baklagil unlarının nem miktarları, ICC Standard Method 110/1'e (Anon., 2004a) göre belirlenmiştir.

3.2.3.2. Protein

Ham ve ekstrüde baklagil unlarının protein miktarları Kjeldahl Yöntemi ile AACC 46-12 (Anon., 2000a) 'ye göre belirlenmiştir.

3.2.3.3. Renk analizi

Ham ve ekstrüde baklagil unlarının renk değerleri (L^* , a^* , b^*) renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CM-700D Portatif Spektrofotometre, Konica Minolta, Osaka, Japonya) ile ölçülmüştür.

3.2.3.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

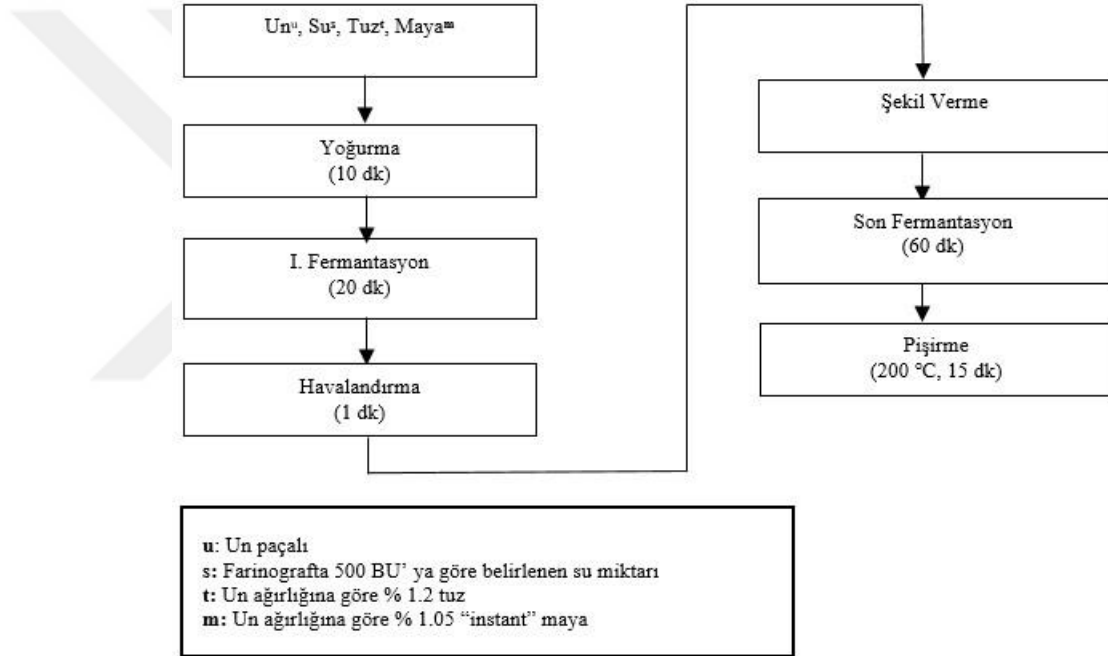
Ham ve ekstrüde baklagil unlarının infrared spektrumları, 400 ila 4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında infrared spektrometresi (Fourier dönüşümlü infrared (FTIR) Thermo Scientific NICOLET iS10) kullanılarak kaydedilmiştir.

3.2.4. Buğday unu özelliklerinin belirlenmesi

Buğday ununun özelliklerini belirlemek amacıyla nem miktarı, yaş öz (gluten) ve kuru öz miktarı tayinleri, sedimentasyon testi (Zeleny), düşme sayısı testi, protein, renk ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizleri yapılmıştır. Nem miktarı tayini etüv (Köttermann Typ 2702, Köttermann Systemlabor) kullanarak ICC Standard Method Nr. 110/1'e (Anon., 2004a) göre, yaş öz (gluten) miktarı tayini gluten yıkama cihazı (Yücebaş Makine, Type 111) kullanarak ICC Standard Method Nr. 155'e (Anon., 2004b) göre, sedimentasyon testi (Zeleny) sedimentasyon çalkalayıcısı (Brabender, Geräte nr:169) kullanarak ICC Standard Method Nr. 116/1'e (Anon., 2004c) göre, düşme sayısı testi düşme sayısı cihazı (Falling Number AB S-12611, System Perten Type 1402) kullanarak ICC Standard Method Nr. 107/1'e (Anon., 2004d) göre yapılmıştır. Buğday ununun protein miktarı Kjeldahl Yöntemi ile AACC 46-12 (Anon., 2000a)'ye göre belirlenmiştir. Renk değerleri (L^* , a^* , b^*) renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CM-700D Portatif Spektrofotometre, Konica Minolta, Osaka, Japonya) ile ölçülmüştür. Buğday ununun infrared spektrumları, 400 ila 4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında infrared spektrometresi (Fourier dönüşümlü infrared (FTIR) Thermo Scientific NICOLET iS10) kullanılarak kaydedilmiştir.

3.2.5. Ekmek üretimi

Ekmek üretiminde Coda et al. (2017) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Ekmek formülasyonunda buğday unu ikamesi olarak ham maş fasulyesi unu (HMFU), ekstrüde maş fasulyesi unu (EMFU), ham bakla unu (HABU), ekstrüde bakla unu (EBAU), ham kırmızı mercimek unu (HKMU) ve ekstrüde kırmızı mercimek unu (EKMU) kullanılmıştır. Ekmek üretimlerinde her bir baklagil unu buğday unu ile %12.5 ve 25 oranlarında ikame edilmiştir. %100 buğday unu kullanılarak üretilen ekmek, kontrol örneği olarak kullanılmıştır. Ekmek üretiminde uygulanan yöntem ve işlemler Şekil 3.2 'de sunulmuştur.



Şekil 3.2 Ekmek üretim yöntemi.

Ekmek üretiminde; un, su (farinograf testi ile belirlenecek su kaldırma miktarı), %1.2 tuz (un ağırlığı üzerinden), %1.05 "instant" maya (un ağırlığı üzerinden) kullanılmıştır. Ekmek hamuru, ekmek formülasyonunda yer alan içeriklerin, tek kollu spiral yoğurucu (İnoksan ISM 10, Bursa, Türkiye) kullanılarak yoğrulması ile elde edilmiştir. Yoğurma süresi, yapılan ön denemeler ile belirlenmiş ve bu süre, ekmek hamurlarının hazırlanmasında kullanılmıştır. Yoğurma aşamasının ardından uygulanan I. Fermantasyon aşamasında ekmek hamuru, fermantasyon kabini (FGM 100, İnoksan) 38–40°C ve %75–80 bağıl

nem koşullarında 20 dakika boyunca bekletilmiştir. I. Fermantasyonu tamamlanan ekmek hamuru 175.00–175.50 gram arasında değişen ağırlıktaki parçalara bölünmüş ve el ile yuvarlanarak pişirme kaplarına yerleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra pişirme kaplarına yerleştirilen ekmek hamurları, fermantasyon kabini içinde kontrollü koşullarda (38–40°C ve %75–80 bağıl nem) 60 dakika son fermantasyona tabi tutulmuştur. Son fermantasyonu tamamlanan hamurlar, pişirme fırınında (İnoksan FBE010, Bursa, Türkiye) pişirilmiştir. Pişirme süresi, yapılan ön denemeler ile belirlenmiş ve ekmek hamurlarının pişirilmesinde bu süre kullanılmıştır. Ekmeklerin 200°C ‘de 15 dakikalık pişirme işlemi tamamlandıktan sonra, ekmekler oda koşullarında (25±2°C) 1 saat bekletilerek soğumaya bırakılmıştır. Soğutma aşamasından sonra ekmek niteliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Ekmek üretimleri, 2 tekerrür halinde yapılmış ve her tekerrürde 8 adet ekmek üretilmiştir.

3.2.6. Ekmek analizleri

3.2.6.1. Hacim ve spesifik hacim

Ekmek hacmi (cm³), lazerli hacim ölçme cihazı (VolScan Profiler, VSP600, Stable Micro Systems, İngiltere) ile AACC International Method 10–16.01’e (Anon., 2009) göre ölçülmüştür. Ekmek spesifik hacim değeri (cm³/g); ekmek hacminin ekmek ağırlığına oranlanması ile hesaplanmıştır.

3.2.6.2. Pişme kaybı

Pişme kaybı değeri; pişme sırasında hamurdan uzaklaşan nem miktarının % olarak hesaplanması ile belirlenmiştir.

3.2.6.3. Nem miktarı

Ekmeklerin nem miktarları (%); etüv (Köttermann Typ 2702, Köttermann Systemlabor, Almanya) ile AACC International Method 44–15A (Anon., 2000b)’ya göre belirlenmiştir.

3.2.6.4. Kül miktarı

Ekmeklerin kül miktarları; kül fırını (Carbolite, Type: ELF 11/68) ile ICC Standard Methods Nr. 104/1'e (Anon., 2004e) göre belirlenmiştir.

3.2.6.5. Doku profili analizi

Ekmeklerin ekmek içi tekstür özellikleri, tekstür analiz cihazı (TA.XT Express Texture Analyzer (Stable Microsystems, Godalming, Surrey, UK) ile 20 mm çaplı alüminyum silindirik prob (P/20R) kullanılarak belirlenmiştir. Tekstür ölçümlerinde 25mm kalınlığında ekmek dilimleri kullanılmıştır. Ekmek içi tekstürel özelliklerini belirlemek için tekstür analiz cihazında kullanılan parametreler; test öncesi hız (pre-test speed): 1.0 mm/saniye, test hızı (test speed): 1.7 mm/saniye, deformasyon noktası (sample compression): %40; test sonrası hız (post-test speed): 10.00 mm/saniye; 50 kg yükleme hücresi olarak ayarlanmış; ekmek içi sertlik (g), elastikiyet, iç yapışkanlık, çiğnenebilirlik (g) ve esneklik değerleri ölçülmüştür.

3.2.6.6. Renk

Ekmek içi renk değerleri (L , a^* , b^*) ise renk ölçüm cihazı (Konica Minolta CM-700D Portatif Spektrofotometre, Konica Minolta, Osaka, Japonya) ile ölçülmüştür.

3.2.6.7. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Ekmeklerin mikro yapısını belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskopisi (SEM) (Zeiss EVO-HD-15, Jena, Almanya) kullanılmıştır. Analiz, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekler enine ve boyuna 1 cm x 1 cm olacak şekilde kesildikten sonra liyofilizatör ile dondurarak kurutma işlemine tabii tutularak hazırlanmıştır. Dondurarak kurutulmuş örneklerde analizler yapılmıştır.

3.2.7. İstatistiksel analizler

Bu tez çalışmasında yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler; SPSS—Statistical Package for the Social Sciences istatistik yazılımı kullanılarak varyans analizleri (ANOVA) ile “Duncan” Çoklu Karşılaştırma Yöntemi’ne göre %95 güven aralığında ($p<0.05$) değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan buğday unu, ham maş fasulyesi unu, ham bakla unu ve ham kırmızı mercimek unu ile çalışmada üretilen ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu ve ekstrüde kırmızı mercimek ununun renk değerleri ve protein içerikleri istatistiksel olarak varyans analizleri (ANOVA) ile “Duncan” Çoklu Karşılaştırma Yöntemi’ne göre %95 güven aralığında ($p<0.05$) değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında ham ve ekstrüde unlar kullanılarak üretilen ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem miktarı, ekmek içi renk değerleri ve ekmek içi tekstürel özellikleri hem kendi aralarında hem de buğday ekmeği (kontrol ekmeği) ile kıyaslanmış ve istatistiksel olarak varyans analizleri (ANOVA) kullanılarak “Duncan” Çoklu Karşılaştırma Yöntemi’ne göre %95 güven aralığında ($p<0.05$) değerlendirilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Maş Fasulyesi için Sonuçların Değerlendirilmesi

Ekstrüde maş fasulyesi unu üretiminde sıcaklık ve vida hızı bağımsız değişkenleri için merkezi bütünleşik tasarım kullanılarak uygulanan deneme planı ve su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi yanıt değişkenlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.

Deneme sırası	Sıcaklık (°C) X ₁	Vida hızı (rpm) X ₂	Su absorplama indeksi (g/g)	Fitik asit (mg/100g)	Çözünmeyen diyet lifi (%)
1	135 (-1)	200 (-1)	3.70	1244.53	16.34
2	135 (-1)	250 (0)	3.56	1294.24	15.34
3	135 (-1)	300 (+1)	3.32	1386.21	14.16
4	150 (0)	200 (-1)	3.57	870.78	13.80
5	150 (0)	250 (0)	3.38	917.81	13.10
6	150 (0)	250 (0)	3.41	924.34	13.22
7	150 (0)	250 (0)	3.37	926.50	13.05
8	150 (0)	250 (0)	3.43	925.37	13.01
9	150 (0)	250 (0)	3.40	926.08	13.14
10	150 (0)	300 (+1)	3.18	990.15	12.47
11	165 (+1)	200 (-1)	3.45	677.37	12.23
12	165 (+1)	250 (0)	3.24	729.86	11.54
13	165 (+1)	300 (+1)	3.06	800.24	10.72

Ekstrüde maş fasulyesi unu üretiminde, sıcaklık ve vida hızının su absorplama indeksi üzerine etkileri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Ham maş fasulyesi ununun su absorplama indeksi 2.30 g/g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin maş fasulyesi ununun su absorplama indeksi değerini ham maş fasulyesi ununa kıyasla önemli derecede arttırdığı görülmektedir ($p<0.05$). Ekstrüde maş

fasulyesi unlarının su absorplama indeksi değerlerinin 3.06 ile 3.70 g/g arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek su absorplama indeksi değerine sahip örneğin 135 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu olduğu, en düşük su absorplama indeksi değerine sahip örneğin ise ham maş fasulyesi unu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Deney tasarımına uygulanan ANOVA testi sonucunda, öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin maş fasulyesi ununun su absorplama indeksi üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Su absorplama indeksi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9857) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9771) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9828) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.6605) ile regresyon katsayısı (0.9857) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.5’te verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile su absorplama indeksi arasında negatif korelasyon ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Ekstrüde maş fasulyesi ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı–Alt sınır	%95 güven aralığı–Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	3.39	1	0.0062	3.38	3.40	
A	-0.1392	1	0.0091	-0.1594	-0.1190	1.0000
B	-0.1931	1	0.0091	-0.2133	-0.1729	1.0000

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ekstrüde maş fasulyesi unu üretiminde, sıcaklık ve vida hızının fitik asit değeri üzerine etkileri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Ham maş fasulyesi ununun fitik asit değeri 1673.06 mg/100g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin maş fasulyesi ununun fitik asit değerini ham maş fasulyesi ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.1). En yüksek fitik asit değerine sahip örneğin ham maş fasulyesi unu olduğu, en düşük fitik asit değerine sahip örneğin ise 165 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu örneğinin sahip olduğu belirlenmiştir. Deney tasarımına uygulanan ANOVA testi sonucunda, öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). % 95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin maş fasulyesi ununun fitik asit değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Fitik asit değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9996) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9973) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9994) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.1040) ile regresyon katsayısı (0.9996) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.5’te

verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ile fitik asit değeri arasında negatif korelasyon ($p<0.05$) olduğu, vida hızı ile fitik asit içeriği arasında ise pozitif korelasyon olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Ekstrüde maş fasulyesi ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı–Alt sınır	%95 güven aralığı–Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	922.83	1	2.26	917.50	928.17	
A	-286.25	1	2.22	-291.50	-281.00	1.0000
B	63.99	1	2.22	58.74	69.23	1.0000
AB	-4.70	1	2.72	-11.13	1.72	1.0000
A ²	92.18	1	3.27	84.45	99.91	1.17
B ²	10.59	1	3.27	2.86	18.32	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ekstrüde maş fasulyesi unu üretiminde, sıcaklık ve vida hızının çözünmeyen diyet lifi değeri üzerine etkileri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Ham maş fasulyesi ununun çözünmeyen diyet lifi değeri %17.60 olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin maş fasulyesi ununun çözünmeyen diyet lifi değerini ham maş fasulyesi ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.1). En yüksek çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ham maş fasulyesi unu olduğu, en düşük çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ise 165 °C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde maş fasulyesi unu olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi); öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin maş fasulyesi ununun çözünmeyen diyet lifi değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

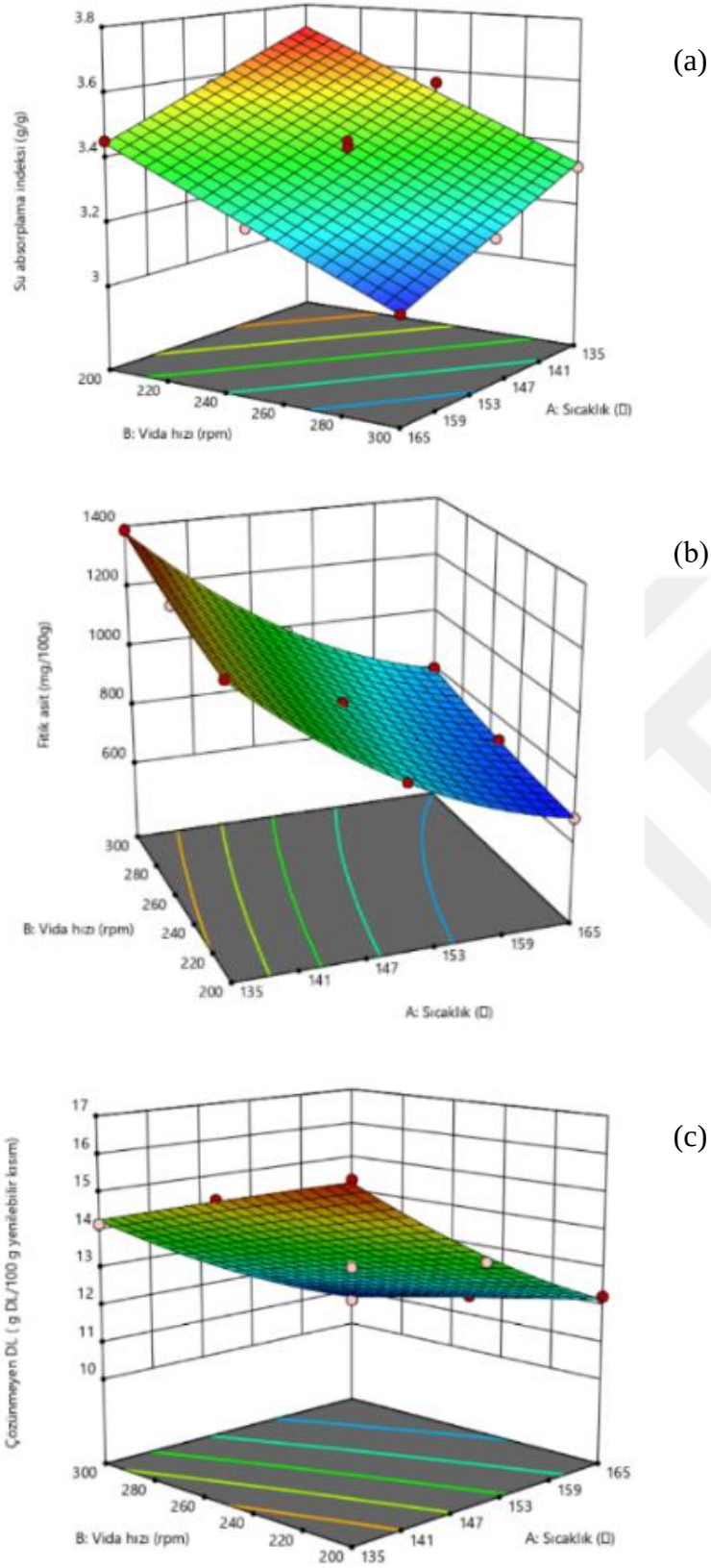
Çözünmeyen diyet lifi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9952) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9614) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9918) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.0771) ile regresyon katsayısı (0.9952) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.5'te verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile çözünmeyen diyet lifi miktarı arasında negatif korelasyon olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Ekstrüde maş fasulyesi ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı– Alt sınır	%95 güven aralığı– Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	13.12	1	0.0553	12.99	13.25	
A	-1.89	1	0.0544	-2.02	-1.76	1.0000
B	-0.8366	1	0.0544	-0.9652	-0.7080	1.0000
AB	0.1657	1	0.0666	0.0082	0.3232	1.0000
A ²	0.2833	1	0.0802	0.0937	0.4728	1.17
B ²	-0.0246	1	0.0802	-0.2142	0.1649	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ekstrüde maş fasulyesi unlarının su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi değerleri için elde edilen yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

Şekil 4.1 Ekstrüde maş fasulyesi unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.

Çizelge 4.5 Ekstrüde maş fasulyesi unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.

Yanıt değişkeni	İkinci dereceden polinom modeli
Su absorplama indeksi (WAI)	$WAI = 3.39 - 0.1392A - 0.1931B$
Fitik asit (PA)	$PA = 922.83 - 286.25A + 63.99B - 4.70AB + 92.18A^2 + 10.59B^2$
Çözünmeyen diyet lifi (ISDF)	$ISDF = 13.12 - 1.89A - 0.8366B + 0.1657AB + 0.2833A^2 - 0.0246B^2$

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

4.2. Bakla için Sonuçların Değerlendirilmesi

Ekstrüde bakla unu üretiminde sıcaklık ve vida hızı bağımsız değişkenleri için merkezi bütünleşik tasarım kullanılarak uygulanan deneme planı ve su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi yanıt değişkenlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 İki bağımsız değişken için merkezi bütünleşik tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.

Deneme sırası	Sıcaklık (°C) X_1	Vida hızı (rpm) X_2	Su absorplama indeksi (g/g)	Fitik asit (mg/100g)	Çözünmeyen diyet lifi (%)
1	135 (-1)	200 (-1)	4.05	2010.57	18.75
2	135 (-1)	250 (0)	3.73	2076.34	18.52
3	135 (-1)	300 (+1)	3.44	2197.42	18.30
4	150 (0)	200 (-1)	3.93	1754.44	17.94
5	150 (0)	250 (0)	3.59	1815.38	17.56
6	150 (0)	250 (0)	3.66	1810.77	17.38
7	150 (0)	250 (0)	3.64	1801.27	17.45
8	150 (0)	250 (0)	3.61	1802.77	17.48
9	150 (0)	250 (0)	3.63	1804.36	17.27
10	150 (0)	300 (+1)	3.34	1895.51	16.57
11	165 (+1)	200 (-1)	3.77	1407.97	16.06
12	165 (+1)	250 (0)	3.48	1471.48	15.75
13	165 (+1)	300 (+1)	3.15	1533.62	15.27

Ham bakla ununun su absorplama indeksi değeri 2.82 g/g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin bakla ununun su absorplama indeksi değerini ham bakla ununa kıyasla önemli derecede arttırdığı görülmektedir ($p<0.05$). En düşük su absorplama indeksi değerine sahip örneğin ham bakla unu olduğu, en yüksek su absorplama indeksi değerine sahip örneğin ise 135 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi); öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin bakla ununun su absorplama indeksi üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Su absorplama indeksi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9910) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9856) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9892) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir.

Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.6743) ile regresyon katsayısı (0.9910) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.10’da verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile su absorplama indeksi arasında negatif korelasyon ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Ekstrüde bakla ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı– Alt sınır	%95 güven aralığı– Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	3.62	1	0.0068	3.60	3.63	
A	-0.1361	1	0.0100	-0.1583	-0.1138	1.0000
B	-0.3027	1	0.0100	-0.3249	-0.2805	1.0000

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ham bakla ununun fitik asit değeri 2572.60 mg/100g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin bakla ununun fitik asit değerini ham bakla ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.6). En yüksek fitik asit değerine sahip örneğin ham bakla unu olduğu, en düşük fitik asit değerine sahip örneğin ise 165 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi), öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin bakla ununun fitik asit değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Fitik asit değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9992) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9939) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9986) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.1358) ile regresyon katsayısı (0.9910) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.10’da verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ile fitik asit değeri arasında negatif

korelasyon ($p<0.05$) olduğu ve vida hızı ile fitik asit değeri arasında pozitif korelasyon ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 Ekstrüde bakla ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı–Alt sınır	%95 güven aralığı–Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	1807.54	1	3.51	1799.24	1815.85	
A	-311.88	1	3.45	-320.04	-303.71	1.0000
B	75.59	1	3.45	67.43	83.76	1.0000
AB	-15.30	1	4.23	-25.30	-5.30	1.0000
A ²	-35.21	1	5.09	-47.25	-23.18	1.17
B ²	15.85	1	5.09	3.81	27.89	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ham bakla ununun çözünmeyen diyet lifi değeri %22.84 olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin bakla ununun çözünmeyen diyet lifi değerini ham bakla ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.6). En yüksek çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ham bakla unu olduğu, en düşük çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ise 165 °C 300 rpm’de elde edilen ekstrüde bakla unu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi), öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin bakla ununun çözünmeyen diyet lifi değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Çözünmeyen diyet lifi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R² (0.9819) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R²) (0.8491) ile düzeltilmiş

regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9690) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir.

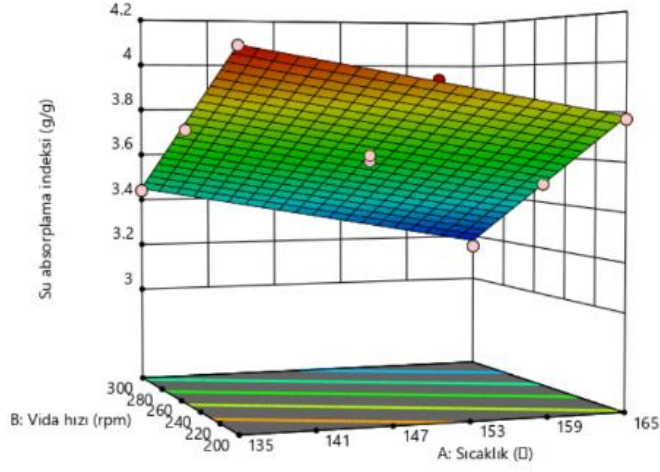
Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.0630) ile regresyon katsayısı (0.9819) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.10'da verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile çözünmeyen diyet lifi arasında negatif korelasyon ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Ekstrüde bakla ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

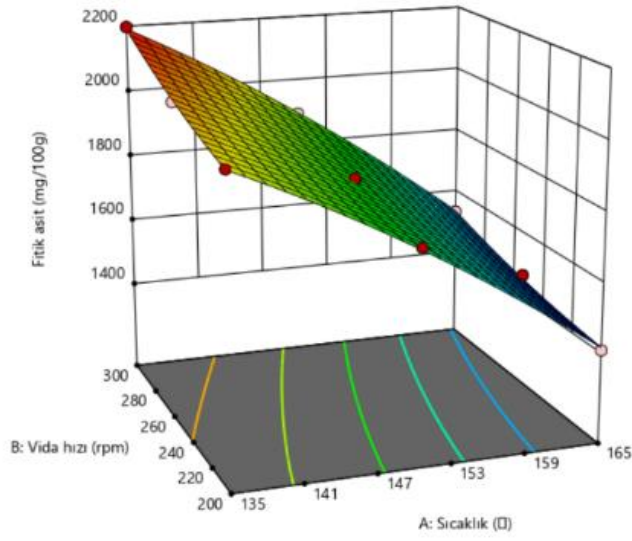
Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı– Alt sınır	%95 güven aralığı– Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	17.41	1	0.0779	17.23	17.60	
A	-1.41	1	0.0766	-1.59	-1.23	1.0000
B	-0.4334	1	0.0766	-0.6146	-0.2522	1.0000
AB	-0.0861	1	0.0938	-0.3080	0.1358	1.0000
A ²	-0.2289	1	0.1129	-0.4959	0.0382	1.17
B ²	-0.1091	1	0.1129	-0.3761	0.1580	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

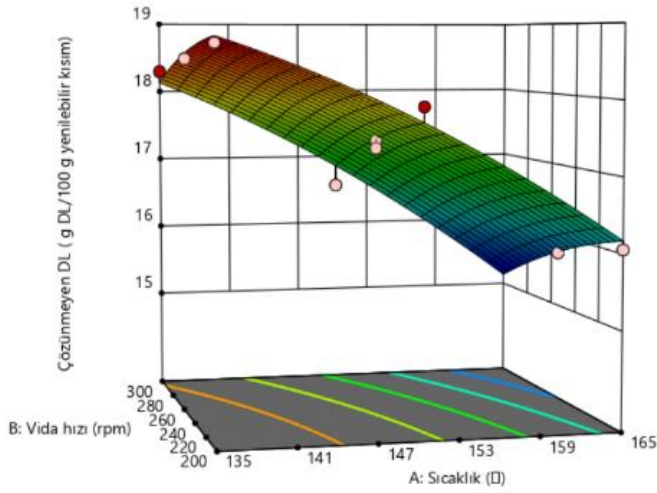
Ekstrüde bakla unlarının su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi değerleri için elde edilen yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

Şekil 4.2 Ekstrüde bakla unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.

Çizelge 4.10 Ekstrüde bakla unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.

Yanıt değişkeni	İkinci dereceden polinom modeli
Su absorplama indeksi (WAI)	$WAI = 3.62 - 0.1361A - 0.3027B$
Fitik asit (PA)	$PA = 1807.54 - 311.88A + 75.59B - 15.30AB - 35.21A^2 + 15.85B^2$
Çözünmeyen diyet lifi (ISDF)	$ISDF = 17.41 - 1.41A - 0.4334B - 0.0861AB - 0.2289A^2 - 0.1091B^2$

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

4.3. Kırmızı Mercimek için Sonuçların Değerlendirilmesi

Ekstrüde kırmızı mercimek unu üretiminde sıcaklık ve vida hızı bağımsız değişkenleri için merkezi bütünlük tasarım kullanılarak uygulanan deneme planı ve su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi yanıt değişkenlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 İki bağımsız değişken için merkezi bütünlük tasarım deneme planı ve analiz sonuçları.

Deneme sırası	Sıcaklık (°C) X_1	Vida hızı (rpm) X_2	Su absorplama indeksi (g/g)	Fitik asit (mg/100g)	Çözünmeyen diyet lifi (%)
1	135 (-1)	200 (-1)	4.90	980.59	12.16
2	135 (-1)	250 (0)	4.67	1028.07	11.83
3	135 (-1)	300 (+1)	4.57	1062.04	11.05
4	150 (0)	200 (-1)	4.83	826.15	10.74
5	150 (0)	250 (0)	4.53	862.46	10.34
6	150 (0)	250 (0)	4.54	865.48	10.30
7	150 (0)	250 (0)	4.54	859.27	10.33
8	150 (0)	250 (0)	4.55	863.64	10.40
9	150 (0)	250 (0)	4.55	857.72	10.36
10	150 (0)	300 (+1)	4.45	921.27	9.64
11	165 (+1)	200 (-1)	4.74	712.52	9.15
12	165 (+1)	250 (0)	4.44	755.63	8.97
13	165 (+1)	300 (+1)	4.31	804.17	8.51

Ham kırmızı mercimek ununun su absorplama indeksi 2.60 g/g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin kırmızı mercimek ununun su absorplama indeksi değerini ham kırmızı mercimek ununa kıyasla önemli derecede arttırdığı görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.11). Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının su absorplama indeksi değerlerinin 4.31 ile 4.90 g/g arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek su absorplama indeksi değerine sahip örneğin 135 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu olduğu, en düşük su absorplama indeksi değerine sahip örneğin ise ham kırmızı mercimek unu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi), öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin kırmızı mercimek ununun su absorplama indeksi üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Su absorplama indeksi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9976) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9869) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9959) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.1524) ile regresyon katsayısı (0.9976) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.15’te verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile su absorplama indeksi arasında negatif korelasyon ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun su absorplama indeksi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	% 95 güven aralığı–Alt sınır	% 95 güven aralığı–Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	4.54	1	0.0043	4.53	4.55	
A	-0.1076	1	0.0042	-0.1176	-0.0976	1.0000
B	-0.1902	1	0.0042	-0.2002	-0.1802	1.0000
AB	-0.0235	1	0.0052	-0.0357	-0.0113	1.0000
A ²	0.0037	1	0.0062	-0.0111	0.0184	1.17
B ²	0.0895	1	0.0062	0.0748	0.1042	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ekstrüde kırmızı mercimek unu üretiminde, sıcaklık ve vida hızının fitik asit değeri üzerine etkileri Çizelge 4.11’de görülmektedir. Ham kırmızı mercimek ununun fitik asit değeri 1216.05 mg/100g olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin kırmızı mercimek ununun fitik asit değerini ham kırmızı mercimek ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.11). En yüksek fitik asit değerine sahip örneğin ham kırmızı mercimek unu olduğu, en düşük fitik asit değerine sahip örneğin ise 165 °C 200 rpm’de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu örneğinin sahip olduğu belirlenmiştir. Deney tasarımına uygulanan ANOVA testi sonucunda, öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin kırmızı mercimek ununun fitik asit değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Fitik asit değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9981) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9873) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9967) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2’den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.0542) ile

regresyon katsayısı (0.9981) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.15'te verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ile fitik asit değeri arasında negatif korelasyon ($p<0.05$) olduğu, vida hızı ile fitik asit içeriği arasında ise pozitif korelasyon olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun fitik asit değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	% 95 güven aralığı–Alt sınır	% 95 güven aralığı–Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	863.65	1	2.38	858.01	869.28	
A	-133.06	1	2.34	-138.60	-127.53	1.0000
B	44.71	1	2.34	39.17	50.24	1.0000
AB	2.55	1	2.87	-4.23	9.33	1.0000
A ²	23.37	1	3.45	15.21	31.53	1.17
B ²	5.23	1	3.45	-2.93	13.39	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyüme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

Ekstrüde kırmızı mercimek unu üretiminde, sıcaklık ve vida hızının çözünmeyen diyet lifi değeri üzerine etkileri Çizelge 4.11'de görülmektedir. Ham kırmızı mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi değeri %14.62 olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin kırmızı mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi değerini ham kırmızı mercimek ununa kıyasla önemli derecede azalttığı görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.11). En yüksek çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ham kırmızı mercimek unu olduğu, en düşük çözünmeyen diyet lifi değerine sahip örneğin ise 165 °C 300 rpm'de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde (ANOVA testi), öngörülen modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde sıcaklık ve vida hızı değişkenlerinin

kırmızı mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

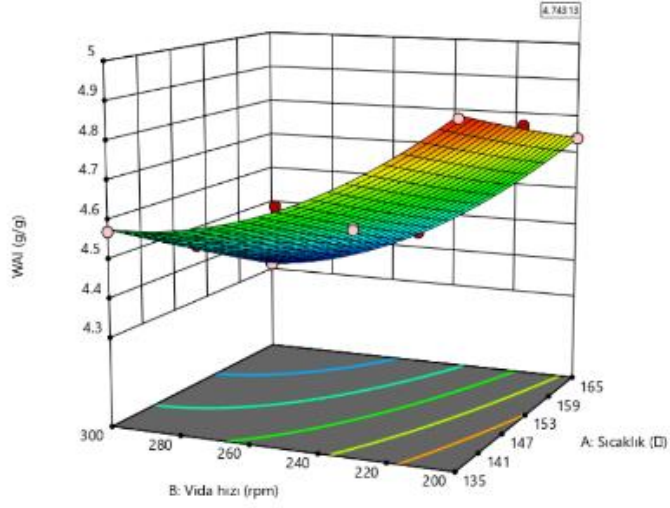
Çözünmeyen diyet lifi değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde R^2 (0.9981) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon katsayısı (Predicted - R^2) (0.9841) ile düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adjusted - R^2) (0.9967) arasındaki fark incelenmiş ve 0.2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından model uygunsuzluğu (lack of fit) terimi (0.0766) ile regresyon katsayısı (0.9981) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Çizelge 4.15'te verilmiştir. Geliştirilen modelde, sıcaklık ve vida hızı ile çözünmeyen diyet lifi miktarı arasında negatif korelasyon ($p<0.05$) olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 Ekstrüde kırmızı mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi değerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.

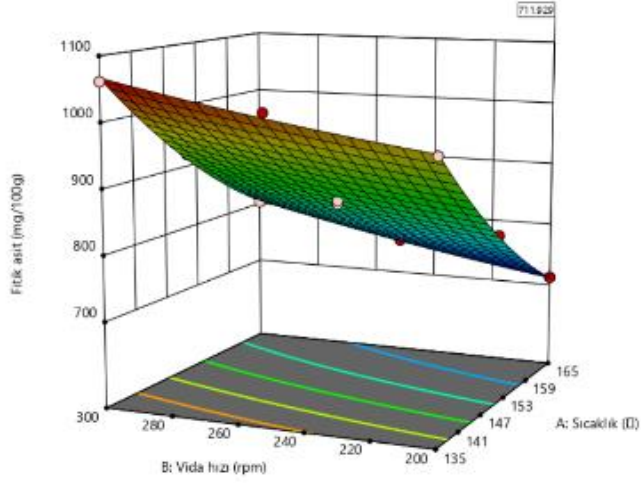
Faktör	Tahmin edilen değerler	Serbestlik derecesi	Standart hata	%95 güven aralığı– Alt sınır	%95 güven aralığı– Üst sınır	VBF
Kesme noktası (Intercept)	10.35	1	0.0250	10.29	10.41	
A	-1.40	1	0.0246	-1.46	-1.34	1.0000
B	-0.4753	1	0.0246	-0.5335	-0.4171	1.0000
AB	0.1172	1	0.0302	0.0459	0.1885	1.0000
A ²	0.0400	1	0.0363	-0.0458	0.1258	1.17
B ²	-0.1676	1	0.0363	-0.2534	-0.0818	1.17

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm); VBF, Varyans büyütme faktörü (VIF, Variance Inflation Factor)

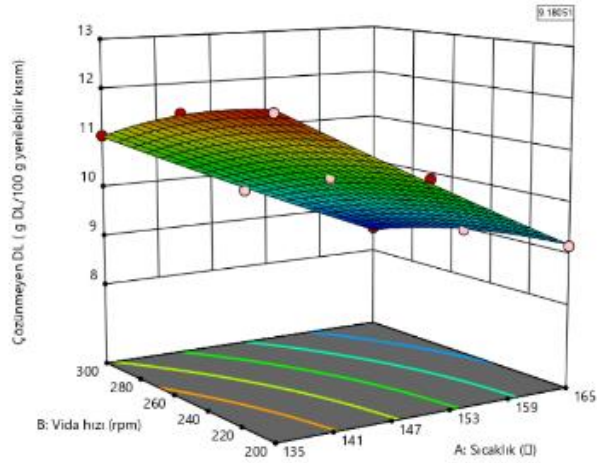
Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi değerleri için elde edilen yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

Şekil 4.3 Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının su absorplama indeksi (a), fitik asit (b) ve çözünmeyen diyet lifi (c) değerleri için yanıt yüzey grafikleri.

Çizelge 4.15 Ekstrüde kırmızı mercimek unlarının işlem koşulları için yanıt modelleri.

Yanıt değişkeni	İkinci dereceden polinom modeli
Su absorplama indeksi (WAI)	$WAI = 4.54 - 0.1076A - 0.1902B - 0.0235AB + 0.0037A^2 + 0.0895B^2$
Fitik asit (PA)	$PA = 863.65 - 133.06A + 44.71B + 2.55AB + 23.37 A^2 + 5.23 B^2$
Çözünmeyen diyet lifi (ISDF)	$ISDF = 10.35 - 1.40A - 0.4753B + 0.1172AB + 0.0400A^2 - 0.1676B^2$

A: Sıcaklık (°C); B: Vida hızı (rpm)

4.4. Optimizasyon

Ham maş fasulyesi unu, ham bakla unu ve ham kırmızı mercimek unu kullanılarak ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu ve ekstrüde kırmızı mercimek unu üretiminde ekstrüderin çıkış sıcaklığı (135-165 °C), ekstrüderin vida hızı (200-300 rpm) değişkenleri için optimum koşullar Merkezi Bütünleşik Tasarımı Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında bağımsız değişkenler (sıcaklık, vida hızı) ve yanıt değişkenleri (su absorplama indeksi, fitik asit, çözünmeyen diyet lifi) için hedeflenen çalışma aralıkları belirlenmiştir. Optimizasyondaki olası hedefler, yanıt parametreleri için “maksimum, minimum, aralık, doğrudan hedef nokta değer ve hiçbiri” şeklinde belirlenebilmektedir. Bu amaçla, su absorplama indeksi değerinin maksimum; fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi değerlerinin minimum olması hedeflenmiştir. Yapılan analizler sonucunda üç hammadde için de optimum ekstrüzyon koşulları 165 °C ekstrüzyon sıcaklığı ve 200 rpm vida hızı ile elde edilmiş (Desirability değerleri sırasıyla ekstrüde maş fasulyesi unu için 0.763, ekstrüde bakla unu için 0.800, ekstrüde kırmızı mercimek unu için 0.822) olup, bu koşullar altında üretim yapılarak doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Optimum koşullarda üretilen unların analiz sonuçları ve doğrulamaları.

Örnek	Su absorplama indeksi (g/g)			Fitik asit (g/100g)			Çözünmeyen Diyet lifi (%)		
	95%PI low	Deneyisel veriler	95%PI high	95%PI low	Deneyisel veriler	95%PI high	95%PI low	Deneyisel veriler	95%PI high
E1620-MF	3.3863	3.46384	3.50389	662.874	676.48	697.266	11.7379	12.0458	12.5809
E1620-BKL	3.71987	3.75726	3.84924	1389.24	1405.77	1442.78	15.5856	16.0794	16.7732
E1620-KM	4.7104	4.7306	4.77586	693.784	716.523	730.073	8.98971	9.22855	9.37132

E1620-MF: 165°C 200 rpm'de elde edilen ekstrüde mısır fasulyesi unu; E1620-BKL: 165°C 200 rpm'de elde edilen ekstrüde bakla unu; E1620-KM: 165°C 200 rpm'de elde edilen ekstrüde kırmızı mercimek unu.

4.5. Optimizasyon Yanıtlarının Değerlendirilmesi ve Yapılan Çalışmalar ile Karşılaştırılması

4.5.1. Su absorplama indeksi

Su absorplama indeksi; ekstrüde materyalin daha fazla işleme maruz kaldığında nasıl davranacağını öngörebilmek açısından önem taşımakta ve ekstrüde ürününü karakterizasyonunda yardımcı olmaktadır. Su absorplama özelliği, genellikle nişastanın sudaki dağılımına bağlı olmakla birlikte dispersiyon, ekstrüzyon ve jelatinleşme gibi işlemler sonucu uyarılan parçalanmaya bağlı olarak nişastanın hasar derecesine göre artmaktadır (Rayas-Duarte et al., 1998).

Su absorplama indeksi, nişastanın yapısına su alarak şişmesinden sonra kapladığı hacmin bir ölçüsüdür ve hidrate olmuş polimerlerin ağırlığının bir göstergesidir (Mesquita et al., 2013; Pasqualone et al., 2020). Nişasta tarafından emilen su miktarını göstermekte ve ekstrüzyon uygulamasının önemli bir etkisi olan jelatinleşme için bir indeks olarak kullanılabilir (Saini, 2015; Atukuri et al., 2019). Suda çözünürlük indeksi, ekstrüzyon işleminden sonra açığa çıkan çözünebilir polisakkarit miktarı olan nişastanın dönüşüm derecesini ölçerek, genellikle moleküler bozulmanın bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Ding et al., 2005).

Çizelge 4.1, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi, ekstrüde maş fasulyesi, ekstrüde bakla, ekstrüde kırmızı mercimek unlarının su absorplama indeksi değerlerinin hem sıcaklık hem de vida hızı parametrelerinden önemli ölçüde etkilendiği belirlenmiştir ($p<0.05$). Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ham baklagil unlarının su absorplama indeksi değerlerinin ekstrüde unlara kıyasla önemli derecede düşük olduğu, ekstrüzyon işleminin su absorplama indeksini önemli derecede arttırdığı görülmektedir. Ekstrüzyon sıcaklığı ve vida hızı arttıkça su absorplama indeksinin azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu çalışmada 135 °C’de elde edilen ürünlerin su absorplama indeksi değerlerinin daha yüksek olmasının nedeni; nişasta granüllerinin bozulmaması ve

suyla bağlayan hidrofilik grupların var olmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Pardhi et al., 2019).

Bunun yanında yüksek vida hızı koşullarının nişasta polimerleri üzerinde daha şiddetli (ya da daha belirgin) etkilere yol açarak daha yoğun bir moleküler parçalanmaya yol açtığı (Yağci et al., 2020; Pasqualone et al., 2020); böylelikle de su bağlama kapasitesini azalttığı (Pasqualone et al. 2021) ifade edilmiştir. Ayrıca Rayas Duarte et al. (1998), ekstrüde ürünlerin su absorplama değerinin, katı fazın yapısı tarafından yönetilen nişasta, su ve protein arasındaki etkileşimlere dayanarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Nişastanın fazla su bulunan ortamdaki dağılımının, nişastanın hasar derecesine göre arttığı ve bunun nedeninin ise amiloz ve amilopektin molekül ağırlığının azalmasından oluşan jelatinleşme ve ekstrüzyon kaynaklı parçalanma olduğu ifade edilmiştir (Rayas Duarte et al., 1998).

Bu çalışmada, daha yüksek ekstrüzyon sıcaklığı koşullarının nişasta moleküllerinin parçalanmasına veya dağılmasına neden olarak su absorplama indeksi değerini azalttığı, bu durumun da nişastanın yüksek sıcaklıklardaki erime veya dekstrinleşmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Altan et al., 2008).

Ayrıca bu çalışmada, ekstrüzyon esnasında nişasta parçalanması meydana geldiği için, nişastanın moleküler boyutu azalmakta ve bu da moleküllerin su tutma kapasitesinde bir azalmaya yol açarak su absorplama indeksinde azalmaya neden olmaktadır (Guha et al., 1997; Dalbhagat et al., 2019). Bunun yanında düşük vida hızı koşulunda ürünün ekstrüder tüneline kalış süresi uzamakta ve sıcaklığa maruziyet süresi de daha fazla olmaktadır. Bu çalışmada; kullanılan sıcaklık koşullarından herhangi birisi için değerlendirme yapıldığında; sabit sıcaklıkta vida hızı azaldıkça ürünün sıcaklığa maruz kalma süresi arttığı için su absorplama indeksi değerinin de azaldığını söylemek mümkündür.

Daha yüksek vida hızı koşulları daha yüksek kesmeye yol açtığı ve bu durumun da unlarda daha yoğun bir moleküler parçalanmaya neden olduğu için; ekstrüdatların suda çözünürlüğünün daha yüksek ve su absorplama değerinin daha

düşük olmasına neden olmaktadır (Li et al., 2017; Van Den Einde et al., 2004). Ayrıca ekstrüzyon işlemi sırasında meydana gelen protein denatürasyonu ve nişasta jelatinizasyonunun da ekstrüde ürünlerin su absorplama indeksindeki değerlerindeki artışın nedeni olabileceği ifade edilmiştir (García-Segovia et al., 2020).

Ek et al. (2021) farklı mercimek çeşitlerinin ekstrüzyon sonrası genleşme karakteristiklerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça ve vida hızı azaldıkça su absorplama indeksinin de arttığını belirlemiştir. Bunun nedeninin nişastanın parçalanma derecesine atfedilebileceği ifade edilmiştir.

Mercimek ekstrüdatlarında %15 nemde ekstrüzyon uygulandığında sıcaklık arttıkça su absorplama indeksinin azaldığı ($p<0.05$), %20 ve 25 nem içeriklerinde ise sıcaklık artışına bağlı olarak su absorplama indeksinde önemli bir değişme meydana gelmediği belirlenmiştir (Ghumman et al., 2016).

Espinosa-Ramírez et al. (2021) nohut (%15 nem; 156 °C sıcaklık; 600 rpm vida hızı) ve siyah fasulye ununun (%17 nem, 205 °C sıcaklık, 600 rpm vida hızı) ekstrüzyonu ile su bağlama ve su tutma kapasitesinde istatistiksel olarak önemli bir artış meydana geldiğini belirlemiştir.

Rathod and Annapure (2016), mercimek ununun ekstrüzyon pişirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada (%14, 18, 22 nem; 140, 160 ve 180 °C sıcaklık; 150, 200 ve 250 rpm vida hızı) nem içeriği ve kalıp sıcaklığının su absorplama indeksi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve pozitif bir korelasyona sahip olduğunu belirlemiştir ($p<0.05$). Vida hızının ise su absorplama indeksinde azalmaya neden olduğunu belirlemiştir. Yüksek kalıp sıcaklığının neden olduğu bozunmanın bir sonucu olarak nişasta moleküllerinin parçalanmasının, ekstrüdatların daha az su tutmasına, dolayısıyla daha az su absorplama indeksine sahip olmasına neden olmuş olabileceği ifade edilmiştir (Rathod and Annapure, 2016).

4.5.2. Fitik asit

Fitik asit veya fitat olarak da bilinen inositol hekza fosfat (IP6), baklagil tohumlarında bulunan bir fosfor kaynağıdır (Ciudad-Mulero et al., 2020). Fitat, metallerle kompleksler oluşturabilmekte ve bu sebeple demir, çinko, magnezyum ve kalsiyum gibi minerallerin emilimini azaltarak insanlarda ve hayvanlarda mineral eksikliğine yol açabilmektedir (Nikmaram et al., 2017).

Bu çalışmada ham maş fasulyesi unu, ham bakla unu ve ham kırmızı mercimek ununun fitik asit değerleri sırasıyla 1673.06 mg/100g, 2572 mg/100g ve 1216.05 mg/100g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2, 4.8, 4.14). Ham unların fitik asit miktarının ekstrüde unlara kıyasla daha yüksek olduğu ve ekstrüzyon işlemi ile fitik asit miktarının önemli derecede azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Farklı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda kullandıkları maş fasulyesi için farklı fitik asit miktarları belirlemişlerdir. Chitra et al. (1995), maş fasulyesinin 3 farklı genotipi için fitik asit miktarlarının 1020–1480 mg/100g arasında değiştiğini tespit etmiştir. Egli et al. (2002), maş fasulyesindeki fitik asit miktarının 830 mg/100g olduğunu belirlemiştir. Dahiya et al. (2013), maş fasulyesinin 10 farklı varyetesi için fitik asit miktarlarının 734–807 mg/100g arasında değiştiğini belirtmiştir. Zafar et al. (2023), çalışmalarında kullandıkları 25 farklı maş fasulyesi varyetesi için fitik asit miktarlarının 450–1220 mg/100g arasında değiştiğini belirlemiştir. Maş fasulyesindeki fitik asit miktarı bitkinin genotip özellikleri, yazlık veya kışlık ekim durumu ve tane boyutu gibi birçok faktöre göre değişebilmektedir. Dhole and Reddy (2015), maş fasulyesinin 102 farklı genotipi ile; genetik varyasyonun ve kalıtsal özelliklerin maş fasulyesinin fitik asit miktarına etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada yazlık ve kışlık ekim dönemleri için maş fasulyesinin fitik asit miktarının sırasıyla 574–1898 mg/100g ve 585–2002 mg/100g olduğunu belirlemiştir.

Egli et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada mercimeğin fitik asit miktarının 1150 mg/100g olduğu belirlenmiştir. Sompong et al. (2009), maş fasulyesinde bulunan fitik asit miktarının belirlenen değerlerinde geniş bir çeşitlilik mevcut olduğunu, bunun nedeninin ise maş fasulyesindeki fitat içeriğinin

kalıtsal temelli olduğu ve genetik farklılıklardan meydana gelebileceğini ifade etmiştir. Bununla birlikte, çalışmalarda yer alan fitik asit miktarında mevcut olan farklılıkların, analiz yönteminden de kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Dahiya et al., 2015).

İnositol hekzafosfat (fitat, IP6), baklagil ekstrüdatlarında en çok bulunan inositol fosfattır (Arribas et al., 2019). IP6 ve inositol pentaforfat (IP5) demir, çinko ve kalsiyum ile kompleksler oluşturarak mineral biyoyararışlılığını olumsuz etkilemektedir. Diğer taraftan, fitik asit, demir gibi oksidasyonu hızlandırıcı mineralleri şelatladığı için antioksidan etkiye sahiptir (Berrios, 2006). Ekstrüzyon pişirme, ile IP6'daki azalmaya bağı olarak toplam fitat miktarında bir azalma meydana geldiği ifade edilmiştir (Arribas et al., 2019). Toplam fitat içeriğindeki azalma üzerine, her ne kadar besleme nemi miktarının da bir etkisi gözlenirse de çoğunlukla ısı işlem ile ilişkilendirilmektedir (Summo et al., 2019; Pasqualone et al., 2020). Fasulye'nin %20 nem ve 150 °C'de ekstrüde edilmesiyle toplam fitat içeriğinin yaklaşık %20-30 oranında azaldığı belirlenmiştir (Guillamon et al., 2008). Ciudad-Mulero et al. (2020) tarafından beyaz börölce ve kırmızı barbunya üzerinde yapılan bir çalışmada ise %22 nem ve 160 °C sıcaklıkta ekstrüzyon işleminin toplam fitat içeriğini % 44 oranında azalttığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada, mercimeğin toplam fitat içeriğinin 160 °C'de uygulanan ekstrüzyon işlemi ile %10.97 azaldığı belirlenmiştir. Alonso et al. (2000), baklanın ekstrüzyonu sırasında toplam fitik asit miktarının %26.73 oranında azaldığını belirlemiştir. 200 rpm vida hızında ekstrüzyon sıcaklığının 140 °C'den 180 °C'ye çıkarılmasının mercimeğin fitik asit miktarını % 99.30'a kadar azalttığı belirlenmiştir (Rathod and Annapure, 2016).

Urbano et al. (2000) ekstrüzyon işlemi ile baklagillerdeki fitik asit miktarında azalma meydana geldiğini ifade etmiştir (Pasqualone et al., 2020). Hejdysz et al. (2022), ekstrüzyon işleminde uygulanan farklı sıcaklıkların bakla ununun besin bileşenleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada; ekstrüzyon işleminin baklanın fitik asit miktarında azalma meydana getirdiğini, ancak 110–125 °C arasındaki sıcaklıklarda fitik asit miktarında önemli bir değişme olmadığını belirlemiştir. Aynı çalışmada ham baklanın fitik asit miktarının 153.4 mg/kg olduğu ve 110–125 °C arasındaki ekstrüzyon işlemi ile

bakladaki fitik asit miktarlarının ise 130.7–132.1 mg/kg arasında değiştiği belirlenmiştir. Alonso et al. (2000), ekstrüzyon işleminin (152 ve 156 °C, 100 rpm) nohut ve fasulye ununun fitik asit miktarını ham örneklerle kıyasla sırasıyla %26.7 ve %21.4 oranında azalttığını belirlemiştir.

Rathod and Annapure (2016) ekstrüzyon işleminin (%14, 18, 22 nem; 140, 160 ve 180 °C sıcaklık; 150, 200 ve 250 rpm vida hızı) mercimek ununun yapısında bulunan besleyici olmayan bileşenler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; ekstrüzyon pişirme işlemi ile fitik asit, tanen ve polifenol gibi besleyici olmayan bileşiklerin önemli ölçüde azaldığını belirlemiştir ($p<0.05$). Bu önemli miktardaki azalmanın, moleküllerin termal bozunmasının yanı sıra kimyasal reaktivitelerindeki değişiklikler veya çözünmeyen komplekslerin oluşumu ile açıklanabileceği ifade edilmiştir (Kataria et al., 1989).

Ciudad-Mulero et al. (2020) mercimek unu ile glutensiz bir ürün geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon işleminin (%17 nem, 140 - 160 °C sıcaklık, 500 rpm vida hızı), 140 °C’de elde edilen ürünün fitik asit değeri ile kontrol örneğinin fitik asit değeri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı ancak, 160 °C’de elde edilen ürünün fitik asit değerinin kontrol ve 140 °C’de elde edilen ürünlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Bu tez çalışmasında, unların fitik asit içeriğinin ekstrüzyon işleminde uygulanan sıcaklık ve vida hızı koşullarının her ikisinden de önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir ($p<0.05$). Yanıt yüzey grafiklerinde (Şekil 4.1, 4.2, 4.3) de görüldüğü gibi ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça ve vida hızı azaldıkça, fitik asit miktarının azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu tez çalışmasında belirlenen optimum koşullar olan 165 °C sıcaklık ve 200 rpm vida hızı koşullarında fitik asit miktarındaki azalmanın ham örneklerle kıyasla maş fasulyesi için %59.51, bakla için %45.27 ve kırmızı mercimek için %41.41 olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ekstrüzyon işlemindeki sıcaklığın artması ile meydana gelen pişme işlemi süresince fitik asit daha düşük molekül ağırlığına sahip formlara dönüşmekte ve böylelikle fitik asit miktarında azalma meydana gelmektedir. Ekstrüzyon işlemi ile baklagillerin fitik asit içeriğinde meydana gelen azalma çeşitli araştırmacılar

tarafından da belirtilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile baklanın (Guillamon et al., 2008), nohut ve fasulyenin (Alonso et al., 2000), mercimeğin (Rathod and Annapure, 2016; Ciudad-Mulero et al., 2020) fitik asit miktarında azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Ekstrüzyon işlemi uygulanmasının, fitik asit içeriğini çok düşük seviyelere azaltmak veya daha az fosforile edilmiş formlarına dönüştürmek için etkili bir işleme teknolojisi olduğunu söylemek mümkündür.

4.5.3. Çözünmeyen diyet lifi

Ham ve ekstrüde unların çözünmeyen diyet lifi içerikleri sırasıyla Çizelge 4.1, 4.6 ve 4.11’de sunulmuştur. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda nohut ve mercimeğin çözünmeyen diyet lifi içeriği 195.4 g/kg ve 216.3 g/kg (Martín-Cabrejas et al., 2006), farklı bakla çeşitlerinde %10.70–%15.29 (Labba et al., 2021), maş fasulyesinde %13.1–%19 (Dahiya et al., 2015) olarak belirlenmiştir. De Almeida Costa et al. (2006) tarafından yapılan çalışmada ise bakla ve mercimeğin çözünmeyen diyet lifi içerikleri sırasıyla 19.9 g/100g ve 19 g/100g olarak bulunmuştur. Wang et al. (2009) pişirme ve kabuk uzaklaştırma işlemlerinin mercimeğin besin bileşimine etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada çalışmada kullanılan farklı mercimek türlerinin çözünmeyen diyet lifi içeriklerinin 114.1–128.3 g/kg arasında değiştiğini belirlemiştir.

Bu çalışmada, unların çözünmeyen diyet lifi miktarının ekstrüzyon işleminde uygulanan sıcaklık ve vida hızı koşullarının her ikisinden de önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir ($p<0.05$). Yanıt yüzey grafiklerinde (Şekil 4.1, 4.2, 4.3) de görüldüğü gibi ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça ve vida hızı azaldıkça, çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ekstrüzyon işleminden sonra çözünmeyen diyet lifindeki azalmanın, nispeten düşük nem içeriğinde, yüksek sıcaklık ile elde edilen yüksek kesme koşullarının lif açısından zengin hücre duvarlarına fiziksel olarak zarar vermesi ile ilişkilendirilmiştir. Garcia-Amezquita et al., (2019) gözlemlenen düşük ISDF içeriğine genellikle çözünebilir diyet lifi (SDF) fraksiyonunda bir artışın eşlik ettiğini ifade etmiştir (Espinosa-Ramírez et al., 2021). Ayrıca, ham maddeye göre daha yüksek SDF/IDF değerlerine sahip olan ekstrüde ürünlerin, daha yüksek su

absorplama kapasitesi değerine sahip olduğu ifade edilmiştir (Garcia-Amezquita et al., 2019).

Ekstrüzyon işleminde kullanılan nem ve sıcaklık koşullarının pektik bileşikleri çözünebilir hale getirerek parçalayabileceği ve böylelikle de diyet lifi miktarının azalmasına neden olabileceği ifade edilmektedir (Arribas et al., 2019). Ekstrüzyon işlemi ile polisakkarit bağlarını parçalanır ve lif matrisinin makro ve mikro yapısında bozulmaya (yırılmaya) yol açarak çözünmeyen diyet lifi yapısının bozulmasına neden olur (Wolf, 2010). Daha yüksek vida hızı koşulu, ekstrüder tüneline ürünün kalma süresini azaltabilir ancak ürünün daha yüksek kayma gerilimi ve sürtünmeye maruz bırakılmasına neden olur. Bunun sonucunda, (1) hücre duvarı ve lif matrisinin kırılmasına olanak sağlayabilir; (2) ekstrüder tünelineki ürünün karışmasını hızlandırarak ısı transferini de hızlandırır, bu da ekstrüzyon sürecinin yüksek sıcaklık ve mekanik enerji ile devam etmesini sağlar (Duque et al., 2017; Zhong et al., 2019).

Benzer şekilde, Arribas et al. (2019) ekstrüde pirinç bazlı formülasyonlarda ekstrüde olmayanlara kıyasla çözünmeyen diyet lifi içeriğinde bir azalma gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Alam et al. (2016), ekstrüzyon sürecinde uygulanan vida hızı ve sıcaklığın ürünün lif içeriği üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Espinosa-Ramírez et al. (2021), nohut, mercimek, siyah fasulye, benekli fasulye, yulaf, sorgum, amarant, kinoa tam tane unlarından ekstrüde un elde etmek amacıyla yaptıkları çalışmada; sabit vida hızında (140 rpm) 2 farklı sıcaklık (80, 100 °C) ve 2 farklı besleme nemi (%20, 40) koşulu ile çalışmış ve çalışma sonucunda elde edilen ekstrüde unlarla; ham unlar karşılaştırıldığında, çözünebilir diyet lifi miktarında önemli bir değişiklik gözlenmezken; toplam diyet lifi ve çözünmeyen diyet lifi miktarlarında önemli bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir

Martín-Cabrejas et al. (1999) ekstrüzyon pişirme işleminin fasulye unun fizikokimyasal ve besinsel özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada; farklı sıcaklıklarda (140–180 °C) ve farklı besleme nemi (%25,

30) koşullarında; ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığını, çözünen diyet lifi miktarının ise arttığını belirlemiştir. Berrios et al. (2002) ekstrüzyon pişirme işleminin fasulye unun özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 160 °C sıcaklık, 200 rpm ve %20 nem koşullarında yaptığı çalışmada; ham örneğe kıyasla ekstrüde unun çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığını, çözünen diyet lifi miktarının ise arttığını belirlemiştir.

Berrios et al. (2010) ekstrüzyon işleminin mercimek ve bezelyenin kimyasal bileşimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 160 °C sıcaklık, 500 rpm ve %17 nem koşullarında çalışmıştır. Bu çalışma sonucunda; ekstrüzyon işlemi ile mercimek ununun çözünmeyen diyet lifi miktarının ham örneğe kıyasla azaldığını, çözünen diyet lifinin ise ham örneğe benzer değere sahip olduğunu; bezelye unun ise ham örneğe kıyasla çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığını, çözünen diyet lifi miktarının ise arttığını belirlemiştir. Morales et al. (2015) mercimek unu ile atıştırmalık bir ürün geliştirmek amacıyla yaptığı çalışmada; ekstrüzyon işleminin mercimek ununun çözünmeyen ve toplam diyet lifi miktarını azalttığını, çözünen diyet lifi miktarını ise arttırdığını belirlemiştir.

Morales et al. (2015) ekstrüde mercimek atıştırmalığı üretmek amacıyla yaptığı çalışmada; ekstrüzyon işleminin (%17 nem, 160 °C sıcaklık, 500 rpm vida hızı), mercimek ununun çözünmeyen diyet lifini önemli miktarda azalttığını belirlemiştir.

Espinosa-Ramírez et al. (2021) nohut (%15 nem, 156 °C, 600 rpm) ve siyah fasulye ununun (%17 nem, 205 °C, 600 rpm) ekstrüzyonu ile çözünmeyen diyet lifi miktarının sırasıyla %8.77 ve %9.21'den %4.67 ve %4.96'ye azaldığını belirlemiştir.

4.6. Buğday Unu, Ham ve Ekstrüde Maş Fasulyesi Unu, Bakla Unu ve Kırmızı Mercimek Ununun Özellikleri

Tez çalışmasında kullanılan buğday unu, ham maş fasulyesi unu, ham bakla unu, ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu, ham kırmızı mercimek unu ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarına ait özellikler Çizelge 4.17’de sunulmuştur.



Çizelge 4.17 Buğday unu ve maş fasulyesi, bakla, kırmızı mercimek unlarının (ham ve ekstrüde) özellikleri.

	BU	H-MF	E-MF	H-BKL	E-BKL	H-KM	E-KM
Protein (%)*	12.41 ± 0.03 ^d	25.72 ± 0.23 ^c	25.58 ± 0.04 ^c	32.72 ± 1.89 ^a	31.12 ± 0.12 ^b	25.68 ± 0.24 ^c	25.93 ± 0.17 ^c
<i>L</i> *	94.82 ± 0.65 ^a	84.13 ± 1.15 ^c	66.75 ± 0.26 ^f	90.43 ± 0.80 ^b	75.51 ± 0.57 ^e	84.75 ± 0.46 ^c	76.74 ± 0.36 ^d
<i>a</i> *	0.44 ± 0.02 ^e	-0.45 ± 0.02 ^f	7.89 ± 0.14 ^b	0.41 ± 0.02 ^e	6.78 ± 0.15 ^c	14.78 ± 0.23 ^a	4.71 ± 0.12 ^d
<i>b</i> *	11.01 ± 0.14 ^b	17.75 ± 0.42 ^f	29.14 ± 0.72 ^d	20.10 ± 0.43 ^e	34.29 ± 0.47 ^b	31.78 ± 0.34 ^c	41.22 ± 0.50 ^a
Gluten (Yaş öz) (%)	31.69 ± 0.77	-	-	-	-	-	-
Kuru Öz (%)	11.38 ± 0.17	-	-	-	-	-	-
Gluten İndeks (%)	95 ± 0.57	-	-	-	-	-	-
Zeleny Sedimentasyon (ml)	32 ± 0.48	-	-	-	-	-	-
Düşme Sayısı (sn)	319 ± 7.02	-	-	-	-	-	-

BU: Buğday unu; H-MF: Ham maş fasulyesi unu; E-MF: Ekstrüde maş fasulyesi unu; H-BKL: Ham bakla unu; E-BKL: Ekstrüde bakla unu; H-KM: Ham kırmızı mercimek unu; E-KM: Ekstrüde kırmızı mercimek unu.

*: kuru maddede.

Tabloda yer alan değerler, analizlerde elde edilen analiz sonuçlarının ortalama değerlerini ve ± standart sapma değerlerini göstermektedir. Aynı satırda yer alan üst indis küçük harfler analiz sonuçları açısından örnekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

n=3; Protein için. n=4: *L**, *a**, *b** için. n=12: Nem, gluten (yaş öz), kuru öz, gluten indeksi, Zeleny sedimentasyon, düşme sayısı için.

Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi; bu tez çalışmasında kullanılan baklagil unları arasında en yüksek protein değerlerine sahip baklagil unlarının ham ve ekstrüde bakla unu olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Maş fasulyesi ve kırmızı mercimeğin hem ham hem de ekstrüde unlarının protein içeriklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$). Un örnekleri arasında en düşük protein içeriğine sahip örneğin buğday unu olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Renk değerlerini ifade eden L^* , a^* ve b^* değerleri ham maddelerin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermiş ve ekstrüzyon işlemi sonrasında, L^* değerinin azaldığı, b^* değerinin ise arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). a^* değeri ekstrüde maş fasulyesi ve bakla unları için ham unlarına göre artmış kırmızı mercimekte ise ham kırmızı mercimeğe göre azalmıştır ($p<0.05$).

Şahin vd. (2016) buğday, buğday unu ve buğday kepeğinin protein oranlarının karşılaştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada 92 adet buğday hattında yetiştirdikleri buğdayların, buğday unu protein değerinin %7.35 ile 16.35 arasında değiştiğini, ortalama %11.05 olduğunu belirlemiştir.

Steve (2012) çimlenme ve fermentasyon uygulamasının buğday ununun kimyasal bileşimi, protein kalitesi ve fiziksel özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada buğday ununun protein miktarını ham buğday unu için %10.77, çimlendirilmiş buğday unu için %13.50 ve fermente edilmiş buğday unu için %13.70 olarak belirlemiştir.

Park and Baik (2004) buğday unlarının protein içeriği ve kalitesi ile erişte hamuru ve hazır eriştelerin özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada 14 farklı sert ve yumuşak buğday unu kullanmış ve unların protein miktarının %8.2 ile 17.5 arasında değiştiğini belirlemiştir. Aynı çalışmada kullanılan 3 farklı ticari buğday ununun protein miktarlarının ise sırasıyla %10.1, 10.2 ve 10.8 olduğunu belirlemiştir.

Tuluk (2017), yaptığı çalışmada buğday ununun protein miktarını %13.27 olarak belirlemiştir. Altinel ve Tuluk (2018) ekmeklik buğday ununa farklı baklagil unları ilavesinin ekmek kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla

yaptıkları çalışmada; buğday ununun, bakla ununun ve kırmızı mercimek ununun protein miktarını sırasıyla %12.11, 27.98 ve 26.08 olarak belirlemiştir. Buğday ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 93.74, 2.65 ve 10.32, bakla ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 90.83, 3.80 ve 17.87, kırmızı mercimek ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 87.66, 16.82 ve 30.37 olarak belirlemiştir.

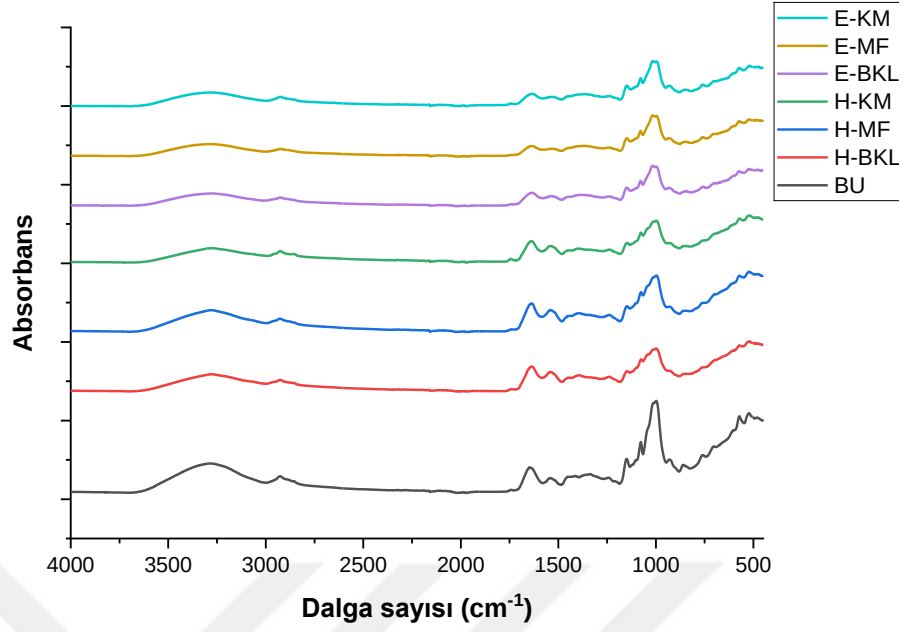
Du et al. (2014) farklı baklagil unlarının fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada maş fasulyesi ununun protein miktarını %27.10, mercimek ununun protein miktarını ise %28.05 olduğunu belirlemiştir.

Stone et al. (2019) farklı baklagil ve tahıl unlarının fonksiyonelliği ve protein kalitelerinin karşılaştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada; buğday ununun protein miktarının %13.1, kırmızı mercimek ununun protein miktarının %28.9 ve bakla ununun protein miktarının ise %33.2 olduğunu belirlemiştir.

4.6.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Özellikleri

FTIR (Fourier Transform Infrared) Spektroskopisi; Fourier dönüşüm yöntemi ile ışığın kızıl ötesi (IR) yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen (Kılıç ve Karahan, 2010) ve buna bağlı olarak analiz edilen örneğin kimyasal bileşimi ve fiziksel durumu hakkında sonuç veren bir yöntemdir (Cocchi et al., 2004; Amir et al., 2013). FTIR analizi; maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimi ile meydana gelen frekanslara karşılık gelen absorpsiyon pikleri sayesinde (Lin and Wang, 2012; Büyüksırt ve Kuleaşan, 2014) maddenin fonksiyonel gruplarının tespit edilmesine olanak sağlayan ve moleküler yapıdaki değişimlerin hassas bir şekilde ölçülebildiği bir yöntemdir (Cocchi et al., 2004; Amir et al., 2013). Gıdalardaki ana bileşenler; su, karbonhidratlar, proteinler ve yağlardır. Gıdaların bileşiminde yer alan farklı fonksiyonel bileşenlere ait absorpsiyon bantlarından HOH su basorbsiyonunu, COH grupları karbonhidratları, amid grubu proteinleri, karbonil ester ve CH grupları yağları göstermektedir (Erkahveci ve Karaali, 1996; Büyüksırt ve Kuleaşan, 2014).

Bu tez çalışmasında, buğday unu, ham ve ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unlarının FTIR spektrumlarında, O-H grubuna ait gerilim frekansı 3279 cm^{-1} 'de, C-H bağlarına ait gerilim frekansı 2926 cm^{-1} 'de tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Nawrocka and Lamorska (2013); Baker et al. (2014); Cozzolino et al. (2014), O-H, C-H ve N-H gibi makromoleküllerin gerilim frekans bölgesinin $2500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ arasında değiştiğini ifade etmiştir (Gordon et al., 2019). Buğday unu için amid I ve amid II pikleri sırasıyla 1645 cm^{-1} 'de ve 1541 cm^{-1} 'de, ham ve ekstrüde unların amid I ve amid II pikleri ise 1635 cm^{-1} 'de ve 1538 cm^{-1} 'de belirlenmiştir. Kudre et al. (2013), amid I'in C=O bağlarının gerilim titreşimleri ile, amid II'nin ise N-H bağları ve C-N gerilim titreşimleri ile ilgili olduğu ifade etmiştir (Moghadam et al., 2020). Amir et al. (2013), 4 farklı buğday ununda amid I ve amid II piklerini sırasıyla 1600 cm^{-1} ve 1550 cm^{-1} 'de tespit etmiştir. Manley et al. (2002), tam buğday unu için amid I ve amid II piklerinin sırasıyla $1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ ve $1550\text{--}1570\text{ cm}^{-1}$ aralıklarında yer aldığını ifade etmiştir (Amir et al., 2013). Martínez-Velasco et al. (2018), bakla protein izolatu kullanarak yaptıkları çalışmada, amid I pikini 1636.29 cm^{-1} 'de, amid II pikini ise 1523.54 cm^{-1} 'de tespit etmiştir. Moghadam et al. (2020), maş fasulyesi proteini için amid I ve amid II piklerini sırasıyla 1632 cm^{-1} 'de ve 1535 cm^{-1} 'de belirlemiştir. Biancolillo et al. (2022), 346 farklı mercimek örneği ile yaptıkları çalışmada amid I piklerini $1658\text{--}1664\text{ cm}^{-1}$ aralığında, amid II piklerini $1550\text{--}1551\text{ cm}^{-1}$ aralığında tespit etmiştir. Buğday unu, ham ve ekstrüde bakla, maş fasulyesi ve kırmızı mercimek unları için yapısal karbonhidratlara ait bantlar $1184\text{--}1480\text{ cm}^{-1}$ arasında, toplam karbonhidratlara ait bantlar ise $875\text{--}1184\text{ cm}^{-1}$ arasında belirlenmiştir.



E-KM: Ekstrüde kırmızı mercimek unu, E-MF: Ekstrüde maş fasulyesi unu, E-BKL: Ekstrüde bakla unu, H-KM: Ham kırmızı mercimek unu, H-MF: Ham maş fasulyesi unu, H-BKL: Ham bakla unu, BU: Buğday unu.

Şekil 4.4 Unların Fourier dönüştümlü kızılötesi spektroskopisi özellikleri

4.7. Ekmek Özellikleri

4.7.1. Ekmeklerin kalite özellikleri

Bu tez çalışmasında; buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame edilerek un paçalları hazırlanmış ve bu un paçalları kullanılarak ekmek üretimleri yapılmıştır. Ekmeklerin kalite özelliklerini belirlemek ve değerlendirmek için ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem miktarı, kül miktarı, renk değerleri (L^* , a^* , b^*) ve tekstür profil analizi uygulanarak ekmek içi sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik, esneklik değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 4.18’de buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame edilerek hazırlanan paçal unlarını kullanarak üretilen ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem miktarı, kül miktarı, renk değerleri (L^* , a^* , b^*) sunulmuştur.

Çizelge 4.18 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin kalite özellikleri.

Örnek	Hacim (cm ³)	Spesifik Hacim (cm ³ /g)	Pişme Kaybı (%)	Nem (%)	Kül* (%)	L*	a*	b*
BU-Kontrol	772.55 ± 25.09 ^A	5.15 ± 0.18 ^A	14.37 ± 0.44 ^A	37.17 ± 0.46 ^A	1.17 ± 0.01 ^E	77.99 ± 1.96 ^A	0.03 ± 0.01 ^E	12.58 ± 0.72 ^E
12.5-H-MF	636.00 ± 21.46 ^B	4.22 ± 0.15 ^B	13.95 ± 0.42 ^B	35.81 ± 0.31 ^C	1.73 ± 0.01 ^C	76.13 ± 0.22 ^B	0.62 ± 0.10 ^D	13.48 ± 0.71 ^D
25-H-MF	405.95 ± 15.99 ^D	2.62 ± 0.10 ^D	11.69 ± 0.32 ^C	36.66 ± 0.27 ^B	1.94 ± 0.01 ^A	68.23 ± 1.40 ^D	1.34 ± 0.11 ^C	17.20 ± 0.55 ^C
12.5-E-MF	617.77 ± 15.27 ^C	4.09 ± 0.11 ^C	13.85 ± 0.24 ^B	35.59 ± 0.38 ^C	1.71 ± 0.01 ^D	71.74 ± 2.63 ^C	3.23 ± 0.36 ^B	18.73 ± 1.05 ^B
25-E-MF	366.00 ± 15.90 ^E	2.32 ± 0.11 ^E	10.11 ± 0.47 ^D	36.63 ± 0.44 ^B	1.92 ± 0.01 ^B	57.92 ± 1.58 ^E	5.59 ± 0.36 ^A	20.15 ± 1.05 ^A
BU-Kontrol	772.55 ± 25.09 ^a	5.15 ± 0.18 ^a	14.37 ± 0.44 ^a	37.17 ± 0.46 ^a	1.17 ± 0.01 ^e	77.99 ± 1.96 ^a	0.03 ± 0.01 ^e	12.58 ± 0.72 ^d
12.5-H-BKL	672.37 ± 14.08 ^b	4.46 ± 0.10 ^b	13.87 ± 0.31 ^b	35.68 ± 0.30 ^c	1.92 ± 0.01 ^c	76.87 ± 1.81 ^b	0.26 ± 0.05 ^d	12.99 ± 0.67 ^d
25-H-BKL	459.31 ± 23.40 ^d	2.96 ± 0.14 ^d	11.60 ± 0.36 ^d	36.32 ± 0.38 ^b	2.16 ± 0.01 ^a	75.63 ± 1.33 ^c	0.71 ± 0.10 ^c	17.86 ± 0.67 ^c
12.5-E-BKL	515.39 ± 11.34 ^c	3.40 ± 0.08 ^c	13.44 ± 0.47 ^c	35.56 ± 0.17 ^c	1.90 ± 0.01 ^d	73.49 ± 2.01 ^d	2.38 ± 0.29 ^b	20.93 ± 0.96 ^b
25-E-BKL	273.50 ± 2.89 ^e	1.72 ± 0.02 ^e	9.38 ± 0.36 ^e	36.39 ± 0.33 ^b	2.14 ± 0.01 ^b	66.91 ± 1.58 ^e	5.24 ± 0.34 ^a	25.38 ± 1.07 ^a
BU-Kontrol	772.55 ± 25.09 ^a	5.15 ± 0.18 ^a	14.37 ± 0.44 ^a	37.17 ± 0.46 ^a	1.17 ± 0.01 ^e	77.99 ± 1.96 ^a	0.03 ± 0.014 ^e	12.58 ± 0.72 ^e
12.5-H-KM	597.67 ± 17.87 ^b	3.92 ± 0.13 ^b	12.94 ± 0.44 ^b	35.32 ± 0.68 ^c	1.37 ± 0.01 ^c	73.28 ± 2.56 ^b	1.42 ± 0.11 ^d	18.97 ± 1.15 ^d
25-H-KM	457.16 ± 14.47 ^d	2.94 ± 0.11 ^d	11.31 ± 0.52 ^d	36.18 ± 0.56 ^b	1.54 ± 0.01 ^a	71.75 ± 2.01 ^c	1.89 ± 0.36 ^c	20.46 ± 1.38 ^c
12.5-E-KM	540.44 ± 15.68 ^c	3.51 ± 0.12 ^c	12.12 ± 0.40 ^c	35.27 ± 1.06 ^c	1.34 ± 0.01 ^d	67.40 ± 1.71 ^d	3.36 ± 0.28 ^b	25.17 ± 1.20 ^b
25-E-KM	335.86 ± 6.42 ^e	2.15 ± 0.04 ^e	10.79 ± 0.22 ^e	36.07 ± 0.69 ^b	1.51 ± 0.01 ^b	65.66 ± 0.99 ^e	4.25 ± 0.27 ^a	34.02 ± 1.04 ^a

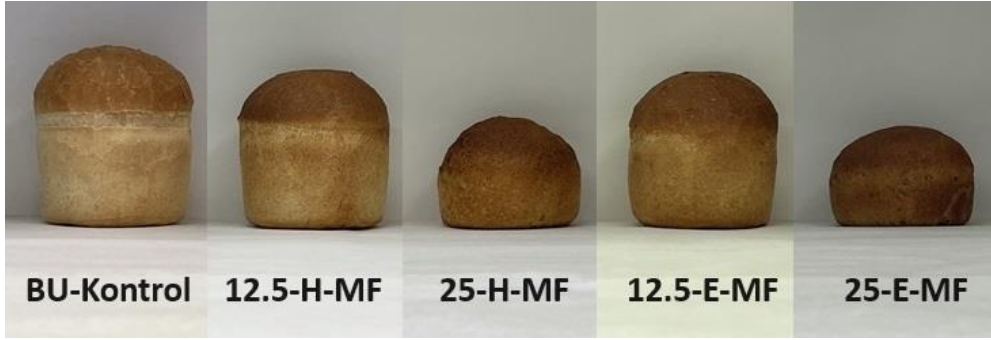
BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-MF: %12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-MF: %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-BKL: %25 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-BKL: %12.5 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-BKL: %25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-KM: %25 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-KM: %12.5 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-KM: %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

*: kuru maddede.

Tabloda yer alan değerler, analizlerde elde edilen analiz sonuçlarının ortalama değerlerini ve ± standart sapma değerlerini göstermektedir. Aynı sütunda yer alan üst indis büyük harfler ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan üst indis küçük harfler ham ve ekstrüde bakla unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan üst indis küçük italik harfler ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

n=12: Hacim, spesifik hacim, pişme kaybı için. n=4: Nem için. n=3: Kül için. n=24: Renk değerleri (L*, a*, b*) için.

Çizelge 4.18 incelendiğinde; buğday ekmeğinin (kontrol ekmeği) en yüksek hacim (772.55 cm^3) ve spesifik hacim ($5.15 \text{ cm}^3/\text{g}$) değerlerine sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde ham ve ekstrüde maş fasulyesi unlarının ilave oranı %12.5'ten %25'e arttığında ekmek hacminde de önemli seviyede bir azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesi ile üretilen ekmek örnekleri arasında en düşük hacim (366.00 cm^3) ve spesifik hacim ($2.32 \text{ cm}^3/\text{g}$) değerlerine %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeğin sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ekmek hacminde buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unlarının ilave oranı %12.5'den %25'e arttığında ise ekmek hacmi daha da azalmıştır ($p<0.05$). Aynı oranda ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin hacim değerleri incelendiğinde; ekstrüde maş fasulyesi unu ile üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin (12.5-E-MF hacim: 617.77 cm^3 , spesifik hacim: $4.09 \text{ cm}^3/\text{g}$; %25-E-MF hacim: 366.00 cm^3 , spesifik hacim: $2.32 \text{ cm}^3/\text{g}$) ham maş fasulyesi unu ile üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerine (12.5-H-MF hacim: 636.00 cm^3 , spesifik hacim: $4.22 \text{ cm}^3/\text{g}$; 25-H-MF hacim: 405.95 cm^3 , spesifik hacim: $2.62 \text{ cm}^3/\text{g}$) göre daha düşük olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikame edilerek hazırlanan paçal unlarını kullanarak üretilen ekmeklerin dış görünüşleri ve ekmek içi görünüşleri sırasıyla Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da sunulmuştur.



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-MF: %12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-MF: %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.5 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-MF: %12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-MF: %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.6 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmeği içi görünüşleri.

Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin pişme kaybı ve nem sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek değerlere (sırasıyla %14.37 ve %37.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ekmeğin pişme kaybı ve nem değerlerinde buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel bakımdan önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unlarının ilave oranı arttıkça pişme kaybı değeri daha da azalmıştır ($p<0.05$). %25 oranında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem

değerlerinin (sırasıyla %36.66 ve %36.63) %12.5 oranında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem değerlerine (sırasıyla %35.81 ve %35.59) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ancak, aynı oranda ilave edilen ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ile üretilen ekmeklerin nem değerleri arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.18’de yer alan kül değerleri incelendiğinde; en düşük değere (%1.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ekmeğin kül miktarında önemli seviyede bir artış meydana getirmiştir ($p<0.05$). %12.5 oranında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin kül miktarları istatistiksel bakımdan farklı olsa da birbirine yakın değerlerdedir (sırasıyla %1.73 ve %1.71) ($p>0.05$). Benzer şekilde, %25 oranında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin kül miktarları da istatistiksel bakımdan farklı olsa da birbirine yakın değerlerdedir (sırasıyla %1.94 ve %1.92) ($p>0.05$).

Ekmeklerin ekmek içi renk değerleri (L^* , a^* , b^*) incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek L^* değerine (77.99) ve en düşük a^* ve b^* (sırasıyla 0.03 ve 12.58) değerlerine buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ekstrüzyon işlemi maş fasulyesi ununun rengini koyulaştırdığı için ekmek üretiminde ekstrüde un kullanılması ekmek içi rengini koyulaştırmıştır. Özellikle %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeğin L^* değerinin (57.92) diğer örneklerle göre daha düşük, a^* ve b^* değerlerinin ise (sırasıyla 5.59 ve 20.15) daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ham ve ekstrüde bakla unu ikamesi ile üretilen ekmek örnekleri arasında en düşük hacim (273.50 cm^3) ve spesifik hacim ($1.72 \text{ cm}^3/\text{g}$) değerlerine %25 ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğin sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unları ekmek hacminde buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.7 ve 4.8).



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-BKL: %25 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-BKL: %12.5 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-BKL: %25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.7 Ham ve ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-BKL: %25 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-BKL: %12.5 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-BKL: %25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.8 Ham ve ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin içi görünüşleri.

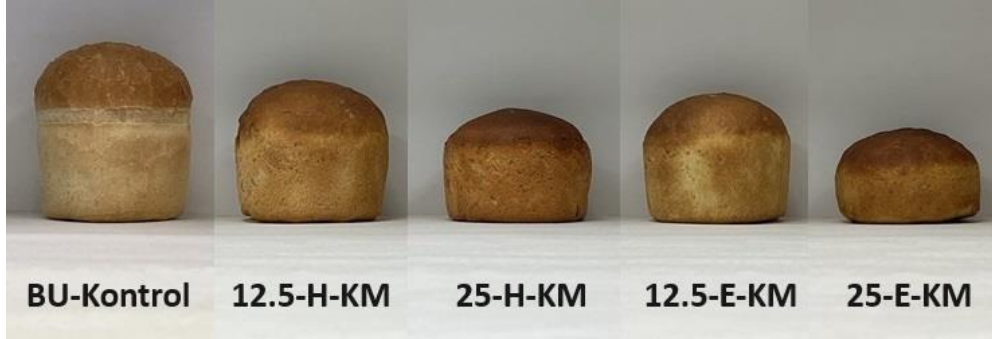
Ham ve ekstrüde bakla unlarının ilave oranı %12.5'den %25'e arttığında ise ekmeğin hacmi daha da azalmıştır ($p < 0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unları buğday ununa aynı oranda ilave edilerek ekmeğin üretilmesinde, ekstrüde bakla unları ile üretilen ekmeklerin hacim değerlerinin (12.5-E-BKL hacim: 515.39 cm^3 , spesifik hacim: $3.40 \text{ cm}^3/\text{g}$; %25-E-BKL hacim: 273.50 cm^3 , spesifik hacim: $1.72 \text{ cm}^3/\text{g}$) ham bakla unları ile üretilen ekmeklerin hacim değerlerine (12.5-H-BKL hacim: 672.37 cm^3 , spesifik hacim: $4.46 \text{ cm}^3/\text{g}$; 25-H-BKL hacim: 459.31 cm^3 , spesifik hacim: $2.96 \text{ cm}^3/\text{g}$) kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Ham ve ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin pişme kaybı ve nem sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek değerlere (pişme kaybı: %14.37; nem: %37.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unları ekmeğin pişme kaybı ve nem değerlerinde buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel bakımdan önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unlarının ilave oranı arttıkça pişme kaybı değeri daha da azalmıştır ($p<0.05$). %25 oranında ham ve ekstrüde bakla unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem değerlerinin (sırasıyla %32.36 ve %32.39) %12.5 oranında ham ve ekstrüde bakla unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem değerlerine (sırasıyla %35.68 ve %35.56) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ancak, aynı oranda ilave edilen ham ve ekstrüde bakla unları ile üretilen ekmeklerin nem değerleri arasında istatistiksel bakımdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.18’de yer alan kül değerleri incelendiğinde; en düşük değere (%1.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unları ekmeğin kül miktarında önemli seviyede bir artış meydana getirmiştir ($p<0.05$). %12.5 oranında ham ve ekstrüde bakla unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin kül miktarları istatistiksel bakımdan farklı olsa da birbirine yakın değerlerdedir (sırasıyla %1.92 ve %1.90). Benzer şekilde, %25 oranında ham ve ekstrüde bakla unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin kül miktarları da istatistiksel bakımdan farklı olsa da birbirine yakın değerlerdedir (sırasıyla %2.16 ve %2.14).

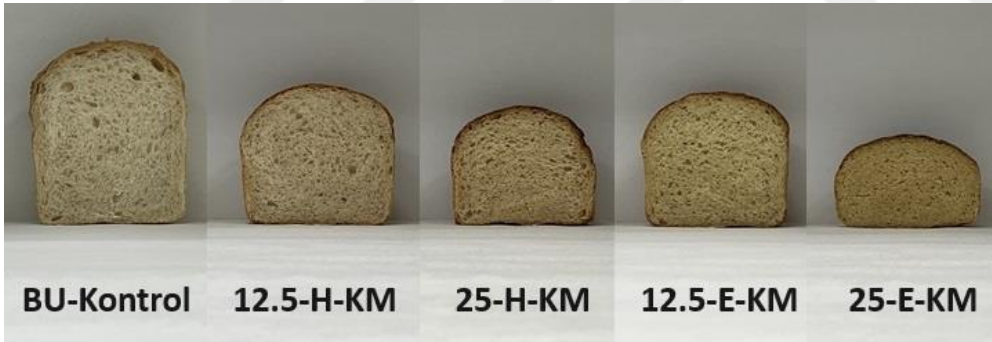
Ekmeklerin ekmek içi renk değerleri (L^* , a^* , b^*) incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek L^* değerine (77.99) ve en düşük a^* ve b^* (sırasıyla 0.03 ve 12.58) değerlerine buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ekstrüzyon işlemi bakla ununun rengini koyulaştırdığı için ekmek üretiminde ekstrüde un kullanılması ekmek içi rengini koyulaştırmıştır. Özellikle %25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğin L^* değerinin (66.91) diğer örneklerle göre daha düşük, a^* ve b^* değerlerinin ise (sırasıyla 5.24 ve 25.38) daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 4.18’de; ekmek üretiminde ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarının ilave oranı %12.5’ten %25’e arttığında ekmek hacminde de önemli seviyede bir azalma meydana geldiği görülmektedir ($p<0.05$) (Şekil 4.9 ve 4.10).



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 25-H-KM: %25 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 12.5-E-KM: %12.5 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 25-E-KM: %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek.

Şekil 4.9 Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin dış görünüşleri.



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 25-H-KM: %25 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 12.5-E-KM: %12.5 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek; 25-E-KM: %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmek.

Şekil 4.10 Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin ekmek içi görünüşleri.

Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikame edilerek üretilen ekmek örnekleri arasında en düşük hacim (335.86 cm^3) ve spesifik hacim ($2.15 \text{ cm}^3/\text{g}$) değerlerine %25 ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeğin sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları

ekmek hacminde buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarının ilave oranı %12.5'den %25'e arttığında ise ekmek hacmi daha da azalmıştır ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları buğday ununa aynı oranda ilave edilerek ekmek üretildiğinde, ekstrüde kırmızı mercimek unları ile üretilen ekmeklerin hacim değerlerinin (12.5-E-KM hacim: 540.44 cm^3 , spesifik hacim: $3.51 \text{ cm}^3/\text{g}$; %25-E-KM hacim: 335.86 cm^3 , spesifik hacim: $2.15 \text{ cm}^3/\text{g}$) ham bakla unları ile üretilen ekmeklerin hacim değerlerine (12.5-H-KM hacim: 597.67 cm^3 , spesifik hacim: $3.92 \text{ cm}^3/\text{g}$; 25-H-KM hacim: 457.16 cm^3 , spesifik hacim: $2.94 \text{ cm}^3/\text{g}$) kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Buğday unu ile %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikame edilerek hazırlanan paçal unlarını kullanarak üretilen ekmeklerin dış görünüşleri ve ekmek içi görünüşleri sırasıyla Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da sunulmuştur.

Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin pişme kaybı ve nem sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek değerlere (pişme kaybı: %14.37; nem: %37.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları ekmeğın pişme kaybı ve nem değerlerinde buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel bakımdan önemli seviyede bir azalma meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarının ilave oranı arttıkça pişme kaybı değeri daha da azalmıştır ($p<0.05$). %25 oranında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem değerlerinin (sırasıyla %36.18 ve %36.07) %12.5 oranında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin nem değerlerine (sırasıyla %35.32 ve %35.27) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ancak, aynı oranda ilave edilen ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları ile üretilen ekmeklerin nem değerleri arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.18'de yer alan kül değerleri incelendiğinde; en düşük değere (%1.17) buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unları ekmeğın kül miktarında önemli seviyede bir artış meydana getirmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarının ilave oranı arttığında ekmeklerin kül değerinin de arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ekmeklerin ekmek içi renk değerleri (L^* , a^* , b^*) incelendiğinde (Çizelge 4.18); en yüksek L^* değerine (77.99) ve en düşük a^* ve b^* (sırasıyla 0.03 ve 12.58) değerlerine buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ekstrüzyon işlemi kırmızı mercimek ununun rengini koyulaştırdığı için ekmek üretiminde ekstrüde un kullanılması ekmek içi rengini koyulaştırmıştır. Özellikle %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeğin L^* değerinin (65.66) diğer örneklerle göre daha düşük, a^* ve b^* değerlerinin ise (sırasıyla 4.25 ve 34.02) daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ekmek hacmi, ekmek kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kalite ölçütlerinden biridir (Bruckner et al., 2001; Ni et al., 2020). Buğday unu ile farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame edilerek elde edilen paçal unlarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim sonuçları değerlendirildiğinde; buğday ekmeğinin en yüksek hacim ve spesifik hacim değerine sahip olduğu görülmektedir. Buğday unu, buğday harici tahılların unları veya baklagil unları ile ikame edilerek ekmek üretildiğinde, elde edilen ekmeklerin hacmi ikame oranına da bağlı olarak, buğday unu ile üretilen ekmeğin hacmine göre daha düşük seviyede olmaktadır. Farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikamesi ile üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin buğday ekmeğine kıyasla daha düşük olmasının sebeplerinden bir tanesi; ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren paçal unlarından elde edilen hamurlarda ekmeğin gaz tutma kapasitesi üzerinde etkili başlıca faktörlerden biri olan gluten ağlarının oluşumunun düşük seviyede olmasıdır. Ekmek üretiminde, yoğurma aşamasında, gliadinler ve gluteninlerden oluşan gluten proteinleri (Delcour et al., 2012; MacRitchie, 2014; Wang et al., 2015; Gao et al., 2020; Yu et al., 2021; Hu et al., 2023) suyu absorbe ederek hidrate olmakta ve hamur içinde gluten ağlarını oluşturmaktadır (Ooms and Delcour, 2019). Gluten proteinleri, özellikle glutenin, hamurun uzayabilirliği, gaz tutma kapasitesi ve ekmek hacmi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Goesaert et al., 2005; Caballero et al., 2007; Zandonadi et al., 2009; Batista et al., 2011). Bunun yanında, gluten ve nişastanın oluşturduğu gluten-nişasta matrisi de ekmek hacmi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Shevkani et al. (2017), nişastanın buğday ununun hamurunun viskoelastik

özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir (Hu et al., 2023). Dobraszczyk (1997); Sroan et al. (2009); gluten ağlarının ve gluten-niştasta matrisinin hamurun uzayabilirlik, elastikiyet ve sertlik özelliklerini belirlediğini ifade etmiştir. Ekmek üretiminde, fermantasyon sırasında oluşan karbondioksit gazı, gluten ağları arasında birikmekte, hamur içindeki gluten hücreleri genişlemekte, bu sayede hamur hacminde ve buna bağlı olarak ekmek hacminde bir artış meydana gelmektedir (Ortolan and Steel, 2017; Hu et al., 2023). Bunun yanında, gluten-niştasta matrisinin gluten ağlarını kuvvetlendiren bir etkiye sahip olduğu ve bu etkinin sonucunda fermantasyon aşamasında içinde karbondioksit gazı biriken gluten ağlarının gaz tutma stabilitesinin arttığı ifade edilmiştir (Hoseney, 1992; Sroan et al., 2009). Maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek gluten proteinlerini içermediği için, buğday unu ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ile ikame edildiğinde toplam paçal unu kütlesi içindeki gluten proteinlerinin miktarı ikame oranındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Bu sebeple, farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından hazırlanan hamurlardaki gluten ağları oluşumunun buğday unu kullanılarak hazırlanan hamura kıyasla ikame oranındaki artışa bağlı olarak daha düşük seviyede olduğu ifade edilebilir. Bu durum, hamurun gaz tutma kapasitesinde bir azalmaya sebep olduğu için ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerleri buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede düşüktür ($p<0.05$) ve ikame oranı %12.5'dan % 25'e yükseldiğinde ekmek hacmi ve spesifik hacim değerleri daha da azalmıştır ($p<0.05$).

Buğday unu ile farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame edilerek hazırlanan paçal unlarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede düşük olmasının diğer bir sebebinin de buğday unu ile paçal unlarının sahip olduğu lif oranındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Wang et al. (2002), undaki lif oranının ekmek hacmi üzerinde olumsuz bir etki gösterdiği ve ekmek hacminde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Bu tez çalışmasında, buğday unu, ham maş fasulyesi unu, bakla unu

ve kırmızı mercimek ununun toplam diyet lifi miktarlarının sırasıyla %2.16, %24.24, %18.35 ve %16.94 olduğu belirlenmiştir. Ham maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unlarının toplam diyet lifi miktarları buğday ununun diyet lifi miktarına kıyasla daha yüksek seviyede olduğu için, ikame oranındaki artışa bağlı olarak paçal unlarında toplam un kütlesi içindeki diyet lifi oranı da artmaktadır. Bu durum, paçal unlarından elde edilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede düşük olmasına neden olmuştur ($p<0.05$).

Aynı ikame oranına sahip ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerleri kıyaslandığında ise ekstrüde unlar kullanılarak hazırlanan un paçallarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin ham unlar kullanılarak hazırlanan un paçallarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerine kıyasla önemli seviyede düşük olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu bulgunun, ekstrüde unlardaki jelatinize olmuş nişasta ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kusunose et al. (1999); Mills et al. (2003), nişasta jelatinizasyonunun hamurun gaz tutma kapasitesi üzerinde önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir. Pişirme işlemi sırasında, nişasta jelatinizasyonu, içinde gaz biriken gluten ağlarının hücre duvarlarını katılaştırmakta ve hamurun ve buna bağlı olarak ekmeğin hacim kazanmasını engellemektedir. (Hu et al., 2023), pişirme işlemi sırasında hamurun hacim kazanması için nişastanın erken jelatinize olmaması gerektiğini belirtmiştir. Bu tez çalışmasında, ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçallarındaki nişastanın bir kısmı ekstrüzyon işlemi sebebiyle jelatinize durumda olduğu için bu un paçallarından elde edilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin, ham maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçallarından üretilen ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerine kıyasla önemli seviyede düşük olduğu bulunmuştur ($p<0.05$).

Wang et al. (2018), %70 buğday unu:%30 bakla unu paçalından ekmek üretmiş ve bu un paçalından üretilen ekmeğin spesifik hacim değerinin buğday unundan üretilen ekmeğin spesifik hacim değerine kıyasla önemli seviyede düşük olduğunu belirlemiştir. Coda et al. (2017), %70 buğday unu:%30 bakla unu

paçalından ekmek üretmiştir. Coda et al. (2017) çalışmasında, buğday ekmeği ile paçal unundan üretilen ekmeğin spesifik hacim değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark belirlemese de un paçalından üretilen ekmeğin spesifik hacim değerinin buğday unundan üretilen ekmeğin spesifik hacim değerine kıyasla daha düşük seviyede olduğunu tespit etmiştir. Ajo (2013), buğday ununa %5, 10 ve 15 oranlarında bakla unu ikame ederek “Kmaj” ekmeği üretmiş ve çalışmanın sonucunda bakla unu ikamesi ile üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerlerinin buğday unu ile üretilen ekmeğin spesifik hacim değerine kıyasla önemli seviyede düşük olduğunu belirlemiştir. Aynı çalışmada, buğday ununa %5, 10 ve 15 oranlarında bakla unu ikame edilerek üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerleri arasında istatistiksel açıdan bir fark olmadığı tespit edilse de ikame oranındaki artışa bağlı olarak ekmek hacminde bir azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Dabels et al. (2016), buğday unu, “acha” unu ve maş fasulyesi unu kullanarak hazırladığı paçal unundan ekmek üretmiş ve ekmek örnekleri arasında buğday ekmeğinin en yüksek spesifik hacim değerine sahip olduğunu tespit etmiştir. Menon et al. (2015), farklı oranlarda buğday unu, soya fasulyesi unu, filizlenmiş maş fasulyesi unu ve mango çekirdeği unu kullanarak hazırladığı un paçalından ekmek üretmiş ve ekmek örnekleri arasında buğday ekmeğinin en yüksek spesifik hacim değerine sahip olduğunu belirlemiştir.

Bu tez çalışmasında üretilen ekmeklerin pişme kaybı sonuçları değerlendirildiğinde; en yüksek pişme kaybı değerine buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame oranı %12.5’den %25’e çıktığında ise ekmeklerin pişme kaybı değerleri önemli seviyede azalmıştır ($p<0.05$). Pişme kaybında meydana gelen bu azalmanın un paçallarının su kaldırma kapasiteleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda, buğday ununun su kaldırma değerinin %58.5 ile un örnekleri arasında en yüksek değere sahip olduğu ve ikame oranı arttıkça ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçallarının su kaldırma değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçallarından üretilen ekmeklerin pişme kaybı değerlerinin de ikame oranı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Menon et al. (2015), farklı oranlarda buğday unu, soya fasulyesi unu, filizlenmiş maş fasulyesi unu ve

mango çekirdeği unu kullanarak hazırladığı un paçalından ekmek üretmiş ve ekmek örnekleri arasında buğday ekmeğinin en yüksek pişme kaybı değerine sahip olduğunu belirlemiştir.

Ekmek nem miktarı sonuçları değerlendirildiğinde; en yüksek nem miktarına buğday ekmeğinin sahip olduğu, ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame oranı %12.5'den %25'e çıktığında ise ekmeklerin nem miktarının önemli seviyede azaldığı görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame oranı arttıkça ekmeklerin nem miktarı istatistiksel olarak azalmasına rağmen, bu durum ekmek kalitesi açısından değerlendirildiğinde; ikame oranına bağlı olarak ekmek nemindeki azalmanın önemli seviyede bir azalma olmadığı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında üretilen ekmeklerin ekmek içi renk değerleri (L^* , a^* , b^*) incelendiğinde; en yüksek L^* değerine ve en düşük a^* ve b^* değerlerine buğday ekmeğinin sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ikame oranı arttıkça ekmeklerin ekmek içi L^* değerleri önemli seviyede azalmış, a^* ve b^* değerleri ise önemli seviyede artmıştır ($P<0.05$). Ekmek örneklerinin ekmek içi renk değerlerindeki bu farklılığın çalışmada kullanılan unların renk değerleri arasındaki farklara bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir.

4.7.2. Ekmeklerin doku profili analizi

Bu tez çalışmasında tekstür profil analizi ile ölçülen ekmek içi tekstürel özellikleri; sertlik (hardness), elastikiyet (springiness), iç yapışkanlık (cohesiveness), çiğnenebilirlik (chewiness) ve esneklik (resilience)'tir. Sertlik; örneklerin sıkıştırılmasında gerekli olan maksimum kuvveti ifade etmektedir. Elastikiyet; örnek üzerine uygulanan kuvvet kaldırıldığında onun geri orijinal formuna dönme yeteneğini ifade etmektedir. İç yapışkanlık; örneklerin çiğnenirken dişlere yapışma kuvvetini göstermektedir. Çiğnenebilirlik; örneklerin ağza alındığında dişler tarafından parçalanabilmesi için gerekli olan enerjiyi

göstermektedir. Esneklik ise örneklerin geri kazanım oranlarının bir ölçüsüdür (Yüksel, 2019).

Buğday ekmeği (kontrol ekmeği), %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi sertlik değerinin 91.61 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerlerinin ise 176.44 g–916.78 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir. En düşük ekmek içi sertlik değerine sahip örneğin buğday ekmeği olduğu (91.61 g) ve en yüksek ekmek içi sertlik değerine sahip örneğin ise %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesi ile elde edilen ekmek (916.78 g) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde buğday ununun hem ham maş fasulyesi unu hem de ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilmesinin ekmeklerin ekmek içi sertliğini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede arttırdığı ve ekmek içinin daha sert bir yapı kazandığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde maş fasulyesi unlarının her ikisi için de %12.5 oranında ikamesinin, ekmek içi sertlik değerinde meydana getirdiği artış, %25 ikame oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, %12.5 oranındaki ham ve ekstrüde maş fasulyesi ikamesi ile üretilen ekmeklerin sertlik değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça ekmek içi sertlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). %25 ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesi ile ekmek içinin oldukça sert bir yapı kazandığı, bu sertliğin buğday ekmeğinin ekmek içi sertlik değerinin yaklaşık 10 katı bir değerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$).

Çizelge 4.19 Ham ve ekstrüde maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin içi tekstür özellikleri.

Örnek	Sertlik (g)	Elastikiyet	İç yapışkanlık	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
BU-Kontrol	91.61 ± 6.63 ^E	0.47 ± 0.02 ^A	0.37 ± 0.02 ^D	15.82 ± 1.11 ^E	0.15 ± 0.01 ^E
12.5-H-MF	179.77 ± 12.28 ^D	0.44 ± 0.02 ^B	0.48 ± 0.02 ^A	39.64 ± 2.52 ^D	0.20 ± 0.01 ^A
25-H-MF	758.89 ± 44.16 ^B	0.44 ± 0.01 ^B	0.47 ± 0.01 ^A	158.44 ± 9.38 ^B	0.19 ± 0.01 ^B
12.5-E-MF	376.44 ± 12.05 ^C	0.34 ± 0.02 ^D	0.40 ± 0.02 ^C	44.76 ± 1.74 ^C	0.17 ± 0.01 ^D
25-E-MF	916.78 ± 51.36 ^A	0.42 ± 0.02 ^C	0.46 ± 0.02 ^B	226.68 ± 8.08 ^A	0.17 ± 0.01 ^C
BU-Kontrol	91.61 ± 6.63 ^e	0.47 ± 0.02 ^a	0.37 ± 0.02 ^b	15.82 ± 1.11 ^e	0.15 ± 0.01 ^d
12.5-H-BKL	150.42 ± 10.35 ^d	0.42 ± 0.02 ^c	0.47 ± 0.02 ^a	31.22 ± 2.06 ^d	0.19 ± 0.01 ^a
25-H-BKL	545.40 ± 35.70 ^b	0.44 ± 0.02 ^b	0.46 ± 0.02 ^a	105.43 ± 7.35 ^b	0.19 ± 0.01 ^b
12.5-E-BKL	331.18 ± 19.25 ^c	0.30 ± 0.01 ^d	0.37 ± 0.01 ^b	36.43 ± 2.14 ^c	0.16 ± 0.01 ^c
25-E-BKL	1718.81 ± 51.23 ^a	0.31 ± 0.01 ^d	0.34 ± 0.01 ^c	178.89 ± 5.59 ^a	0.14 ± 0.01 ^c
BU-Kontrol	91.61 ± 6.63 ^e	0.47 ± 0.02 ^a	0.37 ± 0.02 ^d	15.82 ± 1.11 ^e	0.15 ± 0.01 ^e
12.5-H-KM	417.17 ± 27.54 ^d	0.45 ± 0.03 ^b	0.51 ± 0.02 ^a	46.97 ± 2.45 ^d	0.22 ± 0.01 ^a
25-H-KM	815.30 ± 32.28 ^b	0.46 ± 0.02 ^{ab}	0.47 ± 0.02 ^b	170.77 ± 7.99 ^b	0.20 ± 0.01 ^b
12.5-E-KM	639.12 ± 37.57 ^c	0.38 ± 0.02 ^d	0.46 ± 0.02 ^b	53.09 ± 3.49 ^c	0.20 ± 0.01 ^c
25-E-KM	1112.40 ± 66.58 ^a	0.43 ± 0.02 ^c	0.44 ± 0.01 ^c	240.11 ± 10.94 ^a	0.16 ± 0.01 ^d

BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-MF: %12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Tabloda yer alan değerler, analizlerde elde edilen analiz sonuçlarının ortalama değerlerini ve ± standart sapma değerlerini göstermektedir (n=16). Aynı sütunda yer alan harfler ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda üst indis küçük harfler ham ve ekstrüde bakla unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan üst indis büyük harfler ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile üretilen ekmekler arasında istatistiksel anlamda önemli seviyede fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait elastikiyet değerinin 0.47 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin elastikiyet değerlerinin ise 0.34–0.44 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında ve buğday ekmeğine kıyasla, en düşük elastikiyet değerine sahip ekmeğin %12.5 ekstrüde maş fasulyesi unu ikameli ekmek olduğu (0.34), en yüksek elastikiyet değerine sahip ekmeğin ise buğday ekmeği olduğu (0.47) belirlenmiştir ($p<0.05$). Her iki oranda ham maş fasulyesi unu ikamesinin elastikiyet değerini buğday ekmeğine kıyasla azalttığı belirlense de ham maş fasulyesi unu ikameleri kendi aralarında değerlendirildiğinde ekmeklerin elastikiyet değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Ham maş fasulyesi unu ikamelerinin ekstrüde maş fasulyesi unu ikamelerine kıyasla daha yüksek elastikiyet değerlerine sahip olduğu ve buna bağlı olarak ekstrüde maş fasulyesi unu ikameli ekmeklere kıyasla ham maş fasulyesi unu ikameli ekmeklerin daha elastik bir yapıda olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine hem ham hem de ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesinin ekmeğin elastikiyetini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ekmeklerin ekmek içi yapışkanlık değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait iç yapışkanlık değerinin 0.37 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin iç yapışkanlık değerlerinin ise 0.40–0.48 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında en düşük iç yapışkanlık değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu, buğday ununa hem ham hem de ekstrüde maş fasulyesi unu ilavesinin ekmeğin iç yapışkanlık değerini önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham maş fasulyesi unu ikamelerinin ekstrüde maş fasulyesi unu ikamelerine kıyasla daha yüksek iç yapışkanlık değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Buğday ununa ham maş fasulyesi unu ikame edildiğinde iç yapışkanlık değerinde istatistiksel açıdan önemli bir artış meydana gelmiş ancak ikame edilen ham maş fasulyesi oranı arttıkça iç yapışkanlık değerinde meydana gelen azalmanın istatistiksel açıdan

önemli olmadığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine hem ham maş fasulyesi unu hem de ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesinin ekmeğin iç yapışkanlık değerinde önemli derecede bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$).

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait çiğnenebilirlik değerinin 15.82 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerlerinin ise 24.76 g–158.44 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir. En düşük çiğnenebilirlik değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu (15.82 g) ve en yüksek çiğnenebilirlik değerine sahip ekmeğin ise %25 oranında ham maş fasulyesi unu ikamesi ile elde edilen ekmek (158.44 g) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde buğday ununun hem ham maş fasulyesi unu hem de ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilmesinin ekmeklerin çiğnenebilirlik değerini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu bulgular, buğday ekmeğine kıyasla ve genel olarak değerlendirildiğinde; her iki un çeşidi için de ikame oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerinin önemli derecede arttığı, ayrıca ham maş fasulyesi unu ikamesinin aynı orandaki ekstrüde maş fasulyesi unu ikamesine kıyasla çiğnenebilirlik değerinde daha yüksek oranda bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$).

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi esneklik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait esneklik değerinin 0.15 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin esneklik değerlerinin ise 0.17–0.20 arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir. En düşük esneklik değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu (0.15), en yüksek

esneklik değerine sahip ekmeğin ise %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ikamesi ile elde edilen ekmek (0.20) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham maş fasulyesi unu ikameli ekmeklerin esneklik değerlerinin ekstrüde maş fasulyesi unu ikameli ekmeklere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham maş fasulyesi unu ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; esneklik değerinin ham maş fasulyesi unu ikameli örnekler için ikame oranı arttıkça azaldığı, ancak ekstrüde maş fasulyesi unu ikameli örnekler için ise ikame oranı arttıkça arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu ikamelerinin ekmeğin esneklik değerini önemli derecede arttırdığı ($p<0.05$) sonucuna ulaşılmıştır.

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde bakla unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi sertlik değerinin 91.61 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerlerinin ise 150.42 g–545.40 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir.

En düşük ekmek içi sertlik değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu (91.61 g) ve en yüksek ekmek içi sertlik değerine sahip örneğin ise %25 oranında ekstrüde bakla unu ikamesi ile elde edilen ekmek (1718.81 g) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde buğday ununun hem ham bakla unu hem de ekstrüde bakla unu ile ikame edilmesinin ekmeklerin ekmek içi sertliğini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede arttırdığı ve ekmek içinin daha sert bir yapı kazandığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde bakla unlarının her ikisi için de %12.5 oranında ikamesinin, ekmek içi sertlik değerinde meydana getirdiği artış, %25 ikame oranlarına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Ham bakla ununun %12.5 oranında ikamesinin buğday ekmeğinin sertliğini yaklaşık %39 oranında arttırdığı, buna karşılık ekstrüde bakla ununun %12.5 oranında ikamesinin buğday ekmeğinin sertliğini yaklaşık %72 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça ekmek içi sertlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu bulgular,

buğday ekmeğine kıyasla ve genel olarak değerlendirildiğinde; her iki un çeşidi için de ikame oranı arttıkça ekmek içi sertliğinin önemli derecede arttığı, ayrıca ekstrüde bakla unu ikamesinin aynı orandaki ham bakla unu ikamesine kıyasla ekmek içi sertliğinde daha yüksek oranda bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır. %25 ekstrüde bakla unu ikamesi ile ekmek içinin oldukça sert bir yapı kazandığı, bu sertliğin buğday ekmeğinin ekmek içi sertlik değerinin yaklaşık 19 katı bir değerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$).

Ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait elastikiyet değerinin 0.47 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerlerinin ise 0.30–0.44 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında ve buğday ekmeğine kıyasla, en düşük ekmek içi elastikiyet değerine sahip ekmeğin %12.5 ekstrüde bakla unu ikameli ekmek olduğu (0.30), en yüksek ekmek içi elastikiyet değerine sahip ekmeğin ise buğday ekmeği olduğu (0.47) belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham bakla unu ikamelerinin ekstrüde bakla unu ikamelerine kıyasla daha yüksek elastikiyet değerlerine sahip olduğu ve buna bağlı olarak ekstrüde bakla unu ikameli ekmeklere kıyasla ham bakla unu ikameli ekmeklerin daha elastik bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Buğday ununa ikame edilen ham bakla unu oranı arttıkça elastikiyet değeri de istatistiksel açıdan önemli derecede artmış ($p<0.05$) ancak, ekstrüde bakla unu ikame oranları kendi içinde kıyaslandığında ise ekstrüde bakla unu ikame oranı arttıkça elastikiyet değerinde istatistiksel açıdan önemli olmayan bir artış meydana geldiği belirlenmiştir ($p>0.05$). Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine hem ham hem de ekstrüde bakla unu ikamesinin ekmeğin elastikiyetini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ekmeklerin ekmek içi yapışkanlık değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi yapışkanlık değerinin 0.37 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin iç yapışkanlık değerlerinin ise 0.34–0.47 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında ve buğday ekmeğine kıyasla, en düşük ekmek içi yapışkanlık değerine sahip örneğin %25 ekstrüde

bakla unu ikameli ekmek olduğu (0.34), en yüksek ekmek içi yapışkanlık değerine sahip ekmeğin ise %12.5 ham bakla unu ikameli ekmek olduğu (0.47) belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham bakla unu ikamelerinin ekstrüde bakla unu ikamelerine kıyasla daha yüksek ekmek içi yapışkanlık değerlerine sahip olduğu ve buna bağlı olarak ekstrüde bakla unu ikameli ekmeklere kıyasla ham bakla unu ikameli ekmeklerin kırılma kabiliyetinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buğday ununa ham bakla unu ikame edildiğinde ekmek içi yapışkanlık değerinde istatistiksel açıdan önemli bir azalma meydana gelmiş ancak ikame edilen ham bakla oranı arttıkça iç yapışkanlık değerinde meydana gelen azalmanın istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Buğday ekmeği ile %12.5 ekstrüde bakla ekmeğinin iç yapışkanlık değerleri arasında ise istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine ham bakla unu ikamesinin ekmeğin iç yapışkanlık değerini arttırdığı, ekstrüde bakla unu ikamesinin ise %12.5 oranında iken iç yapışkanlık değerinde önemli bir değişme meydana getirmediği ancak %25 oranına çıkarıldığında iç yapışkanlık değerini önemli derecede arttırdığı ($p<0.05$) sonucuna ulaşılmıştır.

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5, 25) ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait çiğnenebilirlik değerinin 15.82 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerlerinin ise 31.22 g–178.89 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir. En düşük çiğnenebilirlik değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu (15.82 g) ve en yüksek çiğnenebilirlik değerine sahip ekmeğin ise %25 oranında ekstrüde bakla unu ikamesi ile elde edilen ekmek (178.89 g) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde buğday ununun hem ham bakla unu hem de ekstrüde bakla unu ile ikame edilmesinin ekmeklerin çiğnenebilirlik değerini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu bulgular, buğday ekmeğine kıyasla ve genel olarak değerlendirildiğinde; her iki un çeşidi için de ikame oranı arttıkça

çiğnenebilirlik değerinin önemli derecede arttığı, ayrıca ekstrüde bakla unu ikamesinin aynı orandaki ham bakla unu ikamesine kıyasla çiğnenebilirlik değerinde daha yüksek oranda bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$).

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5, 25) ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu kullanılarak üretilen ekmeklerin esneklik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi esneklik değerinin 0.15 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi esneklik değerlerinin ise 0.14–0.19 arasında değiştiği Çizelge 4.19’da görülmektedir. En düşük ekmek içi esneklik değerine sahip ekmeğin %25 oranında ekstrüde bakla unu ikamesi ile elde edilen ekmek olduğu (0.14) ve en yüksek ekmek içi esneklik değerine sahip ekmeklerin ise %12.5 ve %25 oranında ham bakla unu ikamesi ile elde edilen ekmekler (0.19) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham bakla unu ikameli ekmeklerin ekmek içi esneklik değerlerinin ekstrüde bakla unu ikameli ekmeklere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Örnekler arasında en düşük ekmek içi esneklik değerine sahip ekmeğin %25 ekstrüde bakla unu ikameli ekmek olduğu ve bu ekmeğin esneklik değerinin, buğday ekmeğinden de daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ham bakla unu ve ekstrüde bakla unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça esneklik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde; buğday ekmeğine ham bakla unu ikamesinin ekmeğin ekmek içi esneklik değerini arttırdığı, ekstrüde bakla unu ikamesinin ise %12.5 oranında iken ekmek içi esneklik değerini arttırırken %25 ikame oranına çıkarıldığında ise ekmek içi esneklik değerini önemli derecede azalttığı ($p<0.05$) sonucuna ulaşılmıştır.

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi sertlik değerinin 91.61 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerlerinin ise 417.17 g–1112.40 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da

görülmektedir. Ekmek örnekleri arasında en düşük ekmek içi sertlik değerine buğday ekmeğinin (91.61 g), en yüksek ekmek içi sertlik değerine ise %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile elde edilen ekmeğin (1112.40 g) sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu kullanıldığında ekmek içi sertliği buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede artmıştır ve ekmek içi daha sert bir yapı kazanmıştır ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unlarının her ikisi için de %25 oranındaki ikamenin, ekmek içi sertlik değerinde meydana getirdiği artışın, %12.5 ikame oranına kıyasla önemli seviyede daha yüksek olduğu görülmüştür. Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça ekmek içi sertlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu bulgular, buğday ekmeğine kıyasla ve genel olarak değerlendirildiğinde; her iki un çeşidi için de ikame oranı arttıkça ekmek içi sertliğinin önemli derecede arttığı, ayrıca ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesinin aynı orandaki ham kırmızı mercimek unu ikamesine kıyasla ekmek içi sertliğinde daha yüksek oranda bir artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait elastikiyet değerinin 0.47 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerlerinin ise 0.38–0.45 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında en düşük ekmek içi elastikiyet değerine sahip ekmeğin %12.5 ekstrüde kırmızı mercimek unu ikameli ekmek olduğu (0.38), en yüksek ekmek içi elastikiyet değerine sahip ekmeğin ise buğday ekmeği olduğu (0.47) belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile üretilen ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerlerinin ham kırmızı mercimek unu ikamesi ile üretilen ekmeklerin ekmek içi elastikiyet değerlerine kıyasla dahayüksek olduğu belirlenmiştir.

Ekmeklerin ekmek içi yapışkanlık değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait iç yapışkanlık değerinin 0.37 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin iç yapışkanlık değerlerinin ise 0.44–0.51 arasında

değiştii gör÷lmektedir (Çizelge 4.19). Ekmekler arasında en düşük ekmek içi yapışkanlık değerine sahip ekmeğin %25 ekstrüde kırmızı mercimek unu ikameli ekmek olduğu (0.44), en yüksek ekmek içi yapışkanlık değerine sahip ekmeğin ise %12.5 ham kırmızı mercimek unu ikameli ekmek olduğu (0.51) belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham kırmızı mercimek unu ikamesinin ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesine kıyasla ekmek içinde daha yüksek değerde iç yapışkanlık meydana getirdiği belirlenmiştir.

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait çiğnenebilirlik değerinin 15.82 g olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin çiğnenebilirlik değerlerinin ise 46.97 g–240.11 g arasında değiştiği Çizelge 4.19’da gör÷lmektedir. En düşük çiğnenebilirlik değerine sahip ekmeğin buğday ekmeği olduğu (15.82 g), en yüksek çiğnenebilirlik değerine sahip örneğin ise %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile elde edilen ekmek (240.11 g) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek üretiminde ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikamesinin ekmeğin çiğnenebilirlik değerini buğday ekmeğine kıyasla istatistiksel açıdan önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerinin de istatistiksel açıdan önemli derecede arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Buğday ekmeği ve farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi esneklik değerleri incelendiğinde; buğday ekmeğine ait ekmek içi esneklik değerinin 0.15 olduğu, %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ile ikame edilen buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi esneklik değerlerinin ise 0.16–0.22 arasında değiştiği Çizelge 4.19’da gör÷lmektedir. En düşük ekmek içi esneklik değerine sahip ekmeğin %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ikamesi ile elde edilen ekmek olduğu (0.16), en yüksek ekmek esneklik değerine sahip ekmeğin ise %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ikamesi ile elde edilen ekmek (0.22) olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham kırmızı

mercimek unu ikameli ekmeklerin ekmek içi esneklik değerlerinin ekstrüde kırmızı mercimek unu ikameli ekmeklere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ham ve ekstrüde kırmızı mercimek unu ikame oranları kendi içerisinde kıyaslandığında; ikame oranı arttıkça ekmek içi esneklik değerinin istatistiksel açıdan önemli derecede azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Ekmelerin ekmek içi tekstür özellikleri incelendiğinde; buğday ekmeğinin ekmek içi sertlik değerinin tüm ekmekler arasında en düşük değere sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Bu sonuç; buğday ekmeğinin ekmek içinin diğer ekmeklere kıyasla daha yumuşak özelliklerde olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu bulgunun öncelikle, farklı oranlarda ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçalları ile hazırlanmış hamurlardaki gluten ağlarının düşük seviyede oluşmasına bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir. Goesaert et al. (2005); Caballero et al. (2007); Zandonadi et al. (2009); Batista et al. (2011), gluten proteinlerinin ekmek içi sertliği üzerinde önemli bir rol oynadığını ifade etmiştir. Ekmek üretiminde, fermantasyon aşamasında üretilen karbondioksit gazı gluten ağları arasında birikmekte, bu sayede hamur içindeki gluten hücreleri genişlemekte ve buna bağlı olarak ekmekte hacim artışının meydana gelmesinin yanında ekmek içinin tekstürel özellikleri de iyileşmektedir (Gallagher et al., 2004; Miyazaki et al., 2006; Batista et al., 2011). Keetels et al. (1996); Zghal et al. (2002); Bosmans et al. (2013), ekmek içinin gözeneklerden oluşan süngerimsi bir yapıya sahip olduğunu ifade etmiştir. Scanlon and Zghal (2001); Wang et al. (2011) ekmek içi tekstürel özelliklerinin ekmek üretiminde meydana gelen moleküler seviyedeki değişimlerden ziyade ekmek içinin gözenekli yapısına bağlı olarak değişen ekmek yoğunluğu ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda; hamurun içindeki gluten ağlarının yeterli seviyede oluşması ile hamurun gaz tutma kapasitesini ve ekmek hacmini arttırdığı, bu durumun ekmek içindeki gözenek oluşumunu olumlu yönde etkilediği ve buna bağlı olarak ekmek içi yoğunluğunun azalarak ekmek içinin yumuşak bir özellik kazandığı ifade edilebilir. Maş fasulyesi, bakla ve kırmızı mercimek gluten proteinlerini içermediği için, buğday unu, ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu ile ikame edildiğinde toplam paçal unu kütlesi içindeki gluten proteinlerinin miktarı ikame oranındaki artışa bağlı olarak azalmaktadır. Bu sebeple, farklı oranlarda

(%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından hazırlanan hamurlardaki gluten ağları oluşumunun buğday unu kullanılarak hazırlanan hamura kıyasla ikame oranındaki artışa bağlı olarak daha düşük seviyede olduğu ifade edilebilir. Bu durum, hamurun gaz tutma kapasitesinde bir azalmaya sebep olduğu için farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından üretilen ekmeklerin hacmi buğday ekmeğine kıyasla önemli seviyede düşüktür. Un paçalları kullanılarak üretilen ekmeklerin hacminde meydana gelen bu azalma sebebiyle ekmek içi yoğunluğunda meydana gelen artışa bağlı olarak ekmek içi sertlik değerleri buğday ekmeğinin ekmek içi sertlik değerine göre daha yüksek bulunmuş ve ikame oranındaki artışa bağlı olarak ekmek içi daha da sert bir yapı kazanmıştır. Ekmek içi sertliğini etkileyen diğer önemli bir faktörün de un içinde bulunan lif miktarının olduğu düşünülmektedir. Undaki lif oranı ekmek hacmi üzerinde olumsuz bir etki göstermekte ve ekmek hacminde azalmaya neden olmaktadır (Wang et al., 2002). Bu tez çalışmasında, buğday unu, ham maş fasulyesi unu, ham bakla unu ve ham kırmızı mercimek ununun toplam diyet lifi miktarlarının sırasıyla % 2.16, %24.24, %18.35 ve %16.94 olduğu belirlenmiştir. Ham maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unlarının toplam diyet lifi miktarları buğday ununun diyet lifi miktarına kıyasla daha yüksek seviyede olduğu için, ikame oranındaki artışa bağlı olarak paçal unlarında toplam un kütlesi içindeki diyet lifi oranı da artmaktadır. Bu durum, paçal unlarından elde edilen ekmeklerin hacim değerlerinin düşük olmasına, bu sebeple ekmek içi yoğunluğunun ve buna bağlı olarak ekmek içi sertliğinin artmasına yol açmıştır. Bunun yanında, lifin sert yapıya sahip bir bileşen olduğu göz önüne alındığında, farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak hazırlanan un paçallarından üretilen ekmeklerin ekmek içi sertliği de ikame oranına bağlı olarak artmıştır ($p<0.05$). Aynı ikame oranına sahip ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unlarından üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerleri kıyaslandığında ise ekstrüde unlar kullanılarak hazırlanan un paçallarından üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerlerinin ham unlar kullanılarak hazırlanan un paçallarından üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerlerine göre önemli seviyede yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). Bu

bulgunun, ekstrüde unlardaki jelatinize olmuş nişasta ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Nişasta jelatinizasyonu hamurun gaz tutma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kusunose et al., 1999; Mills et al., 2003). Pişirme işlemi sırasında, nişasta jelatinizasyonu, içinde gaz biriken gluten ağlarının hücre duvarlarını katılaştırmakta ve hamurun ve buna bağlı olarak ekmeğin hacim kazanmasını engellemektedir. (Hu et al., 2023), pişirme işlemi sırasında hamurun hacim kazanması için nişastanın erken jelatinize olmaması gerektiğini belirtmiştir. Bu tez çalışmasında, ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu ve ekstrüde kırmızı mercimek unu içeren un paçallarındaki nişastanın bir kısmı ekstrüzyon işlemi sebebiyle jelatinize durumda olduğu için bu un paçallarından elde edilen ekmeklerin hacmindeki azalmaya bağlı olarak ekmek içi yoğunluğu artmış ve ekmek içi sertlik değeri ham bakla unu, maş fasulyesi unu ve kırmızı mercimek unu içeren un paçallarından üretilen ekmeklerin ekmek içi sertlik değerine göre artmıştır ($p<0.05$). Buğday unu ile farklı oranlarda (%12.5 ve %25) ham ve ekstrüde maş fasulyesi unu, bakla unu ve kırmızı mercimek unu kullanılarak elde edilen paçal unları kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik özelliklerindeki değişimler ile ekmek içi sertlik özelliğindeki değişimlerin birbirine benzer bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Ekmek örnekleri arasında en düşük ekmek içi yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik değerlerine buğday ekmeğinin sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ekmeklerin ekmek içi elastikiyet özellikleri incelendiğinde ise en yüksek ekmek içi ekmek içi elastikiyet değerine buğday ekmeğinin sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekmek içi elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik özellikleri ekmek içi sertlik değerine göre değişmekte, ekmek içi sertliği azaldıkça elastikiyet değeri artmakta, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri azalmaktadır. Ekmek hacmindeki artış veya azalışa göre ekmek içi yoğunluğu değişmekte, bu sebeple ekmek içi elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri ekmek içinin süngerimsi yapısına bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır. Scanlon and Zghal (2001); Wang et al. (2011) ekmek içi tekstürel özelliklerinin ekmek üretiminde meydana gelen moleküler seviyedeki değişimlerden ziyade ekmek içinin gözenekli yapısına bağlı olarak değişen ekmek yoğunluğu ile ilgili olduğunu belirtmiştir.

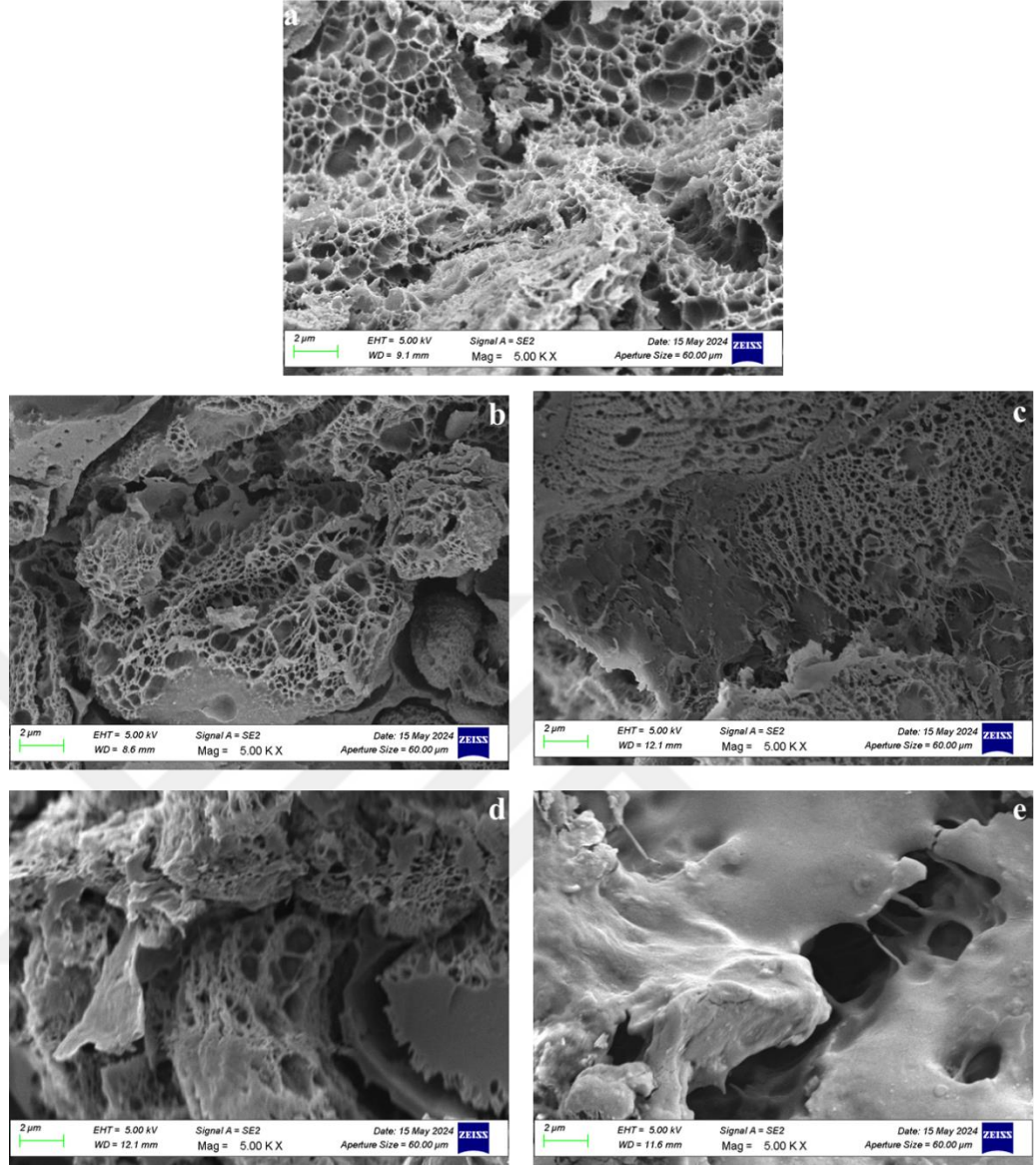
4.7.3. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Ham ve ekstrüde edilmiş baklagil unları kullanılarak üretilen ekmeklerin morfolojik yapıları taramalı elektron mikroskopisi kullanılarak incelenmiştir (Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13).

Ekstrüde unların, nişasta protein matriksi içindeki nişasta yapısı değiştiği için ekstrüde unlar ile üretilen ekmeklerin kapalı hücre yapısına ve daha kalın hücre duvarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Buğday ekmeğinde nişasta granüllerinin diğer ekmeklere kıyasla daha düzgün şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Ekmeklerdeki baklagil unu miktarın artışı ile gözenek yapısının düzensiz bir dağılım göstermeye başladığı belirlenmiştir. Ekstrüde unlar ile üretilen ekmeklerde, ekstrüzyon işlemi ile un yapısında bulunan nişastanın jelatinize olması nedeniyle mikro yapıda nişasta ile nişasta arasındaki çapraz bağlantılar gözlemlenmiştir.

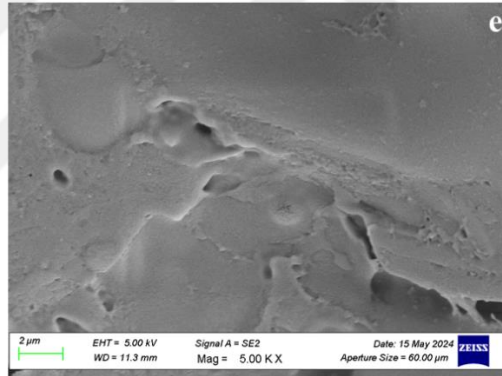
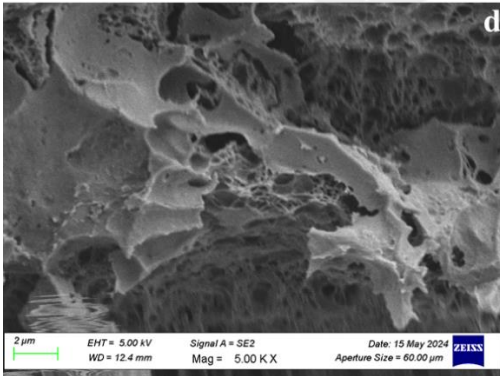
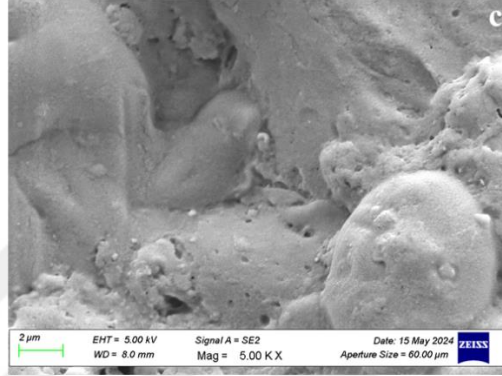
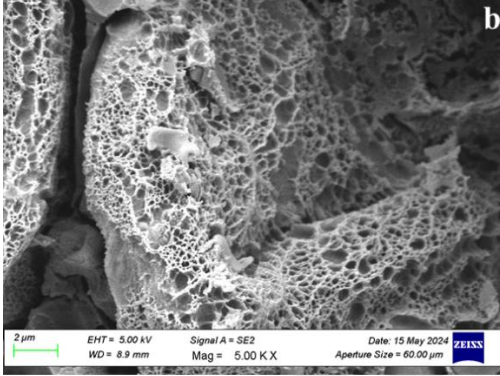
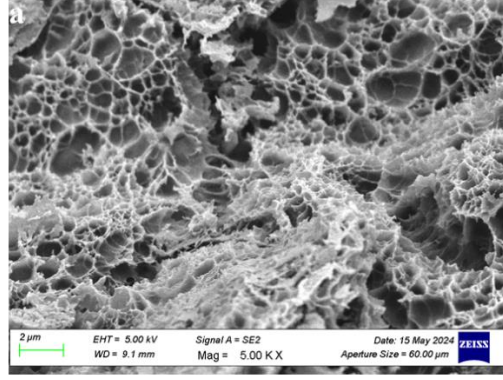
Baklagil unu ikameli ekmeklerin daha kompakt bir yapıda ve eşit olmayan nişasta dağılımı yapısında olması, bu ekmeklerin buğday ekmeğine kıyasla daha yüksek sertlik ve daha düşük elastikiyet değerlerine sahip olmasından sorumlu olabileceği düşünülmektedir.

Baklagil proteinlerinin hamur oluşturma özelliğine sahip olmadığı için; buğday ununa baklagil ikame edilmesi buğday ekmeği hamurunun protein-nişasta kompleks yapısında bozulmalara sebep olmuş ve baklagil unu ikameli ekmeklerin protein matrisinin bozulmuş ve daha gevşek bir yapıda olduğu belirlenmiştir.



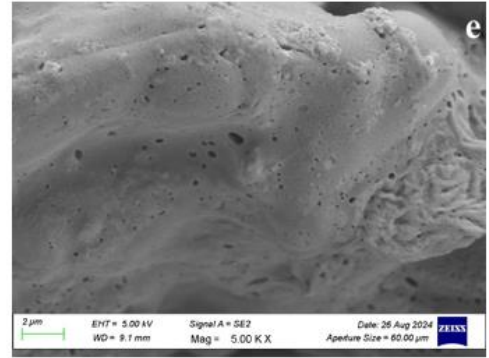
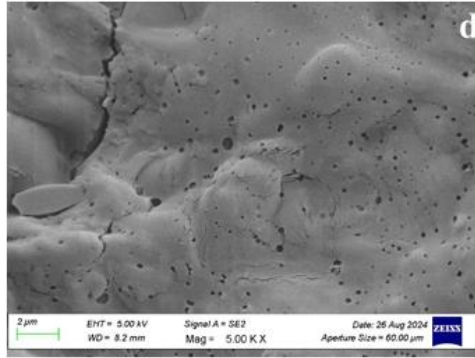
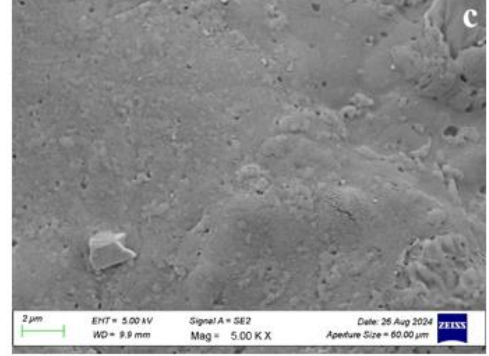
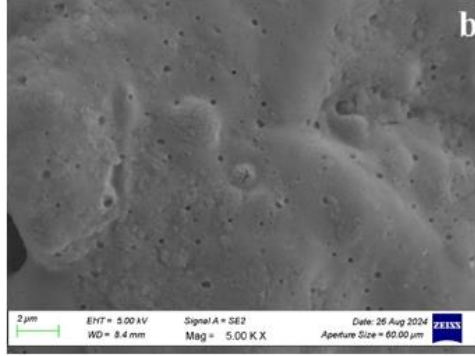
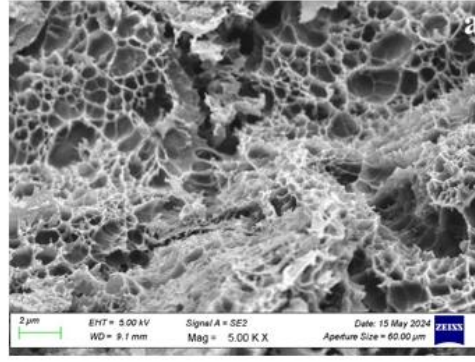
BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-MF: %12.5 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-MF: %25 oranında ham maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-MF: %12.5 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-MF: %25 oranında ekstrüde maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.11 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-MF, c) 25-H-MF, d)12.5-E-MF, e) 25-E-MF



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-BKL: %12.5 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğ; 25-H-BKL: %25 oranında ham bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğ; 12.5-E-BKL: %12.5 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğ; 25-E-BKL: %25 oranında ekstrüde bakla unu ilave edilerek üretilen ekmeğ.

Şekil 4.12 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-BKL, c) 25-H-BKL, d)12.5-E-BKL, e) 25-E-BKL



BU-Kontrol: Buğday ekmeği (kontrol ekmeği); 12.5-H-KM: %12.5 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-H-KM: %25 oranında ham kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 12.5-E-KM: %12.5 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği; 25-E-KM: %25 oranında ekstrüde kırmızı mercimek unu ilave edilerek üretilen ekmeği.

Şekil 4.13 Taramalı elektron mikroskopisi mikrografları a) BU-Kontrol, b)12.5-H-KM, c) 25-H-KM, d)12.5-E-KM, e) 25-E-KM

5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ekstrüde maş fasulyesi unu, ekstrüde bakla unu ve ekstrüde kırmızı mercimek unu üretimi gerçekleştirilmiş ve ekstrüde un üretimi için optimum ekstrüzyon koşulları belirlenmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığı ve vida dönüş hızının; su absorplama indeksi, fitik asit miktarı ve çözünmeyen diyet lifi miktarı üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her iki hammadde için de optimum koşullar 165 °C sıcaklık ve 200 rpm vida hızı olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen ekstrüde unların, ham unların ve buğday ununun su absorplama indeksi, fitik asit, çözünmeyen diyet lifi, protein, infrared spektrumları incelenmiştir. Ekstrüder sıcaklığının artışı ile unların su absorplama indeksi, fitik asit ve çözünmeyen diyet lifi miktarının azaldığı, vida hızının artması ile su absorplama indeksi ve çözünmeyen diyet lifi azalırken fitik asit miktarının arttığı belirlenmiştir. Ekstrüde unların protein miktarının ham unların protein miktarına yakın değerde olduğu, nem miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile baklagil unlarında bulunan nişastanın kristal yapısının bozulduğu ve amorf yapıya dönüştüğü belirlenmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile baklagil unlarının proteinlerinin ikincil yapılarında değişimlere neden olduğu, amide B ve amide II piklerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise optimum koşullarda üretilen ekstrüde unlar ve ekstrüde edilmemiş unlar buğday unu ikamesi olarak (%12.5 ve %25 oranlarında) ekmek formülasyonlarında kullanılarak ekmek üretimleri gerçekleştirilmiş ve ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem, kül, renk, tekstürel özellikleri ve mikro yapısı belirlenmiştir.

Buğday ununa %12.5 ve %25 oranlarında ham ve ekstrüde bakla unları ve maş fasulyesi unları ilave edilerek üretilen ekmeklerin hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, nem miktarı, kül miktarı, ekmek içi renk ve tekstür analizleri sonuçları değerlendirildiğinde; ham ve ekstrüde bakla unları ve maş fasulyesi unlarının buğday ekmeğine kıyasla ekmek hacmini önemli seviyede azalttığı belirlenmiştir. Ham ve ekstrüde bakla unları ve maş fasulyesi unlarının ilave oranı %12.5'ten %25'e arttığında ekmek hacminin daha da azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanında, ekstrüde bakla unu ve maş fasulyesi ununun ham bakla unu ve

maş fasulyesi ununa kıyasla ekmek hacmini daha da azalttığı belirlenmiştir. Pişme kaybı, nem ve kül miktarı sonuçları değerlendirildiğinde; ekstrüde bakla unu ve maş fasulyesi unu ilave edilerek üretilen ekmeklerin pişme kaybı ve nem değerlerinin buğday ekmeğine kıyasla azaldığı ancak kül değerlerinin buğday ekmeğinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi bakla unu ve maş fasulyesi ununun rengini koyulaştırdığı için ekstrüde unlar kullanılarak üretilen ekmeklerin ekmek içi renklerinin buğday ekmeğine kıyasla daha koyu nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca formülasyondaki baklagil unundaki miktarın artışı ile ekmeğin gözenek yapısının düzensiz bir dağılım göstermeye başladığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; ekstrüde bakla unu ve maş fasulyesi ununun önemli kalite ölçütlerinden olan ekmek hacmini azalttığı ve ekmek içi sertliğini arttırarak ekmek içinin daha sert bir yapı kazanmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında, ekstrüde bakla unu ve maş fasulyesi ununun buğday ununa ilave oranlarının (%12.5 ve %25) ekmek hacmi ve ekmek içi sertliği üzerine etkileri bakımından yüksek oranlar olduğu, aynı unların daha düşük oranlarda ilave edilmesi ile ekmek hacminde ve ekmek içi sertliğinde daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aguilera, Y., Dueñas, M., Estrella, I., Hernández, T., Benitez, V., Esteban, R.M. and Martín-Cabrejas, M.A.**, 2010, Evaluation of phenolic profile and antioxidant properties of Pardina lentil as affected by industrial dehydration, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(18):10101-10108 pp.
- Ai, Y., Cichy, K.A., Harte, J.B., Kelly, J.D. and Ng, P.K.W.**, 2016, Effects of extrusion cooking on the chemical composition and functional properties of dry common bean powders, *Food Chemistry*, 211:538-545 pp.
- Ajo, R.Y.**, 2013, Characteristics of thick kmaj bread enrichment with faba bean (*Vicia faba*) flour, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5(4):369-374 pp.
- Alam, M.S., Kaur, J., Khaira, H. and 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 pp.
- Al-Kaisey, M.T., Jaddou, H., Alani, S.R., Hussain, A.A.K.**, 2000, Production of cereal based of powdered baby food. *Science Journal Iraqi Atomic Energy Commision*, 2:149-154 pp.
- Alonso, R., Aguirre, A. and Marzo, F.**, 2000, Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans, *Food Chemistry*, 68:159-165 pp.
- Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M.**, 2008, Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing, *Journal of Food Engineering*, 84(2):231-242 pp.
- Altinel, B. ve Tuluk, K.**, 2018, Ekmeklik Buğday Ununa Farklı Baklagil Unları İlavesinin Ekmek Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi, Genel Araştırma Projesi, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, 104s (yayımlanmamış).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Altinel, B. ve Tuluk, K.**, 2021, Tahıllar ve baklagiller, 396-427, Sağlıklı Mutfak, Editör Y.B. Saygı (Der.), Detay Anatolia Akademik Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara, 478s.
- Amarowicz, R. and Shahidi, F.**, 2017, Antioxidant activity of broad bean seed extract and its phenolic composition, *Journal of Functional Foods*, 38:656-662 pp.
- Amarowicz, R., Estrella, I., Hernández, T., Dueñas, M., Troszyńska, A., Agnieszka, K. and Pegg, R.B.**, 2009, Antioxidant activity of a red lentil extract and its fractions, *International Journal of Molecular Sciences*, 10(12):5513-5527 pp.
- Amarowicz, R., Estrella, I., Hernández, T., Robredo, S., Troszyńska, A., Kosińska, A. and Pegg, R.B.**, 2010, Free radical-scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*), *Food Chemistry*, 121(3):705-711 pp.
- Amir, R.M., Anjum, F.M., Khan, M.I., Khan, M.R., Pasha, I. and Nadeem, M.**, 2013, Application of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for the identification of wheat varieties, *Journal of Food Science and Technology*, 50(5):1018-1023 pp.
- Anderson, R.C., Conway, H.F., Pfeifer, V. and Griffin, E.L.**, 1969, Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking, *Cereal Science Today*, 14:4-8 pp.
- Anonymous**, 1991, Total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods, AOAC 991.43, Association of Official Analytical Chemists.
- Anonymous**, 2000a, Crude Protein-Kjeldahl Method, Boric Acid Modification, AACC Method 46-12, Approved Methods of AACC, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA.
- Anonymous**, 2000b, Moisture-Air-Over Methods, AACC Method 44-15A, Approved Methods of AACC, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Anonymous**, 2004a, Determination of Moisture Content of Cereals and Cereal Products (Practical Method), ICC-Standard Method Nr. 110/1, International Association for Cereal Chemistry (ICC), Vienna, Austria.
- Anonymous**, 2004b, Determination of Wet Gluten Quantity and Quality (Gluten Index ac. to Perten) of Whole Wheat Meal and Wheat Flour (*Triticum aestivum*), ICC-Standard Method Nr. 155, International Association for Cereal Chemistry (ICC), Vienna, Austria.
- Anonymous**, 2004c, Determination of Sedimentation Value (According to Zeleny) as an Approximate Measure of Baking Quality, ICC-Standard Method Nr. 116/1, International Association for Cereal Chemistry (ICC), Vienna, Austria.
- Anonymous**, 2004d, Determination of the Falling Number according to Hagberg - as a Measure of the Degree of Alpha-Amylase Activity in Grain and Flour, ICC-Standard Method Nr. 107/1, International Association for Cereal Chemistry (ICC), Vienna, Austria.
- Anonymous**, 2004e, Determination of Ash in Cereals and Cereal Products, ICC-Standard Method Nr. 104/1, International Association for Cereal Chemistry (ICC), Vienna, Austria.
- Anonymous**, 2009, AACC Approved Methods of Analysis, Method 10-16.01. Baking Volumetric and Dimensional Profile of Baked Products by Laser Topography—VolScan Profiler Method. Cereals & Grains Association, St. Paul, MN, U.S.A.
- Anwar, F., Latif, S., Przybylski, R., Sultana, B. and Ashraf, M.**, 2007, Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mungbean, *Journal of Food Science*, 72(7):503-510 pp.
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E. and Pedrosa, M.M.**, 2019, Bioactive compounds, antioxidant activity, and sensory analysis of rice-based extruded snacks-like fortified with bean and carob fruit flours, *Foods*, 8(9):381.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Atukuri, J., Odong, B.B. and Muyonga, J.H.**, 2019, Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology, *Food Science & Nutrition*, 7:4147-4162 pp.
- Azaza, M.S., Wassim, K., Mensi, F., Abdelmouleh, A., Brini, B. and Kraïem, M.M.**, 2009, Evaluation of faba beans (*Vicia faba* L. var. *minuta*) as a replacement for soybean meal in practical diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, *Aquaculture*, 287(1-2):174-179 pp.
- Baker, M.J., Trevisan, J., Bassan, P., Bhargava, R., Butler, H.J., Dorling, K.M., Fielden, P.R., Fogarty, S.W., Fullwood, N.J., Heys, K.A., Hughes, C., Lasch, P., Martin-Hirsch, P.L., Obinaju, B., Sockalingum, G.D., Sulé-Suso, J., Strong, R.J., Walsh, M.J., Wood, B.R., Gardner, P. and Martin, F.L.**, 2014, Using Fourier transform IR spectroscopy to analyze biological materials, *Nature Protocols*, 9(8):1771-1791 pp.
- Başdemir, F., Türk, Z., İpekeşen, S., Tunç, M., Eliş, S. ve Bicer, B.T.**, 2020, Bazı bakla (*Vicia faba* L.) çeşitlerinde gübre uygulamalarının verim ve verim unsurlarına etkisi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3):749-756 s.
- Batista, K.A., Sandra, H., Prudêncio, S.H. and Fernandes, K.F.**, 2011, Wheat bread enrichment with hard-to-cook bean extruded flours: Nutritional and acceptance evaluation, *Journal of Food Science*, 76(1):S108-S113 pp.
- Berrios, J.D.J.**, 2006, Extrusion cooking of legumes: Dry bean flours, *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*, 1:1-8 pp.
- Berrios, J.D.J., Montana, C., Torija, M.E. and Alonso, M.**, 2002, Effect of extrusion cooking and sodium bicarbonate addition on the carbohydrate composition of black bean flours, *Journal of Food Processing Preservation*, 26:113-128 pp.
- Berrios, J.D.J., Morales, P., Cámara, M. and Sánchez-Mata, M.D.C.**, 2010, Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours, *Food Research International*, 43:531-536 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Biancolillo, A., Foschi, M., Di Micco, M., Di Donato, F. and D'Archivio, A.A.,** 2022, ATR-FTIR-based rapid solution for the discrimination of lentils from different origins, with a special focus on PGI and slow food typical varieties, *Microchemical Journal*, 178:107327.
- Bosmans, G.M., Lagrain, B., Ooms, N., Fierens, E. and Delcour, J.A.,** 2013, Biopolymer interactions, water dynamics, and bread crumb firming, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61:4646-4654 pp.
- Bruckner, P.L., Habernicht, D., Carlson, G.R., Wichman, D.M. and Talbert, L.E.,** 2001, Comparative bread quality of white flour and whole grain flour for hard red spring and winter wheat, *Crop Science*, 41:1917-1920 pp.
- Büyüksırt, T. ve Kuleaşan, H.,** 2014, Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı, *Gıda*, 39(4):235-241 s.
- Caballero, P.A., Gómez, M. and Rosell, C.M.,** 2007, Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination, *Journal of Food Engineering*, 81:42-53 pp.
- Chelladurai, V. and Erkinbaev, C.,** 2020, Lentils, 129-143, Pulses: Processing and Product Development, Manickavasagan, A. and Thirunathan, P. (Eds.), Springer Cham., 342p.
- Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P.M. and Del Nobile, M.A.,** 2008, Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chickpea, *Journal of Food Engineering*, 84(1):101-107 pp.
- Chitra, U., Vimala, V., Singh, U. and Geervani, P.,** 1995, Variability in phytic acid content and protein digestibility of grain legumes, *Plant Foods for Human Nutrition*, 47(2):163-172 pp.
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Cuadrado, C., Arribas, C., Pedrosa, M.M., Berrios, J.D.J., Pan, J. and Morales, P.,** 2020, Novel gluten-free formulations from lentil flours and nutritional yeast: Evaluation of extrusion effect on phytochemicals and non-nutritional factors, *Food Chemistry*, 315:126175.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cocchi, M., Foca, G., Lucisano, M., Marchetti, A., Paean, M.A., Tassi, L. and Ulrici, A.**, 2004, Classification of cereal flours by chemometrie analysis of MIR spectra, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52:1062-1067 pp.
- Coda, R., Varis, J., Verni, M., Rizzello, C.G. and Katina, K.**, 2017, Improvement of the protein quality of wheat bread through faba bean sourdough addition, *LWT - Food Science and Technology*, 82:296-302 pp.
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S. and Eglinton, J.**, 2014, Evaluation of the use of attenuated total reflectance mid infrared spectroscopy to determine fatty acids in intact seeds of barley (*Hordeum vulgare*), *Journal of Food Science and Technology*, 56(2):478-483 pp.
- Dabels, N., Igbabul, B., Shar, F., Iorliam, B. and Abu, J.**, 2016, Physicochemical, nutritional and sensory properties of bread from wheat, acha and mung bean composite flours, *Food Science and Quality Management*, 56:21-26 pp.
- Dahiya, P.K., Linnemann, A.R., Nout, M.J.R., van Boekel, M.A.J.S. and Grewal, R.B.**, 2013, Nutrient composition of selected newly bred and established mung bean varieties, *LWT - Food Science and Technology*, 54:249-256 pp.
- Dahiya, P.K., Linnemann, A.R., Van Boekel, M.A.J.S., Khetarpaul, N., Grewal, R.B. and Nout, M.J.R.**, 2015, Mung Bean: Technological and Nutritional Potantial, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(5): 670–688 pp.
- Dalbhat, C.G., Mahato, D.K. and Mishra, H.N.**, 2019, Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 85:226-240 pp.
- Datta, A.K. and Mondal, A.**, 2008, Bread Baking—A review, *Journal of Food Engineering*, 86:465-474 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- de Almeida Costa, G.E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S.M.P.M. and de Oliveira, A.C.**, 2006, Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes, *Food Chemistry*, 94(3):327-330 pp.
- Delcour, J.A., Joye, I.J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K. and Lagrain, B.**, 2012, Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products, *Annual Review of Food Science & Technology*, 3:469-492 pp.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T.M. and Gellynck, X.**, 2008, Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception, *Journal of Cereal Science*, 48:243-257 pp.
- Dhole, V.J. and Reddy, K.S.**, 2015, Genetic variation for phytic acid content in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek), *The Crop Journal*, 3:157-162 pp.
- Diez-Sánchez, E., Quiles, A., Llorca, E., Reißner, A.M., Struck, S., Rohm, H. And Hernando, I.**, 2019, Extruded flour as techno-functional ingredient in muffins with berry pomace, *LWT–Food Science and Technology*, 113:108300.
- Ding, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H.**, 2005, The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 66:283-289 pp.
- Dobraszczyk, B.J.**, 1997, Development of a new dough inflation system to evaluate doughs, *Cereal Foods World*, 42:516-519 pp.
- Du, S.K., Jiang, H., Yu, X. and Jane, J.L.**, 2014, Physicochemical and functional properties of whole legume flour, *LWT - Food Science and Technology*, 55(1):308-313 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dueñas, M., Hernández, T. and Estrella, I.**, 2002, Phenolic composition of the cotyledon and the seed coat of lentils (*Lens culinaris* L.), *European Food Research and Technology*, 215:478-483 pp.
- Dueñas, M., Sun, B., Hernández, T., Estrella, I. and Spranger, M.I.**, 2003, Proanthocyanidin composition in the seed coat of lentils (*Lens culinaris* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27):7999-8004 pp.
- Duque, A., Manzanares, P. and Ballesteros, M.**, 2017, Extrusion as a pretreatment for lignocellulosic biomass: Fundamentals and applications, *Renewable Energy*, 114:1427-1441 pp.
- Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M.A., Barclay, D. and Hurrell, R.F.**, 2002, The influence of soaking and germination on the phytase activity and phytic acid content of grains and seeds potentially useful for complementary feeding, *Journal of Food Science*, 67(9):3484-3488 pp.
- Ek, P., Gu, B.-J. and Ganjyal, G.M.**, 2021, Whole seed lentil flours from different varieties (Brewer, Crimson, and Richlea) demonstrated significant variations in their expansion characteristics during extrusion, *Journal of Food Science*, 86(3):942-951 pp.
- Erkahveci, A. ve Karaali, A.**, 1996, Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopinin gıda analizlerine uygulanması, *Gıda*, 21(5):337-345 s.
- Espinosa-Ramírez, J., Rodríguez, A., Rosa-Millán, J.D.L., Heredia-Olea, E., Pérez-Carrillo, E. and Serna-Saldívar, S.O.**, 2021, Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion, *Food Hydrocolloids*, 111:106400.
- Faraj, A., Vasanthan, T. and Hoover, R.**, 2004, The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours, *Food Research International*, 37:517-525 pp.
- Frohlich, P., Boux, G. and Malcolmson, L.**, 2014, Pulse ingredients as healthier options in extruded products, *Cereal Foods World*, 59(3):120-125 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gallagher, E., Gormley, T.R. and Arendt, E.K.**, 2004, Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products, *Trends in Food Science and Technology*, 15:143-152 pp.
- Gao, X., Tong, J., Guo, L., Yu, L., Li, S., Yang, B., Wang, L., Liu, Y., Li, F., Guo, J., Zhai, S., Liu, C., Rehman, A., Farahnaky, A., Wang, P., Wang, Z. and Cao, X.**, 2020, Influence of gluten and starch granules interactions on dough mixing properties in wheat (*Triticum aestivum* L.), *Food Hydrocolloids*, 106:105885.
- Garcia-Amezquita, L. E., Tejada-Ortigoza, V., P´erez-Carrillo, E., Serna-Saldívar, S.O., Campanella, O.H. and Welte-Chanes, J.**, 2019, Functional and compositional changes of orange peel fiber thermally-treated in a twin extruder, *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 111:673-681 pp.
- García-Segovia, P., Marta, I., Ana, T.N. and Javier, M.M.**, 2020, Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks, *European Food Research and Technology*, 246(4):703-712 pp.
- Ghumman, A., Kaur, A., Singh, N. and Singh, B.**, 2016, Effect of feed moisture and extrusion temperature on protein digestibility and extrusion behaviour of lentil and horsegram, *LWT - Food Science and Technology*, 70:349-357 pp.
- Giannou, V., Kessoglou, V. and Tzia, C.**, 2003, Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough, *Trends in Food Science & Technology*, 14:99-108 pp.
- Giménez, M.A., Drago, S.R., De Greef, D., Gonzalez, R.J., Lobo, M.O. and Samman, N.C.**, 2012, Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation, *Food Chemistry*, 134:200-206 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K. and Delcour, J.A.**, 2005, Wheat flour constituents: How they impact bread quality and how to impact their functionality, *Trends in Food Science and Technology*, 16:12-30 pp.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V., Fernandez, E.**, 2008. Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *Food Science and Technology*, 41: 1701–1709.
- Gordon, R., Chapman, J., Power, A., Chandra, S., Roberts, J. and Cozzolino, D.**, 2019, Mid-infrared spectroscopy coupled with chemometrics to identify spectral variability in Australian barley samples from different production regions, *Journal of Cereal Science*, 85:41-47 pp.
- Göncü, A. and Çelik, İ.**, 2020, Investigation of some properties of gluten-free tarhanas produced by red, green and yellow lentil whole flour, *Food Science and Technology*, 40:574-581 pp.
- Guha, M., Ali, S. Z. and Bhattacharya, S.**, 1997, Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics, *Journal of Food Engineering*, 32(3):251-267 pp.
- Guillamon, E., Pedrosa, M.M., Burbano, C., Cuadrado, C., Sánchez, M.D.C. and Múzquiz, M.**, 2008, The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar, *Food Chemistry*, 107:68-74 pp.
- Haug, W. and Lantzsch, H.J.**, 1983, Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(12):1423–1426 pp.
- Hejdysz, M., Kaczmarek, S.A. and Bedford, M.R.**, 2022, The effect of different temperatures applied during extrusion on the nutritional value of faba bean and degradation of phytic P isomers, *Animal Feed Science and Technology*, 285:115221.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hoseney, R.C.**, 1992, Physical chemistry of bread dough, 443-457, Physical Chemistry of Foods, Schwartzberg, H.G. and Hartel, R.W. (Eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, 735p.
- Hu, X., Cheng, L., Hong, Y., Li, Z., Li, C. and Gu, Z.**, 2023, An extensive review: How starch and gluten impact dough machinability and resultant bread qualities, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(13):1930-1941 pp.
- Huang, R., Huang, K., Guan, X., Li, S., Cao, H., Zhang, Y., Lao, X., Bao, Y. and Wang, J.**, 2021, Effect of defatting and extruding treatment on the physicochemical and storage properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) flour, *LWT - Food Science and Technology*, 147:111612.
- Jafari, M., Koocheki, A. and Milani, E.**, 2018a, Functional effects of xanthan gum on quality attributes and microstructure of extruded sorghum-wheat composite dough and bread, *LWT – Food Science and Technology*, 89:551-558 pp.
- Jafari, M., Koocheki, A. and Milani, E.**, 2018b, Physicochemical and sensory properties of extruded sorghum – wheat composite bread, *Food Measure*, 12:370-377 pp.
- Jarpa-Parra, M.**, 2018, Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality, *International Journal of Food Science & Technology*, 53(4):892-903 pp.
- Kataria, A., Chauhan, B.M. and Punia, D.**, 1989, Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mungbean as affected by domestic processing and cooking, *Food Chemistry*, 32:9-17 pp.
- Keetels, C.J.A.M., van Vliet T. and Walstra, P.**, 1996, Relationship between the sponge structure of starch bread and its mechanical properties, *Journal of Cereal Science*, 24:27-31 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılıç, G.B. ve Karahan, A.G.**, 2010, Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve laktik asit bakterilerinin tanısında kullanılması, *Gıda*, 35(6):445-452 s.
- Krupa, U.**, 2008, Main nutritional and antinutritional compounds of bean seeds-a review, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(2):149-155 pp.
- Kudre, T.G., Benjakul, S. and Kishimura, H.**, 2013, Comparative study on chemical compositions and properties of protein isolates from mung bean, black bean and Bambara groundnut, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10):2429-2436 pp.
- Kusunose, C., Fujii, T. and Matsumoto, H.**, 1999, Role of starch granules in controlling expansion of dough during baking, *Cereal Chemistry*, 76(6):920-924 pp.
- Labba, I.C.M., Frøkiær, H. and Sandberg, A.S.**, 2021, Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars, *Food Research International*, 140:110038.
- Li, C., Kowalski, R.J., Li, L. and Ganjyal, G.M.**, 2017, Extrusion expansion characteristics of samples of select varieties of whole yellow and green dry pea flours, *Cereal Chemistry*, 94(3):385-391 pp.
- Lin, S.Y. and Wang, S.L.**, 2012, Advances in simultaneous DSC–FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(5):461-478 pp.
- Macarulla, M.T., Medina, C., De Diego, M.A., Chávarri, M., Zulet, M.Á., Martínez, J.A., Noël-Suberville, C., Higuere, P. and Portillo, M.P.**, 2001, Effects of the whole seed and a protein isolate of faba bean (*Vicia faba*) on the cholesterol metabolism of hypercholesterolaemic rats, *British Journal of Nutrition*, 85:607-614 pp.
- MacRitchie, F.**, 2014, Theories of glutenin/dough systems, *Journal of Cereal Science*, 60:4-6 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Man, S. and Păucean, A.**, 2013, The effect of incorporation of red lentil flour on the bread quality, *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(2):148-152 pp.
- Manley, M., Zyl, L.V. and Osborne, B.G.**, 2002, Using Fourier transform nearinfrared spectroscopy in determining kernel hardness, protein, and moisture content of whole wheat flour, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 10:71-76 pp.
- Martín-Cabrejas, M.A., Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., López-Andréu, F.J. and Esteban, R.M.**, 2006, Effect of industrial dehydration on the soluble carbohydrates and dietary fiber fractions in legumes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:7652-7657 pp.
- Martin-Cabrejas, M.A., Jaime, L., Karanja, C., Downie, A.J., Parker, M.L., López-Andréu, F.J., Maina, G., Esteban, R.M., Smith, A.C. and Waldron, K.W.**, 1999, Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:1174-1182 pp.
- Martinez, M.M., Macias, A.K., Belorio, M.L. and Gomez, M.**, 2015, Influence of marine hydrocolloids on extruded and native wheat flour pastes and gels, *Food Hydrocolloids*, 43:172-179 pp.
- Martínez-Velasco, A., Lobato-Calleros, C., Hernandez-Rodríguez, B.E., Román-Guerrero, A., Alvarez-Ramirez, J. and Vernon-Carter, E.J.**, 2018, High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes, *Ultrasonics–Sonochemistry*, 44:97-105 pp.
- Meng, Y., Guan, X., Liu, X. and Zhang, H.**, 2019, The rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour, *LWT–Food Science and Technology*, 109:378-386 pp.
- Menon, L., Majumdar, S.D. and Ravi, U.**, 2015, Development and analysis of composite flour bread, *Journal of Food Science and Technology*, 52(7):4156-4165 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mesquita, C.B., Leonel, M. and Mischan, M.M.**, 2013, Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour, *Food Science and Technology*, 33:404-410 pp.
- Mills, E.N.C., Wilde, P.J., Salt, L.J. and Skeggs, P.**, 2003, Bubble formation and stabilization in bread dough, *Food and Bioproducts Processing*, 81(3):189-93 pp.
- Miyazaki, M., Van-Hung, P., Maeda, T. and Morita, N.**, 2006, Recent advances in application of modified starches for breadmaking, *Trends in Food Science and Technology*, 17:591-599 pp.
- Mlyneková, Z., Chrenková, M. and Formelová, Z.**, 2014, Cereals and Legumes in Nutrition of People with Celiac Disease, *International Journal of Celiac Disease*, 2(3):105-109 pp.
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M. and Emam-Djomeh, Z.**, 2020, Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel, *Food Hydrocolloids*, 104:105735.
- Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Camara, R.M., Reis, F.S., Barros, L., Berrios, J.D.J. and Camara M.**, 2015, Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity, *Journal of Functional Foods*, 19:537-544 pp.
- Nawrocka, A. and Lamorska, J.**, 2013, Determination of food quality by using spectroscopic methods, 347-368, *Advances in Agrophysical Research*, Grundas, S. and Stępniewski, A. (Eds.), InTech, Rijeka, 408p.
- Ni, Q., Ranawana, V., Hayes, H.E., Hayward, N.J., Stead, D. and Raikos, V.**, 2020, Addition of broad bean hull to wheat flour for the development of high fibre bread: Effects on physical and nutritional properties, *Foods*, 9:1-15 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nikmaram, N., Leong, S.Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F.J., Greiner, R., Oey, I. and Roohinejad, S.**, 2017, Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview, *Food Control*, 79:62-73 pp.
- Ooms, N. and Delcour, J.A.**, 2019, How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making, *Current Opinion in Food Science*, 25:88-97 pp.
- Ortolan, F. and Steel, C.J.**, 2017, Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3):369-381 pp.
- Otondi, E.A., Nduko, J.M. and Omwamba, M.**, 2020, Physico-chemical properties of extruded cassava-chia seed instant flour, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2:100058.
- Paraskevopoulou, A., Chrysanthou, A. and Koutidou, M.**, 2012, Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate–enriched wheat flour bread, *Food Research International*, 48:568-577 pp.
- Paraskevopoulou, A., Provatidou, E., Tsotsiou, D. and Kiosseoglou, V.**, 2010, Dough rheology and baking performance of wheat flour–lupin protein isolate blends, *Food Research International*, 43:1009-1016 pp.
- Pardhi, S.D., Singh, B., Nayik, G.A. and Dar, B.N.**, 2019, Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1):7-16 pp.
- Park, C.S. and Baik, B.K.**, 2004, Relationship between protein characteristics and instant noodle making quality of wheat flour, *Cereal Chemistry*, 81(2):159-164 pp.
- Pasqualone, A., Constantini, M., Coldea, T.E. and Summo, C.**, 2020, Use of legumes in extrusion cooking: A review, *Foods*, 9(7):958.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pasqualone, A., Costantini, M., Labarbuta, R. and Summo, C.,** 2021, Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters, *LWT - Food Science and Technology*, 147:111580.
- Patil, S.S. and Kaur, C.,** 2018, Current trends in extrusion: Development of functional foods and novel ingredients, *Food Science and Technology Research*, 24(1):23-34 pp.
- Prückler, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Höltinger, S., Haas, C. and Schmid, E.,** 2014, Wheat bran-based biorefinery 1: composition of wheat bran and strategies of functionalization, *Food Science and Technology*, 56(2):211-221 pp.
- Rathod, R. and Annapure, U.S.,** 2016, Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits, *LWT - Food Science and Technology*, 66:114-123 pp.
- Rayas-Duarte, P., Majewska, K. and Doetkott, C.,** 1998, Effect of extrusion process parameters on the quality of buckwheat flour mixes, *Cereal Chemistry*, 75:338-345 pp.
- Saadat, S., Akhtar, S., Ismail, T., Sharif, M.K., Shabbir, U., Ahmad, N. and Ali, A.,** 2020, Multilegume bar prepared from extruded legumes flour to address protein energy malnutrition, *Italian Journal of Food Science*, 32(1):167-180 pp.
- Saini, C.S.,** 2015, Preparation of corn flour based extruded product and evaluate its physical characteristics, *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 9:934-941 pp.
- Sajdakowska, M., Gebiski, J., Zakowska-Biemans, S. and Jezewska-Zychowicz, M.,** 2019, Willingness to eat bread with health benefits: habits, taste and health in bread choice, *Public Health*, 167:78-87 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Scanlon, M.G. and Zghal, M.C.**, 2001, Bread properties and crumb structure, *Food Research International*, 34:841-864 pp.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R. and Kaur, A.**, 2017, Wheat starch production, structure, functionality and applications-a review, *International Journal of Food Science & Technology*, 52:38-58 pp.
- Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A. and Singh, N.**, 2017, Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review, *Food Research International*, 101:1-16 pp.
- Sompong, U., Kaewprasit, C., Nakasathien, S. and Srinives, P.**, 2009, Inheritance of seed phytate in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek), *Euphytica*, 171:389-396 pp.
- Sroan, B.S., Bean, S.R. and MacRitchie, F.**, 2009, Mechanism of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten–starch matrix, *Journal of Cereal Science*, 49:32-40 pp.
- Steve, I.O.**, 2012, Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*), *Journal of Cereals and Oil Seeds*, 3(3):35-47 pp.
- Stone, A.K., Nosworthy, M.G., Chiremba, C., House, J.D. and Nickerson, M.T.**, 2019, A comparative study of the functionality and protein quality of a variety of legume and cereal flours, *Cereal Chemistry*, 96(6):1159-1169 pp.
- Summo, C., De Angelis, D., Rochette, I., Mouquet-Rivier, C. and Rasha, A.**, 2019, Influence of the preparation process on the chemical composition and nutritional value of canned purée of kabuli and Apulian black chickpeas, *Heliyon*, 5:e01361.
- Sun, Y., Li, H., Hu, J., Li, J., Fan, Y.W., Liu, X.R. and Deng, Z.Y.**, 2013, Qualitative and quantitative analysis of phenolics in *Tetrastigma hemsleyanum* and their antioxidant and antiproliferative activities, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(44):10507-10515 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şahin, M., Akçacık, A.G., Aydoğan, S., Hamzaoglu, S., Demir, B. ve Özdemir, F.**, 2016, Ekmeklik buğday, buğday unu ve kepek protein oranlarının karşılaştırılması, *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 5(1):22-27 s.
- Tang, D., Dong, Y., Ren, H., Li, L. and He, C.**, 2014, A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*), *Chemistry Central Journal*, 8(4):1-9 pp.
- Taşkın, B.**, 2019, Maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.) ve glutensiz gıdalarda kullanım potansiyeli, *Akademik Gıda*, 17(4):546-552 s.
- Tsopmo, A. and Muir, A.D.**, 2010, Chemical profiling of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars and isolation of compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(15):8715-8721 pp.
- Tuluk, K.**, 2017, Farklı Oranlarda Lupin Unu Kullanılarak Üretilen Beyaz Ekmek ve Tam Buğday Ekmeğinin Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 128s.
- Türksoy, S.**, 2018, Tam tane baklagil unlarının kimyasal, fonksiyonel ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Gıda*, 43(1):78-89 s.
- Urbano, G., López-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Tenorio, E. and Porres, J.**, 2000, The role of phytic acid in legumes: Antinutrient or beneficial function?, *Journal of Physiology and Biochemistry*, 56:283-294 pp.
- Van Den Eende, R.M., Akkermans, C., Van Der Goot, A.J. and Boom, R.M.**, 2004, Molecular breakdown of corn starch by thermal and mechanical effects, *Carbohydrate Polymers*, 56(4):415-422 pp.
- Wang, J., Rosell, C.M. and Barber, C.B.**, 2002, Effect of addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality, *Food Chemistry*, 79:221-226 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, N., Hatcher, D.W., Toews, R. and Gawalko, E.J.,** 2009, Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*), *LWT - Food Science and Technology*, 42(4):842-848 pp.
- Wang, P., Jin, Z. and Xu, X.,** 2015, Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage—A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives, *Trends in Food Science & Technology*, 46:189-198 pp.
- Wang, S., Austin, P. and Bell, S.,** 2011, It's a maze: The pore structure of bread crumbs, *Journal of Cereal Science*, 54:203-210 pp.
- Wang, Y., Sorvali, P., Laitila, A., Maina, N.H., Coda, R. and Katina, K.,** 2018, Dextran produced *in situ* as a tool to improve the quality of wheat-faba bean composite bread, *Food Hydrocolloids*, 84:396-405 pp.
- Wolf, B.,** 2010, Polysaccharide functionality through extrusion processing, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1-2):50-54 pp.
- Xu, B. and Chang, S.K.,** 2009, Phytochemical profiles and health-promoting effects of cool-season food legumes as influenced by thermal processing, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22):10718-10731 pp.
- Yağcı, S., Altan, A. and Doğan, F.,** 2020, Effects of extrusion processing and gum content on physicochemical, microstructural and nutritional properties of fermented chickpea-based extrudates, *LWT - Food Science and Technology*, 124:109150.
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z. and Liu, C.,** 2018, Properties of starch after extrusion: A review, *Starch*, 70:1-8 pp.
- Yi-Shen, Z., Shuai, S. and FitzGerald, R.,** 2018, Mung bean proteins and peptides: nutritional, functional and bioactive properties, *Food & Nutrition Research*, 62:1290.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Youvchev, A., Stone, A., Hood-Niefer, S. and Nickerson, M.,** 2017, Influence of the extrusion parameters on the physical properties of chickpea and barley extrudates, *Food Science and Biotechnology*, 26(2):393-399 pp.
- Yu, L., Guo, L., Liu, Y., Ma, Y., Zhu, J., Yang, Y., Min, D., Xie, Y., Chen, M., Tong, J., Rehman, A., Wang, Z., Cao, X. and Gao, X.,** 2021, Novel parameters characterizing size distribution of A and B starch granules in the gluten network: Effects on dough stability in bread wheat, *Carbohydrate Polymers*, 257:117623.
- Yüksel, F.,** 2019, Agar ve selüloz gam ilavesinin Kavılca (*Triticum spelta* L.) un ve ekmeğinin reolojik ve dokusal özellikleri üzerine etkisi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2):855-861 s.
- Zafar, S.H., Umair, M. and Akhtar, M.,** 2023, Nutritional evaluation, proximate and chemical composition of mungbean varieties/cultivars pertaining to food quality characterization, *Food Chemistry Advances*, 2:100160.
- Zandonadi, E.P., Botelho, R.B.A. and Araújo, W.M.C.,** 2009, Psyllium as a substitute for gluten in bread, *Journal of the American Dietetic Association*, 109:1781-1784 pp.
- Zghal, M.C., Scanlon, M.G. and Sapirstein, H.D.,** 2002, Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties, *Journal of Cereal Science*, 36:167-176 pp.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Liu, Q. and Tsao, R.,** 2015, Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase, *Food Chemistry*, 172:862-872 pp.
- Zhang, B., Deng, Z., Tang, Y., Chen, P., Liu, R., Ramdath, D. D., Liu, Q., Hernandez M. and Tsao, R.,** 2014, Fatty acid, carotenoid and tocopherol compositions of 20 Canadian lentil cultivars and synergistic contribution to antioxidant activities, *Food Chemistry*, 161:296-304 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhang, L., Ravipati, A.S., Koyyalamudi, S.R., Jeong, S.C., Reddy, N., Smith, P.T., Barlett, J., Shanmugam, K., Münch, G. and Wu, M.J., 2011, Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants containing phenolic and flavonoid compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 12361-12367 pp.

Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M.L., Hodgson, J. M. and Johnson, S.K., 2019, Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat, *LWT - Food Science and Technology*, 99:547-554 pp.



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca çalışmalarımın her aşamasında, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemedi bana yol gösteren, görüşleriyle beni destekleyen, danışmanım, Değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU'na ve ikinci tez danışmanım Değerli Hocam Sayın Öğr. Gör. Dr. Burak ALTINEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarımda bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarına yön veren ve değerli katkıları ile çalışmalarımı destekleyen Değerli Hocalarım Sayın Prof. Dr. Filiz İÇİER ve Sayın Prof. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bizlerin daha rahat ve güvenli koşullarda çalışması için her türlü imkanı sağlayan Değerli Hocam ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Şebnem TAVMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın değerlendirilmesinde ve tamamlanmasında tez çalışmama yaptığı değerli katkıları ve vermiş olduğu destekleri için Sayın Doç Dr. Nazlı SAVLAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarımda bana yardımcı olan ve manevi destek veren arkadaşlarıma,

Tez çalışmamda kullandığım buğday ununun temin edilmesinde sağladıkları destek için Söke Un A.Ş'ye,

Hayatım boyunca verdiğim her kararda ve attığım her adımda daima yanımda olan, her koşulda bana sonsuz desteklerini sunan, beni yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan biricik ailem; Sevgili babam İsmet TULUK'a, Sevgili annem Asuman TULUK'a, Sevgili ablam Fulya TULUK MIDİK'a ve Sevgili abim Mustafa MIDİK'a tüm kalbimle teşekkürlerimi sunuyorum.

13.09.2024

Kübra TULUK

ÖZGEÇMİŞ

Kübra TULUK, Lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, 2013 yılında tamamlamıştır. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Teknolojisi Bilim Dalı'nda, 2014 yılında, Tezli Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2016 yılında Erasmus Programı kapsamında gittiği Czech University of Life Science Prague Üniversitesi'nde çalışmalar yapmıştır. Yüksek Lisans eğitimini 2017 yılında tamamlamıştır. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Teknolojisi Bilim Dalı'nda, 2017 yılında, Doktora eğitimine başlamıştır.

Yüksek Lisans ve Doktora eğitimi sürecinde; hububatların kalite özelliklerinin belirlenmesi, hububatları öğütme teknolojileri, hamur reolojisi ve kalitesinin belirlenmesi, ekmek, makarna, bisküvi ve tahıl temelli gıdaların üretim teknolojileri, tahıl temelli gıda ürünlerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi, ekmek üretiminde enzimlerin kullanılması ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların yanında, Doktora eğitimi sürecinde; ekstrüzyon teknolojisi ile gıda işleme ve ekstrüde gıdaların kalite özelliklerinin belirlenmesi konuları üzerine çalışmalar yapmıştır. TÜBİTAK ve Ege Üniversitesi destekli birçok projede araştırmacı ve bursiyer olarak görev almıştır. Çalışma alanları ile ilgili ulusal ve uluslararası bilimsel dergilerde yayınlanmış yayınlarının yanında kitap bölümleri olarak basılan çalışmaları vardır. Ulusal ve uluslararası kongre ve sempozyumlarda yer alan sözlü ve poster sunumları mevcuttur.

Yayınlar

- Öngen Özgen, G., Şahinbaş, D., Düzel, A., Düzdemir, G. E., Altinel, B., Tuluk, K., Sargın, S. 2024. Production of xylanase intended to be used in bread-making: laboratory scale and pilot scale studies. *Biocatalysis and Biotransformation*, 42(4), 509-523.
- Yegin, S., Altinel, B., Tuluk, K. 2024. Exploitation of *Aureobasidium pullulans* NRRL Y-2311-1 xylanase in mulberry and rice flours-based gluten-free cookie formulation: Effects on dough properties and cookie characteristics, *Journal of Food Science*, 89: 2645-2658.
- Tuluk, K., Ertaş, N. 2019. The effects of different gluten-free flours on the physical, chemical, functional and sensorial properties of tarhana. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 23(3): 301-312.
- Yegin, S., Altinel, B., Tuluk, K. 2018. A novel extremophilic xylanase produced on wheat bran from *Aureobasidium pullulans* NRRL Y – 2311 - 1: Effects on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 81: 389-397.
- Tuluk, K., Tavman, Ş., Altinel, B., Kumcuoğlu, S., Glaue, Ş. 2018. Farklı oranlarda bamya tozu ikamesinin beyaz ekmeğin bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. *Tralleis Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2): 139-153.
- Altinel, B., Tuluk, K. 2018. Ksilanaz inhibitörleri ve ekmek üretimindeki etkileri. *Tralleis Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2): 66-79.
- Tuluk, K., Altinel, B. 2017. Beslenme, Sağlık ve Gıda Üretimi Açısından Lupinin Önemi. *Analiz* 35, 10(30): 36-45.

Kitap Bölümleri

- Altinel, B., Tuluk, K., “Tahıllar ve Baklagiller”, *Sağlıklı Mutfak*, ed. Y. Birol Saygı, Detay Yayıncılık, Ankara, ss. 396-427, 2021, ISBN: 978-605-254-346-7.

Altinel, B., Tuluk, K., “Mutfagımda Ekmegimi Kendim Yapıyorum”, Mutfakta Gıdamı İşliyorum, ed. Y. Birol Saygı & Ş. Tavman, Detay Yayıncılık, Ankara, ss. 329-358, 2021, ISBN: 978-605-254-493-8.

Bildiriler

Düzel, A., Öngen Özgen, G., Altinel, B., Tuluk, K., Sargın, S. 2024. Production of xylanase enzyme from laboratory scale to pilot scale by recombinant *Aspergillus niger* (rAB2 (12-1-7)) in submerged fermentation and its use in bread making. V. International Enzyme & Bioprocess Days, Ağustos 2024, İzmir, Türkiye. (Poster Bildiri)

Yegin, S., Altinel, B., Tuluk, K. 2024. Potential of xylanase utilization in gluten free cookie formulations. V. International Enzyme & Bioprocess Days, Ağustos 2024, İzmir, Türkiye. (Poster Bildiri)

Sadie, A.K., Tuluk, K., Altinel, B., Tavman, Ş. 2022. Kasava, sorgum unu ve bamya tohumu tozu kullanarak fonksiyonel glutensiz ekmek üretimi. 5. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 24 Kasım 2022-26 Kasım 2022, Bursa, Türkiye. (Poster Bildiri)

Yemişçiöğlu, F., Yazılıkaya, M., İblar, G., Erkoç, S., Mercan, P., Altinel, B., Tuluk, K. 2019. Türkiye’de ve Avrupa Birliği’nde tescillenmiş natürel zeytinyağlarının coğrafi işaret tescil belgelerinin kıyaslanması. Yağ Bilimi ve Teknolojisi Derneği (YABITED), IV. Bitkisel Yağ Kongresi, 18 Nisan 2019-19 Nisan 2019, İstanbul, Türkiye. (Poster Bildiri)

Tuluk, K., Tavman, Ş., Altinel, B., Kumcuoğlu, S., Glaue, Ş. 2018. Farklı oranlarda bamya tozu ikamesinin beyaz ekmeğin bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi (ICAEH), 26 Ekim 2018-28 Ekim 2018, Aydın, Türkiye. (Sözlü Bildiri)

Altinel, B., Tuluk, K. 2018. Ksilanaz inhibitörleri ve ekmek üretimindeki etkileri. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi (ICAEH), 26 Ekim 2018-28 Ekim 2018, Aydın, Türkiye. (Sözlü Bildiri)

- Tuluk, K., Altinel, B. 2018. Farklı Oranlarda Lupin Unu ile İkame Edilmiş Beyaz Ekmekğin Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi (ICAEH), 26 Ekim 2018-28 Ekim 2018, Aydın, Türkiye. (Poster Bildiri)
- Döner, F., Altinel, B., Tuluk, K., Göksungur, Y. 2018. The effects of *Lactobacillus sanfranciscensis* sourdough on the certain quality characteristics of bread. 9th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists, 03 October-05 October 2018, Zagreb, Hırvatistan. (Poster Bildiri)
- Altinel, B., Tuluk, K., Özdikicierler, O., Yemişçioğlu, F. 2017. Farklı Bitkisel Yağlar Kullanılarak Üretilen Ekmeklerin Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. 10. Gıda Mühendisliği Kongresi, 9 Kasım 2017-11 Kasım 2017, Antalya, Türkiye. (Poster Bildiri)
- Tuluk, K., Altinel, B., İçier, F., Yüksel, H., Köprüalan, Ö. 2017. Farinographic and Extensographic Properties of Quinoa Flour Substituted Wheat Dough. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, 15 Mayıs 2017-17 Mayıs 2017, Nevşehir, Türkiye. (Sözlü Bildiri)