



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



MAŞ FASULYESİ UNU İÇEREN EKSTRÜDE ATIŞTIRMALIK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

AYLİN YAPRAK

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**MAŞ FASULYESİ UNU İÇEREN EKSTRÜDE
ATIŞTIRMALIK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE
İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Aylin YAPRAK

Danışman: Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

Aylin Yaprak tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Maş Fasulyesi Unu İçeren Ekstrüde Atıştırılabilir Üretiminin Araştırılması ve İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu” 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 12.09.2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Şebnem TAVMAN	
Üye	: Doç. Dr. Hilal İŞLEROĞLU	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Maş Fasulyesi Unu İçeren Ekstrüde Atıştırmalık Üretiminin Araştırılması ve İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu” 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.

12 / 09 / 2022

İmzası

Adı-Soyadı

Aylin YAPRAK

ÖZET**MAŞ FASULYESİ UNU İÇEREN EKSTRÜDE ATIŞTIRMALIK
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI VE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

YAPRAK, Aylin

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU

Eylül 2022, 92 sayfa

Bu çalışmada maş fasulyesi ununun ekstrüde atıştırmalık üretiminde kullanımının araştırılması ve ekstrüzyon koşullarının ürün özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Maş fasulyesi unu içermeyen ve maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretimi için iki farklı deneme planı kullanılmıştır. Maş fasulyesi unu içermeyen ürünlerin üretimi için verilen deneme planı kontrol örneğinin belirlenmesi amacıyla oluşturulmuştur. Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretiminde maş fasulyesi unu oranı (%20-60), besleme nem içeriği (%16-18), ekstrüder namlu sıcaklığı (140-170°C); maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin üretimi için ise besleme nem içeriği (%16-18), ekstrüder namlu sıcaklığı (140-170°C) değişkenleri Merkezi Kompozit Tasarımı Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Optimum koşullarda üretim yapılarak doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. Maş fasulyesi unu miktarının ve ekstrüzyon koşullarının, genleşme oranı, yığın yoğunluğu, renk, sertlik, gevreklik, su absorpsiyon indeksi (WAI), suda çözünürlük indeksi (WSI), kristalinite değeri ve duyu özellikler üzerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca; maş fasulyesi unu, mısır irmiği ve formülasyonda kullanılan karışımların çirleşme özellikleri belirlenmiştir. Maş fasulyesi unu ilavesi ile ekstrüde atıştırmalıkların yığın yoğunluğu ve sertliği artmakta, genleşme oranı ve gevrekliği azalmaktadır. Ekstrüder namlu sıcaklığı ve besleme neminin artışı ile ekstrüde ürünlerin genleşme oranının ve gevrekliğinin azaldığı, sertlik ve yığın yoğunluğunun ise arttığı görülmüştür. Maş fasulyesi unu miktarı arttıkça L^* ve b^* değerlerinin düştüğü, sıcaklık artışının ise L^* değerinde bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Ancak tüm sıcaklıklarda artan maş fasulyesi unu miktarı ile a^* değerinin artış gösterdiği tespit

edilmiştir. Optimum koşullar 145°C ekstrüder namlu sıcaklığı, %16 besleme nemi ve %40 maş fasulyesi unu olarak belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Ekstrüzyon, maş fasulyesi unu, çirilenme özellikleri, ekstrüde atıştırılmalık



ABSTRACT**INVESTIGATION OF THE USE OF MUNG BEAN FLOUR IN
EXTRUDED SNACK PRODUCTION AND OPTIMIZATION OF
THE PROCESS PARAMETERS**

YAPRAK, Aylin

MSc in Food Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU

September 2022, 92 pages

In this study, it was aimed to investigate the use of mung bean flour in the production of extruded snacks and examine the effects of extrusion conditions on product properties. Two different trial plans were followed for the production of extruded products one of them was used for the products that do not contain mung bean flour and the other one for products containing mung bean flour. The trial plan given for the production of extruded snacks that do not contain mung bean flour was used to determine the control sample. In the production of extruded products containing mung bean flour, mung bean flour amount (20-60%), feed moisture content (16-18%), and extruder barrel temperature (140-170°C); for the production of mung bean flour-free extruded products, feed moisture content (16-18%), extruder barrel temperature (140-170°C) were optimized using the Central Composite Design Response Surface Method. Verification analyzes were carried out by producing under optimum conditions. The effects of mung bean flour amount and extrusion conditions on expansion ratio, bulk density, color, hardness, crispness, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), crystallinity value, and sensory properties of extruded products were investigated. In addition, the pasting properties of mung bean flour, corn semolina, and blends used in the formulations were determined. With the addition of mung bean flour, the bulk density and hardness of the extruded snacks increased, and the expansion ratio and crispness decreased. It was observed that the expansion rate and crispness of the extruded products decreased, while the hardness and bulk density increased with the increase in extruder barrel temperature and feed moisture content. It was determined that L^* and b^* values decreased as mung bean flour increased, while an increase in temperature caused an increase in L^* value. However, it was determined that a^* value increased with increasing mung bean flour amount at all temperatures.

The optimum conditions were determined as 145°C extruder barrel temperature, 16% feed moisture content, and 40% mung bean flour.

Keywords: extrusion, mung bean flour, pasting properties, extruded snacks



ÖNSÖZ

Protein içeriği yüksek sağlıklı atıştırmalıkların önemi günümüzde giderek artmaktadır. Bu çalışmada, maş fasulyesi unu ilavesi ile yeni bir formülasyon geliştirilerek ekstrüzyon teknolojisi ile sağlıklı atıştırmalık üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın konusunun belirlenme ve hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyen, fikirleriyle yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU'na ve değerli hocam Şebnem TAVMAN'a, tez için yapmış olduğum laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarıyla büyük katkıda bulunan, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı Neslihan BOZDOĞAN'a, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen ve manevi destek veren arkadaşlarım Ali ORHAN, Ebru ORMANLI, Buket AMCA'ya, bu tez çalışmasına maddi destek sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) (Proje No: 22807) Kordinatörlüğüne ve son olarak aydınlık ve çağdaş fikirleriyle, Cumhuriyet ışığı altında yetiştiren aileme ve bugün sahip olduğumuz bağımsızlığımızı, özgürlüklerimizi ve Cumhuriyeti bizlere armağan eden, “Dünyada her şey için, medeniyet için, hayat için, başarı için, en hakiki mürşit bilimdir, fendir.” sözüyle yolumuzu aydınlatan Mustafa Kemal Atatürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR

12/09/2022

Adı-Soyadı

Aylin Yaprak



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK.....	i
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURULLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
2.1. Maş Fasulyesi	4
2.2. Mısır	5
2.3. Ekstrüzyon	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal.....	9

İÇİNDEKİLER(devam)

3.2. Metot	9
3.2.1. Bileşim analizleri	9
3.2.1.1. Nem tayini	9
3.2.1.2. Kül tayini	10
3.2.1.3. Protein tayini	10
3.2.1.4. Yağ tayini	10
3.2.2. Çirşlenme Analizi	11
3.2.3. Ekstrüde ürünlerin üretimi	11
3.2.3.1. Deneme planı ve optimizasyon	11
3.2.3.2. Ekstrüzyon	15
3.2.4. Ekstrüdatlarda gerçekleştirilen fiziksel analizler	16
3.2.4.1. Yığın yoğunluğu	16
3.2.4.2. Genleşme oranı (ER)	17
3.2.4.3. Renk	17
3.2.4.4. Tekstür	17
3.2.4.5. Su aktivitesi	17
3.2.4.6. Suda çözünürlük indeksi (WSI) ve su absorplama indeksi (WAI)	18
3.2.5. X-Işını Kırınımı (XRD)	18

İÇİNDEKİLER(devam)

3.2.6. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)	18
3.2.7. Duyusal analiz	19
3.2.8. <i>In vitro</i> nişasta sindirilebilirlik	19
3.2.9. İstatistiksel analiz	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Hammaddelerin Kimyasal Kompozisyonu	20
4.2. Çişişlenme Özellikleri.....	21
4.3. Ekstrüdatların Fiziksel Özellikleri.....	26
4.3.1. Yığın yoğunluğu ve genleşme oranı	26
4.3.2. Renk	35
4.3.3. Tekstür.....	38
4.3.4. Su absorplama indeksi ve suda çözünürlük indeksi.....	43
4.3.5. X- Işını Kırınımı.....	49
4.3.6. SEM.....	57
4.3.7. Ekstrüde Atıştırmalıkların Protein ve Nem İçeriği.....	60
4.3.8. Duyusal Analiz	62
4.3.9. Optimizasyon	67
4.3.10. Nişasta sindirilebilirliği	70

İÇİNDEKİLER(devam)

5. SONUÇLAR.....	73
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	74
TEŞEKKÜR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	92
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Ekstrüzyon cihazı.....	16
Şekil 3.2 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretim şeması.....	16
Şekil 4.1 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genleşme oranı değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	30
Şekil 4.2 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğu değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	32
Şekil 4.3 Maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin (a) genişleme oranı ve (b) yığın yoğunluğu değerleri için yanıt yüzey grafikleri	35
Şekil 4.4 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin sertlik değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	38
Şekil 4.5 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin gevreklik değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	42
Şekil 4.6 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların (a) gevreklik ve (b) sertlik değerleri için yanıt yüzey grafikleri	43
Şekil 4.7 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin WAI değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	45
Şekil 4.8 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların WSI değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	48
Şekil 4.9 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin (a) WSI ve (b) WAI değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	49
Şekil 4.10 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin kristalinite değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	52
Şekil 4.11 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin X- ışını kırınımı deseni.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.12 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin X-ışını kırınımı deseni.....	54
Şekil 4.13 Mısır irmiği ve maş fasulyesi ununun X-ışını kırınımı deseni.....	55
Şekil 4.14 Ekstrüde ürünlerin SEM görüntüleri A) M60W18T155, B) M60W16T170, C) M60W16T140, D) M0W18T140.....	60
Şekil 4.15 Ekstrüde ürünlerin SEM görüntüleri (x1000) A) M40W16T140, B) M0W18T140, C) M60W16T140, D) M20W16T140.....	61
Şekil 4.16 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin protein değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	62
Şekil 4.17 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanları için yanıt yüzey grafikleri.....	66
Şekil 4.18 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanları değerleri için yanıt yüzey grafikleri.....	66
Şekil 4.19 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin duyusal analiz sonuçların grafiği.....	67
Şekil 4.20 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz sonuçlarının grafiği.....	68
Şekil 4.21 Optimize koşullarında üretilmiş ürünlerin SEM görüntüleri A) M40W16T145-OP, B) M0W16T149op	71

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalık üretimi deney tasarımı bağımsız değişkenleri ve seviyeleri.....	12
Tablo 3.2 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalık üretimi deney tasarımı bağımsız değişkenleri ve seviyeleri	12
Tablo 3.3 Maş fasulyesi unu içeren örneklerin üretimi için hazırlanan deneysel tasarım.....	13
Tablo 3.4 Maş fasulyesi unu içermeyen örneklerinin üretimi için hazırlanan deneysel tasarım.....	14
Tablo 4.1 Hammaddelerin kimyasal kompozisyonu	20
Tablo 4.2 Ekstrüde atıştırmalıkların üretiminde kullanılan hammaddelerin ve karışımlarının çirilenme özellikleri	22
Tablo 4.3 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin analiz sonuçları.....	27
Tablo 4.4 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin analiz sonuçları.....	28
Tablo 4.5 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genleşme oranlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	31
Tablo 4.6 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin genleşme oranlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	32
Tablo 4.7 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunu etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	34
Tablo 4.8 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunu etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	35
Tablo 4.9 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin renk değerleri.....	37
Tablo 4.10 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin renk değerleri.....	38

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.11 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin sertlik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi	41
Tablo 4.12 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin sertlik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	41
Tablo 4.13 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin gevreklik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	42
Tablo 4.14 Maş fasulyesi unu içermeyen ürünlerin gevreklik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	43
Tablo 4.15 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin WAI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	45
Tablo 4.16 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin WAI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	46
Tablo 4.17 Maş fasulyesi içeren ekstrüde ürünlerin WSI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	48
Tablo 4.18 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin WSI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	49
Tablo 4.19 Maş fasulyesi içeren ekstrüde ürünlerin kristalinite değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi	52
Tablo 4.20 Maş fasulyesi içeren ekstrüde ürünlerin proses koşulları için yanıt modelleri	56
Tablo 4.21 Maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin proses koşulları için yanıt modelleri	57
Tablo 4.22 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin protein içeriğini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....	63

TABLolar DİZİNİ (devam)TabloSayfa

Tablo 4.23 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....65

Tablo 4.24 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerinin genel kabul edilebilirlik puanlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi.....65

Tablo 4.25 Optimum koşullarda üretilen atıştırmalıkların analiz sonuçları ve doğrulamaları.....70

Tablo 4.26 Optimum koşullarda üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* nişasta sindirilebilirlik değerleri.....72



SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L*	Renk analizi sonrası elde edilen parlaklık değeri
a*	Renk analizi sonrası elde edilen kırmızılık değeri
b*	Renk analizi sonrası elde edilen sarılık değeri
R ²	Regresyon Katsayısı
R ² _{adj}	Düzeltilmiş regresyon katsayısı
pred-R ²	Tahminlenen Regresyon Sayısı
g	Gram
mg	Miligram
mL	Mililitre
s	Saniye
dk	Dakika
°C	Santigrad
BU	Brabender Unit
cP	Santipoise
N	Newton
rpm	Dakikadaki devir sayısı
AACC	American Association of Cereal Chemists

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
BD	Yığın Yoğunluğu
ER	Genleşme Oranı
OA	Genel Kabul Edilebilirlik
WSI	Suda Çözünürlük İndeksi
WAI	Su Absorpsiyon İndeksi
H	Sertlik
HSN	Hızlı Sindirilebilen Nişasta
YSN	Yavaş Sindirilen Nişasta
DN	Dirençli Nişasta
SCFA	Kısa Zincirli yağ asitleri
TS	Toplam Nişasta
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
C	Gevreklik
X _c	Kristalinite Değeri
PC	Protein İçeriği
ANOVA	Varyans Analizi

1. GİRİŞ

Hayatın hızlanması ve açlığımızı gidermek için gereken zamanın kısıtlanmasıyla birlikte atıştırmalık yiyeceklere olan talep artış göstermektedir ve bu nedenle tüketiciler de enerji dengesini bozmayan, lif ve proteince zengin ürün arayışına girmişlerdir. Baklagillerin bu özelliklere sahip olması nedeniyle baklagiller üzerine yapılan araştırmalarda artış meydana gelmiştir. Baklagil ailesine ait olan maş fasulyesinin (*Vigna radiata*), toplam kuru madde ağırlığınının %20-25'i proteinden oluşmaktadır. Bu proteinler, fenilalanin, lösin, izolösin, valin, triptofan, arjinin, metiyonin ve lizin dahil olmak üzere önemli miktarda esansiyel amino asit içermektedir. Maş fasulyesi önemli bir protein kaynağı (240 g/kg) olduğu gibi diyet lifi ve polifenoller açısından da zengindir (Ganesan and Xu, 2018).

Atıştırmalıkların üretiminde genel olarak fırınlama, kızartma ve ekstrüzyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ekstrüzyonla pişirme; karıştırma, kesme, şişirme, şekillendirme ve kurutma gibi birçok işlemin aynı anda gerçekleştiği verimli bir üretim süreci olarak kabul edildiğinden gıda endüstrisinde önemli bir işleme tekniği olup atıştırmalıkların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekstrüzyon verimli bir üretim işlemi olmasına rağmen, elde edilen son ürünün kalite özellikleri, işlem koşulları ile büyük değişiklik gösterebildiğinden dolayı, besleme nemi, ekstrüzyon sıcaklığı, besleme hızı, vida hızı ve beslemenin içeriği gibi üretim koşullarının, atıştırmalığın istenen yapı ve tekstür özelliklerine göre optimize edilmesi gerekmektedir (Anton et al., 2009).

Maş fasulyesi, içeriğindeki yüksek protein ve diyet lifi nedeniyle hayvansal proteinlere iyi bir alternatif olabilecek bir ürün olarak görülebilmekte ve fonksiyonel ürünlerin üretiminde kullanımı giderek artmaktadır. Bu tez çalışmasında, farklı oranlarda mısır irmiği ve maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalık üretimi gerçekleştirilmiş, besleme nemi, ekstrüder namlu sıcaklığı ve mas fasulyesi unu oranının ürün kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Baklagiller; yonca, acı bakla, taze fasulye, bezelye, yarfıstığı, soya fasulyesi, kuru fasulye, bakla, kuru bezelye, nohut ve mercimek gibi bitkileri içerir. Baklagiller sebze olarak kullanılanlar (taze fasulye ve taze bezelye), yağ elde etmek için yetiştirilenler (soya fasulyesi, yarfıstığı), ekim amaçlı olarak kullanılanlar (alfalfa veya yonca) ve kuru baklagiller olarak bilinen bakliyatlar şeklinde ayrılabilir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), bakliyatı; kuru, yenilebilir, düşük yağ içerikli ve baklagillerin bir alt grubu olarak, insanlar ile hayvanlar tarafından yenilebilir tohumlar olarak değerlendirmektedir (Tiwari and Cummings, 2011).

Baklagiller yüksek miktarlarda içerdikleri protein, karbonhidrat, diyet lifi, vitamin, mineral ve fitokimyasal maddeler nedeniyle, pek çok ülkede insanlar için önemli bir besin kaynağı olarak görülmektedir. Bakliyatlar ülkemizde yaygın olarak tüketilmesine karşın endüstriyel ürünlere işlenmesinde ve ekonomik değerinin artırılmasında istenilen noktaya gelememiştir.

Yemeklik baklagillerin tanelerindeki proteinlerinin 100 gramında bulunan amino asit miktarları, hububat bitkilerinin tanelerindeki proteinlerin esansiyel amino asit miktarlarından çok fazla olup aynı miktardaki ette mevcut bulunan amino asitlerin miktarına yaklaşmaktadır. Bileşimlerindeki proteinlerin %65-95'i suda erimekte ve bu yönden de hayvansal proteinlere yakın olmaktadır. Bu durumda metiyonin hariç 200 g yemeklik baklagil tohumlarının proteinlerindeki esansiyel amino asit miktarları 100 g et proteinin amino asit miktarları ile eş değerde olduğu bildirilmiştir. Son yıllarda, gıda endüstrisi söz konusu besleyici özellikleri nedeniyle, bakliyatların tek başına veya diğer gıda kaynakları ile birleştirilerek kullanımını arttırmayı hedeflemektedir. Bu nedenle bakliyatların yüksek oranda içerdikleri protein ve diyet lifi gibi faydalı bileşenlerinin izolat formunda elde edilmesi ve endüstride kullanım alanlarının araştırılması önem kazanmaktadır (Pekşen ve Artık, 2005).

Baklagillerin diyet lifi içerikleri incelendiğinde; çözünür diyet lifince zengin oldukları, çözünür olmayan diyet lifini ise tüm diyet lifi miktarı içerisinde daha az oranda içerdikleri görülmektedir. Baklagillerde uzun zincirli çözünebilir polisakkaritler ve çözünür olmayan polisakkaritler başta olmak üzere galaktooligosakkaritler ve dirençli nişasta gibi birkaç çeşit diyet lifine rastlanmaktadır. Baklagil diyet lifleri prebiyotik özellikler göstermekte ve insan sağlığına faydalı oldukları belirtilmektedir (Erdil ve Gedik, 2018).

Günümüzde değişen beslenme koşullarına bağlı olarak sindirim sistemi hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar, obezite, diyabet, kolesterol, hipertansiyon ve çeşitli kanser türlerinin görülme sıklığı giderek artmaktadır. Bu durum, sağlıklı ve fonksiyonel özellikteki yeni ürünlerin üretilmesine yönelik talepleri artırmaktadır. Dolayısıyla günlük beslenmemizin vazgeçilmez bir parçası olan ekmek, makarna vb fırın ürünlerine fonksiyonellik katacak yeni bileşenlerin formülasyona dahil edilmesi yönündeki yeni araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Bakliyatlar da beslenme kaliteleri nedeniyle dünyadaki en önemli mahsul grubundan biridir. Zengin kompleks karbonhidrat, protein, vitamin ve mineral kaynağıdır (Sozer et al., 2017). Aynı zamanda, diyabetli kişiler için düşük glisemik indeks, doygunluk hissi vermesinin yanı sıra diyet lifi içeriği nedeniyle kardiyovasküler hastalıklara karşı korumanın artması, kolon kanserinin önlenmesi ve kandaki kolesterol seviyelerinin düşürülmesi gibi sağlık açısından pek çok yararları da vardır. Bu nedenle de diyet formülasyonlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Baklagillerin çeşitli gıda formülasyonları için bileşik unlarda artan kullanımı göz önüne alındığında, su emme, yağ emme, emülsiyon kapasitesi, emülsiyon stabilitesi, köpüklenme kapasitesi ve köpük stabilitesi gibi fonksiyonel özellikleri önem kazanmaktadır. Fonksiyonel özellikler, proteinlerin gıda sistemlerinde benimsenmesi ve kabul edilebilirliği için başlıca kriterleri oluşturmaktadır (Cotacallapa-Sucapuca et al., 2021). Tahıl ürünlerinin fonksiyonel özelliklerini ve besinsel içeriğini zenginleştirmek, çölyak hastaları için yeni ürünler ortaya koymak amacıyla son zamanlarda baklagillerin kullanımı giderek artmaya başlamıştır. Ayrıca tahıl ve baklagil proteinlerinin kombinasyonu, dengeli beslenmede önemi olan amino asitlerin dengesi de sağlanmış olmaktadır (Kilinceker, 2019). Gelir ve alışkanlık düzeyine bağlı olarak tüketici taleplerinin değişmesi, sürdürülebilir yeni gıda üretim sistemlerinin gerekliliği gibi faktörler gıda ve içki üreten işletmeleri sürdürülebilir üretim yapısına sahip olmaya, yenilikçi olmaya ve ileri teknolojiler kullanmaya teşvik etmektedir. Bu süreçte işletmelerin sektördeki gelişmeleri yakından takip etmesi, yeni yatırımlara, Ar-Ge faaliyetlerine öncelik verilmesi önem kazanmıştır. Aynı zamanda işletmelerin rekabette başarılı olmaları için değişen koşullara uyum sağlamaları ve yapılanmaları da zorunlu olmuştur. Tüm bu etkiler altında rekabette önde yer almak isteyen işletmelerin tüketicilerin taleplerini, beklentilerini ve gıda tercihlerini etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak analiz etmeye gereksinimleri önemli hale gelmiştir. Hem sağlıklı, yüksek proteinli ve lifli ürünleri hem de yemeye hazır yiyecekleri kullanmaya yönelik artan bir tüketici grubu vardır. Bu durum, bakliyat veya bakliyat bileşenleri ile yenilikler gerçekleştirmek için fırsatlar yaratmaktadır.

Yapılan çalışmalar genellikle tahıllar ve bakliyatların birlikte kullanımları ile ekmek, makarna, bisküvi ve ekstrüde ürünler üzerinde gerçekleştirilmektedir (Sozer et al., 2017).

2.1. Maş Fasulyesi

Maş fasulyesi [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] antik zamanlardan beri Hindistan'da yetiştirilmektedir. Halen dünyada Güneydoğu Asya, Afrika, Güney Amerika ve Avustralya'da tarımı yapılmaktadır. ABD'de hemen hemen tüm yerli üretim Oklahoma'dadır (Oplinger et al., 1990). Maş fasulyesinin yabani ve kültür formlarının Hindistan'da 2000 metre yükseklikte Kuzey-Batı Himalayalar'da bulunduğu bildirilmiştir (Lal, 1985). Sağlığa faydaları ile besin maddeleri bakımından zengin bir kaynak olan maş fasulyesi (*Vigna radiata*), Hindistan'da yaygın olarak kullanılan bir fonksiyonel gıdadır (Madar et al., 2017). Ana bileşenleri karbonhidrat, protein ve diyet lifi olan maş fasulyesinin, yağ ve sodyum içeriği düşüktür. Yağ içeriği düşük olmasına rağmen başlıca linoleik, palmitik ve oleik asit gibi gelişim ve büyümeyi destekleyici yağ asitlerini içermektedir.

Baklagil ailesine ait olan maş fasulyesi (*Vigna radiata*), hem ilaç hem de gıda amaçlı kullanılabilen bir gıda çeşididir. Çin'e özgü olup 2000 yılı aşkın süredir ekilmektedir (Duyen et al., 2020; Meng et al., 2019). Yemeklik olarak tüketilen maş fasulyesi tohumları kurutulup bütün ya da parçalanarak pişirildiği gibi, fermente edilerek, kavru olarak veya değirmende öğütülüp un olarak da kullanılmaktadır. İçerdiği diyet lifi ve polifenoller sayesinde de birçok ülkede tahıl ağırlıklı diyetlerde protein kaynağı olarak kullanılabilmektedir (Zhang et al., 2016).

Genel olarak, maş fasulyesi nişastaları küçük küreye ve pürüzsüz yüzeyli büyük granüllere sahip olup esas olarak karbonhidrattan oluşur (%55-65, 630 g/kg kuru ağırlığa eşittir) ve karbonhidratları kolayca sindirilebilir. Bu da diğer baklagil türlerine kıyasla insanlardaki şişkinliğin daha az olmasını sağlamaktadır (Yang et al., 2020). Maş fasulyesi %26-31 nişasta içerir ve insan diyetinde dirençli nişasta alımının ana kaynağıdır. İçerdiği nişasta, yüksek amiloz içeriğine sahip olduğu için iyi granüler stabiliteye sahip olup nişastanın çiriş özelliği kazanması diğer baklagiller ile kıyaslandığında daha kolay olduğu belirtilmiştir (Duyen et al., 2020). Ana bileşenleri karbonhidrat, protein ve diyet lifi olan maş fasulyesinin, yağ ve sodyum içeriği düşüktür.

Baklagiller, hayvansal ve deniz ürünleri proteinlerine kıyasla en zengin ve en ucuz protein kaynaklarını oluşturduğundan araştırmacılar tarafından gıdaların zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitkisel proteinler, et alternatifi olarak artırılmış işlevselliğe, hafif bir tat profiline, ek besin faydalarına ve düşük maliyet avantajına sahiptir.

Maş fasulyesi, toplam kuru ağırlığının yaklaşık %20-25'i proteinden oluşması nedeniyle yüksek besleyici değeri ile bilinmektedir. Bu proteinlerin arasında globulin (%60) ve albümin (%25) birincil depolama proteinleridir. Bu nedenle günümüzde maş fasulyesi tüketimi önemli ölçüde artmaktadır. Maş çekirdeklerindeki protein, fenilalanin, lösin, izölösün, valin, triptofan, arginin, metiyonin ve lizin dahil olmak üzere daha fazla miktarda esansiyel amino asit içermektedir. Bu nedenle, diyet proteinlerinin (240 g/kg) önemli bir kaynağı olduğu düşünülmektedir (Ganesan and Xu, 2018).

Maş fasulyesi, mercimek, nohut ve diğer yedi çeşit fasulye türü ile gerçekleştirilen bir çalışmada, maş fasulyesinin (%27.10) mercimekten (%28.05) sonra en yüksek protein içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Du et al., 2014). Tiamin (B1), riboflavin (B2), niasin, pantotenik asit, A vitamini karotenoidleri, C vitamini içerdiği ve tokoferoller ile E vitamini de içermesi nedeniyle maş fasulyesinin kanser önleyici etkisi olabileceği düşünülmektedir. Maş fasulyesinin sindiriminin diğer baklagillere oranla daha kolay olduğu, antibesinsel madde içeriğinin (fitik asit, tripsin inhibitörü, tanin vb.) daha az olduğu tespit edilmiştir (Taşkın, 2019). Maş fasulyesi, noodle/erişte, lapa, ekmek, kek, tatlı, çerez, atıştırmalıklar ve şekerleme gibi ürünlerin yapımında yaygın kullanıldığı için maş fasulyesi bazlı ürünlerin ekstrüzyon davranışı ve fizikokimyasal ve tekstür özellikleri üzerine yapılan çalışmalarda artış gözlemlenmektedir (Sharma et al., 2017; Taşkın, 2019).

2.2. Mısır

Buğdaygiller familyasına ait olan mısır; atdişi mısır (*Zea mays indendata*), sert mısır (*Zea mays indurata*), patlak mısır (*Zea mays everta*), şeker mısır (*Zea mays saccharata sturt*), mumsu mısır (*Zea mays ceratina*), unlu mısır (*Zea mays amylaceae*) ve kavuzlu mısır (*Zea mays tunicata*) olmak üzere yedi alt türden oluşan bir tahıl türüdür. Farklı alt türlere ayrılmasından dolayı tarih boyunca farklı kullanım alanlarına sahip olmuştur (Öztürk vd., 2019). Dünya genelinde üretilen mısırların yaklaşık %21'inin gıda amaçlı tüketildiği belirtilmiştir (Özcan, 2009).

Mısır, diğer tahıllara oranla önemli bir enerji ve karbonhidrat kaynağı olduğundan dolayı tüm dünyada hem insanlar hem de çiftlik hayvanları tarafından yüksek oranda tüketilen bir besin kaynağıdır (Espinoza-Moreno et al., 2016). Temel makro ve mikro besin açısından önemli yeri olan mısır büyüme için gerekli olan amino asitlerden lizin ve triptofan bakımından sınırlı içeriğe sahiptir (Leon et al., 2022). Mısır, koçanı üstünde yan yana, sıkışık bir biçimde dizili halde olup, dane rengi açık ya da koyu sarı; esmer ya da kırmızımsı tırak renktedir. Mısırın %72-73'ü karbonhidrat (özellikle nişasta), %13-16'sı su, %8-10'u protein, %5-7'si yağ ve %1,1-2'si ise minerallerden oluşmaktadır (Özcan, 2009). Mısır, ekstrüde atıştırmalıklarda tüketici tarafından son üründe istenilen yapı, tekstür, hacim ve gevreklik gibi kalite özelliklerini sağlarken, besin değeri açısından sağlık bilincine sahip tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır (Anton et al., 2009).

2.3. Ekstrüzyon

Atıştırmalıklar, tüketicilerin genel beslenme rutinlerinde önemli yere olması nedeniyle beslenmeye katkıda bulunmaktadırlar. Kentleşmenin artması ile yaşam tarzında meydana gelen değişim ve buna bağlı olarak hem iç hem de uluslararası pazarların büyümesi gibi faktörlerin atıştırmalık yiyecek pazarlarını canlandığı düşünülmektedir. Atıştırmalık yiyecek üretim teknolojisindeki genişleme, sık ve sürekli değişen bir olgu haline gelmiştir. Atıştırmalıkların üretiminde en yaygın olarak kullanılan teknoloji ekstrüzyon işlemidir (Cuj-Laines et al., 2018). Ekstrüzyon işlemi karıştırma, ısıtma, kesme gibi birçok işlemin birleştirildiği, hamurun kalıptan itildiği bir süreç olarak tanımlanmakta olup, sistem içindeki materyallerin akışı, bu materyallerin kendi aralarındaki termal enerji aktarımları ve prosetteki kütle aktarımlarından oluşan bir taşıma işlemidir. Gıda endüstrisinde ekstrüzyon pişirme; enerji tüketiminin az olması, üretimin verimli ve son ürünün ucuz olması, yeni teknolojilerden olması, yüksek sıcaklık-kısa süreli işleme yöntemi olmasından dolayı tercih edilen ve kullanımı gittikçe artan bir yöntemdir (Dey et al., 2021).

Atıştırmalıkların üretiminde, uygulanan yüksek ısı ve basıncın etkisiyle üründe kimyasal ve fiziksel değişimler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerden bazıları nişasta jelatinizasyonu, protein denatürasyonu ve ürünün genleşmesidir. Ekstrüzyonla pişirmede gerçekleşen bu değişimlerin nişasta ve proteinler üzerinde önemli modifikasyonlara yol açarak, nişasta ve proteinlerin sindirilebilirliğini arttırdığı belirlenmiştir (Singh and Sandhu, 2007; Patil et al., 2016). Ekstrüzyonla pişirmenin diğer bir etkisi ise üründe istenen aromayı sağlamak ve nişastanın

modifikasyonunda ekstrüzyonu ısıtıl işlem olarak kullanmaktır. Ekstrüzyon ile pişirmenin avantajlarından biri de tüketime hazır, raf ömrü uzun bir atıştırmalık üretimine olanak sağlamasıdır. Ayrıca geleneksel pişirme yöntemlerinden farklı olarak pişirme işlemi düşük nem içeriğinde gerçekleşebilmekte ve ekstrüzyon ile pişirme yönteminin sürekli üretim sistemine sahip olduğu belirtilmektedir. Farklı şekil, boyut ve tekstürde ürünler üretebilen ekstruderler gıdalarda istenen şekil, tekstür ve rehidrasyon karakteristikleri kazandırılabilir. Ekstrüzyon ile pişirme; enerji tüketiminin az olması, üretimin verimli ve son ürünün ucuz olması, yeni teknolojilerden olması, yüksek sıcaklık-kısa süreli işleme yöntemi olmasının yanında arzu edilen yapı, tekstür ve ağız hissi gibi oldukça kabul edilebilir özellikleri sağlamasından dolayı tercih edilen ve kullanımı gittikçe artan bir yöntemdir (Bresciani et al., 2021). Pasqualone ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ekstrüzyon ile pişirme yönteminin proteinlerin *in vitro* sindirilebilirliği üzerinde etkileri incelenmiş ve *in vitro* protein sindirilebilirliğinin yaklaşık %13-18 oranında artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, tripsin inhibitörlerinin, lektinlerin, fitik asitin ve tanenlerin içeriğini azaltarak elde edilen ürünün beslenme özellikleri üzerinde olumlu bir etki yarattığı tespit edilmiştir.

Sharma ve ark. (2016), mısır unu ve maş fasulyesi unu karışımının elde ettikleri ekstrüde ürünün sütten kesme maması olarak kullanımını incelemişlerdir. Yağsız süt tozu ve şeker, öğütülen ekstrüde ürünlere ilave edilerek bir karışım elde edilmiş ve karışıma su ilave edilerek sıvı sütten kesme mama üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, besleme nemi (%12.6-19.4), vida hızı (349- 601 rpm) ve namlu sıcaklığı (108-192 °C) gibi ekstrüzyon işlemi parametrelerinin ürün özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Jelatinleşme davranışı bebek mamalarının geliştirilmesinde önemli bir faktör olup yüksek jelatinleşme derecesi, düşük yığın yoğunluğu ve su absorpsiyon indeksinin maksimum değeri optimum ürün elde etmede istenen özelliklerdir. Optimum ekstrüzyon işlem koşullarında üretilen sütten kesme mamaları %40 mısır-maş fasulyesi ekstrüde ürünü, %35 yağsız süt tozu ve %25 şeker içermektedir. Karışımın besin içeriğinin protein ve nişasta sindirilebilirliğinin fitojenik yem katkı maddesi (phytogenic feed additive, PFA) (2004) tarafından belirlenen standartlara uygun olduğu belirtilmiştir (Ali et al., 2016).

Sharma ve ark. (2017) gerçekleştirdikleri başka bir çalışmada, maş fasulyesi ve pirinç kullanarak protein içeriği artırılmış ekstrüde atıştırmalık üretimini

hedeflemişlerdir. Besleme nem içeriği (%14–18), vida hızı (400–550 rpm) ve vida sıcaklığı (130–170°C) gibi ekstrüzyon koşullarının yığın yoğunluğu, su absorpsiyon indeksi (WAI), suda çözünürlük indeksi (WSI) ve sertlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Maş fasulyesi ilavesi ile son üründe artan protein ve lif oranları çirilenme sıcaklığının artmasına neden olurken pik viskozite (peak viscosity), incelme sonrası viskozite (trough viscosity), viskozite azalması (breakdown), son viskozite (final viscosity) ve katılma (setback) değerinde azalma gözlenmiştir. Ekstrüde pirinç-maş fasulyesi atıştırmalıklarının, daha yüksek protein içeriği ve iyileştirilmiş protein kalitesi, daha yüksek diyet lifi ve mineral içeriği ile optimum beslenmeyi sağlama yönünde iyi bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (Sharma et al., 2017).

Ekstrüde maş fasulyesinin kullanım potansiyelinin incelendiği bir çalışmada maş fasulyesi-buğday unu karışımı ile elde edilen hamurun (EMWD) kalitesini iyileştirmek amacıyla karışıma ekstrüde maş fasulyesi unu (EMF) ilave edilmiştir. Maş fasulyesi karışıma ilave edilmeden önce 200, 250 ve 300 rpm vida hızında 240 ve 280 g/kg besleme neminde ekstrüde edilmiştir. Ekstrüde edilen maş fasulyesi ile buğday karışımının (EMWF) çirilenme özellikleri, karışım ile elde edilen hamurun reolojik özellikleri ve mikro yapısı incelenmiştir. EMWF, ekstrüde edilmeyen maş fasulyesi ve buğday karışım ununa göre daha düşük çirilenme profilleri sunmuştur. EMF hamurun su emme derecesini önemli derece arttırmış ve stabilitesini düşürmüştür. EMF hamurun, temel gıda ürünlerinin üretimi için buğday ununa ilave edilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Meng et al., 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında üretilmesi planlanan ekstrüde ürünlerin üretimi Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön deneme çalışmaları ile, üretimde kullanılacak formülasyonlara ve ekstrüzyon parametrelerine (besleme nem içeriği, besleme hızı, ekstrüzyon cihazının namlu sıcaklığı, vida hızı ve kalıp sıcaklığı) karar verilmiştir.

3.1. Materyal

Tez çalışmasında hammadde olarak mısır irmiği, maş fasulyesi unu, domates tozu, fesleğen ve tuz kullanılmıştır. Mısır irmiği (S 21-034), Samolina Mısır İrmiği Gıda San. Tic. Aş. (Tekkeköy, Samsun); maş fasulyesi, Değirmen Un ve Bakliyat Tic., (Konak, İzmir); domates tozu, Kurucum Gıda (Merkez, Isparta); tuz (NaCl) yerel piyasadan temin edilmiştir. Analizler için kullanılan kimyasallar; HCl (Merck 1003014), etil alkol (Merck 100983), α -amilaz amiloglukosidaz (A3176-500KU Sigma-Aldrich), sodyum asetat tamponu, glukoz oksidaz-peroksidaz reaktifi (G3660-1CAP) ve hegzandır (104374 supelco).

3.2. Metot

3.2.1. Bileşim analizleri

Ekstrüde atıştırmalıkların üretiminde kullanılan, maş fasulyesi unu ve mısır irmiğinin nem, protein, yağ ve kül içerikleri deneysel olarak belirlenmiş, karbohidrat içerikleri ise analizle bulunan nem, kül, protein, yağ miktarları toplanıp 100'den çıkarılarak elde edilmiştir. Ekstrüde ürünlerde ise nem ve protein analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.1. Nem tayini

Nem miktarının belirlenmesi için 3 gram örnek, sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış metal petri kaplarına konulmuştur. 105 °C'de sabit ağırlığa getirilinceye kadar bekletildikten sonra desikatörde oda sıcaklığına soğumaya bırakılıp tartım alınmıştır. Aşağıda verilen denkleme (3.1) göre % nem hesaplanmıştır (AACC, 1990):

$$\%Nem = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1} \quad (3.1)$$

M₁: Başlangıç ağırlığı (g), M₂: Son ağırlık (g)

3.2.1.2. Kül tayini

Mısır irmiği ve maş fasulyesi unundan alınan 2 gram örnek sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış porselen kroze konulmuştur. Örnekler ön yakma işlemine tabii tutulduktan sonra 550 °C'e ısıtılmış olan fırında 5 saat yakılmıştır. Daha sonra örnekler desikatöre alınarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuduktan sonra tartılarak aşağıdaki denkleme (3.2) göre % kül hesaplanmıştır (AACC, 1990):

$$\%Kül = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1} \quad (3.2)$$

Burada; M₁: Başlangıç ağırlığı (g) M₂: Son ağırlık (g)

3.2.1.3. Protein tayini

Ekstrüde ürünlerin ve hammadde unlarının protein miktarı Dumas yöntemine göre belirlenmiştir. Örneklerdeki yüzde protein miktarı kuru maddede hesaplanmıştır. Toplam azot miktarından protein miktarının hesaplanmasında 6.25 katsayı olarak kullanılmıştır.

3.2.1.4. Yağ tayini

Yağ analizi Soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Soxhlet aparatında 4 saat boyunca 250 mL hekzan ile 10 g undan özütlenmiştir. Çözücü daha sonra vakumlu döner evaporatör (Heidolph WB 2000, Almanya) kullanılarak 40 °C'de buharlaştırılmıştır. Desikatörde soğumaya bakıldıktan sonra tartılmış ve aşağıdaki denklem ile (3.3) % yağ hesaplanmıştır (AOAC, 1990):

$$Yağ(\%) = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{\text{örnek miktarı(g)}} \quad (3.3)$$

Burada; M₁: Kabin başlangıç ağırlığı (g), M₂: Kabin son ağırlığı (g)

3.2.2. Çirışlenme Analizi

Ekstrüde atıştırmalıkların üretiminde kullanılan unların ve karışımların çirışlenme özellikleri reometrenin (DHR3, TA Instruments, ABD) nişasta çirışlenme hücresi kullanılarak belirlenmiştir. 3.5 g örnek ile 21.5 mL damıtılmış su karıştırılarak çirışlenme (pasting) hücresine konulmuştur. Analizde uygulanan sıcaklık – süre parametreleri; 50°C (bekletme – 1 dk), 50 – 95°C (ısıtma – 15°C/dk), 95°C (bekletme – 2.5 dk), 95 – 50°C (soğutma – 15°C/dk) ve 50°C (bekletme – 2 dk) olacak şekilde uygulanmıştır (Min et al., 2010).

3.2.3. Ekstrüde ürünlerin üretimi

3.2.3.1. Deneme planı ve optimizasyon

Tez kapsamında, maş fasulyesi unu içermeyen ve maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretimi için iki farklı deneme planı kullanılmıştır. Maş fasulyesi unu içermeyen ürünlerin üretimi için verilen deneme planı kontrol örneğinin belirlenmesi amacıyla oluşturulmuştur.

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalık üretiminde Tablo 3.1’de gösterildiği gibi ekstrüzyon sıcaklığı (C), besleme nemi (B) ve un karışımındaki maş fasulyesi ununun oranı (A) olmak üzere üç bağımsız değişkenin; maş fasulyesi unu içermeyen örneklerinin üretiminde ise Tablo 3.2’de gösterildiği gibi iki bağımsız değişkenin (ekstrüzyon sıcaklığı (A) ve besleme nemi (B)); genleşme oranı, yığın yoğunluğu, tekstür özellikleri, renk, WSI, WAI, protein içeriği (maş fasulyesi unu içeren örnekler için), kristalinite değeri ve genel kabul edilebilirlik gibi bağımlı değişkenlerin üzerindeki etkisini incelemek için merkezi kompozit tasarım ve yanıt yüzey yöntemi ile çalışılmıştır. Kontrol örneklerinin ve maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların üretiminde kullanılan deneme planı ve ekstrüzyon parametreleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’te gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırıcılık üretimi deney tasarımı bağımsız değişkenleri ve seviyeleri

Bağımsız değişken	Parametre seviyesi		
	-1	0	1
A: Maş fasulyesi unu (%)	20	40	60
B: Besleme nemi (%)	16	18	20
C: Ekstrüder sıcaklığı (°C)	140	155	170

Tablo 3.2 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırıcılık üretimi deney tasarımı bağımsız değişkenleri ve seviyeleri

Bağımsız değişken	Parametre seviyesi		
	-1	0	1
A: Ekstrüder sıcaklığı (°C)	140	155	170
B: Besleme nemi (%)	16	18	20

Tablo 3.3 Maş fasulyesi unu içeren örneklerin üretimi için hazırlanan deneysel tasarım

Örnek Kodu	Deneme	A: Maş Fasulyesi (%)	B: Nem İçeriği (%)	C: Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)
M40W18T155	1	40	18	155
M20W16T170	2	20	16	170
M60W20T170	3	60	20	170
M40W18T155	4	40	18	155
M20W18T155	5	20	18	155
M60W20T140	6	60	20	140
M60W16T140	7	60	16	140
M40W20T155	8	40	20	155
M40W18T155	9	40	18	155
M40W18T140	10	40	18	140
M60W18T155	11	60	18	155
M40W16T155	12	40	16	155
M20W16T140	13	20	16	140
M40W18T155	14	40	18	155
M40W18T155	15	40	18	155
M40W18T170	16	40	18	170
M20W20T140	17	20	20	140
M20W20T170	18	20	20	170
M40W18T155	19	40	18	155
M60W16T170	20	60	16	170

*M harfi üründe maş fasulyesi unu bulunduğunu ifade etmekte olup yanındaki sayı örnekte bulunan miktarı (%) göstermektedir. W harfi ile yanındaki sayı örneğin besleme nemini (%) ifade etmektedir. T harfi ve yanındaki sayı ise ekstrüzyon işleminde ekstrüderin namlu sıcaklığını (°C) göstermektedir. Örneğin; M40, %40 maş fasulyesi unu; W18, %18 besleme nemi; T155, 155°C ekstrüder sıcaklığını ifade etmektedir.

Tablo 3.4 Maş fasulyesi unu içermeyen örneklerinin üretimi için hazırlanan deneysel tasarım

Örnek Kodu	Deneme	A: Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	B: Nem İçeriği (%)
M0W18T155	1	155	18
M0W16T170	2	170	16
M0W20T170	3	170	20
M0W18T155	4	155	18
M0W18T140	5	140	18
M0W20T155	6	155	20
M0W18T170	7	170	18
M0W16T155	8	155	16
M0W16T140	9	140	16
M0W18T155	10	155	18
M0W20T140	11	140	20

Merkezi kompozit tasarım deneme planı tasarımına göre maş fasulyesi unu içermeyen örnekler için üçü merkez noktada olmak üzere toplam 11 deneme; protein oranı arttırılmış ekstrüde atıştırmalıklar için beşi merkez noktada olmak üzere toplam 20 deneme gerçekleştirilmiştir. Optimum işlem koşullarının belirlenmesi, genleşme oranının, gevrekliğin, genel kabul edilebilirliğin, protein içeriğinin (maş fasulyesi unu içeren örnekler için) ve suda çözünürlük indeksinin maksimize edilmesi; yığın yoğunluğunun, sertliğin ve kristalinite değerinin minimize edilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

$$Y = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i x_i + \sum_{i=1}^k A_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k A_{ij} x_i x_j \quad (3.4)$$

Bağımsız işlem değişkenleri ile seçilen bağımlı yanıt değişkenler arasındaki ilişki kuadratik matematiksel model (3.4) regrasyon analizi ile belirlenmiştir. Denklemden Y yanıtı, X_i bağımsız değişkenin mevcut değerini, X_0 bağımsız değişkenin merkez noktadaki değerini, ΔX_i ise bağımsız değişkenin değişim miktarını temsil etmektedir. Optimizasyon ile elde edilen matematiksel modelde değişkenin lineer ve interaksiyon etki terimleri, matematiksel model açısından önem derecesi %95 güven aralıkları için Fisher's varyans oranı (F) ve p-değerleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Daha sonra model için regresyon katsayısı (R^2), tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) ve düzeltilmiş regresyon sayısı (adj- R^2) analiz edilmiştir. Tasarlanan modellerin matematiksel uyumunu belirleyebilmek için "lack of fit" terimi yani uyum eksikliği ve regresyon katsayısı incelenmiştir.

Uyum eksikliğinin minimum, regresyon katsayısının ise maksimum olduğu modeller değerlendirilmiştir. Matematiksel modelde yer alan yanıt terimlerinin önemi varyans analizi ile belirlenmiş ardından optimum noktanın belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Modele göre belirlenmiş optimum işlem koşullarında da beş deneme gerçekleştirilmiştir. Böylece optimum işlem koşullarının deneysel olarak doğrulanması sağlanırken *in vitro* sindirilebilirlik analizi de gerçekleştirilmiştir.

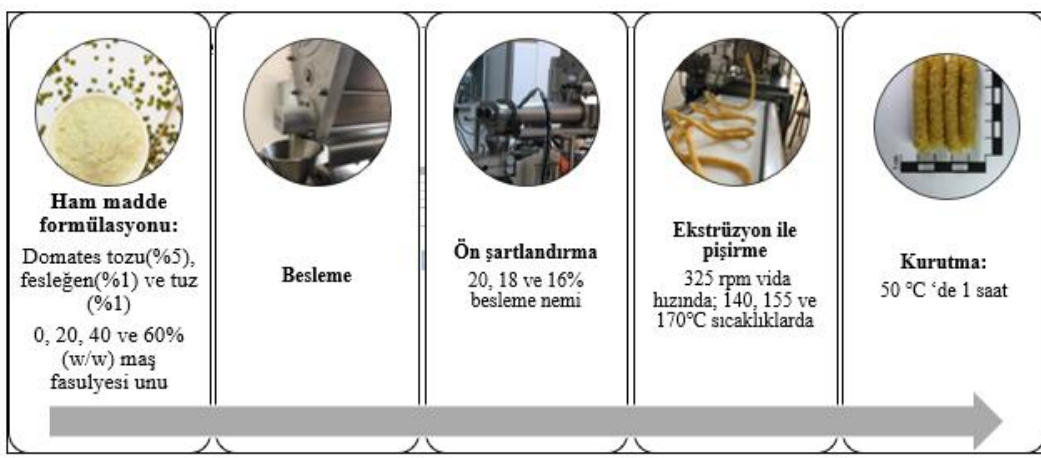
3.2.3.2. Ekstrüzyon

Ekstrüdere beslenen hammadde formülasyonu mısır irmiği, maş fasulyesi unu, domates tozu, fesleğen ve tuzdan oluşmaktadır. Genleşmiş bir atıştırmalık ürün elde etmek amacıyla tahıllardan öncelikle mısır düşünülmüş olup; maş fasulyesi unu ise atıştırmalığın protein miktarını, esansiyel amino asit içeriğini ve protein kalitesini arttırmak; kullanılan çeşniler ile de mineral, diyet lif katkısı sağlamak ve ürünün lezzetinin artırılması amaçlanmıştır. Maş fasulyesinin etkisini belirlemek için un karışımlarında kullanılan çeşniler (100 g karışım için %1 tuz, %1 fesleğen tozu ve %5 domates tozu) sabit tutulmuş olup maş fasulyesi unu miktarı farklı oranlarda (%20, %40 ve %60) kullanılmıştır.

Ekstrüde ürünlerin üretiminde, konvansiyonel ön şartlandırma ile eş yönlü dönen çift vidalı laboratuvar tipi ekstrüder (Feza Makine Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır. Ekstrüderde kullanılan vidanın uzunluk-çap oranı 25:1 iken çap 20 mm'dir. Ekstrüderin dört kovan bölgesinin sıcaklığı ve kalıbın sıcaklığı, elektrikli ısıtma sistemiyle ve soğutmada su kullanılarak kontrol edilmiştir. Ekstrüzyon cihazı Şekil 3.1'de verilmiştir. Ekstrüder parametrelerinden vida hızı, 325 rpm; besleme hızı, 14 kg/s; ekstrüderin ilk üç bölgesinin sıcaklığı (girişten kalıba doğru) 60, 100, 130°C'de sabit tutulmuştur. Besleme neminin ve namlu sıcaklığının ürün özelliklerine etkisini incelemek amacıyla ekstrüder namlu sıcaklığı ekstrüderin dördüncü bölgesi ile aynı olacak şekilde farklı sıcaklıklarda (140, 155 ve 170°C) ayarlanmış ve un karışımları farklı nem içeriklerinde (%16, 18 ve 20) ekstrüdere beslenmiştir. Üretilen atıştırmalıklar 50°C'de 1 saat kurutma işlemine tabii tutulduktan sonra ağzı kapalı kaplarda depolanmıştır. Ekstrüde atıştırmalıkların üretim şeması Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1 Ekstrüzyon cihazı



Şekil 3.2 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretim şeması

3.2.4. Ekstrüdatlarda gerçekleştirilen fiziksel analizler

3.2.4.1. Yığın yoğunluğu (BD)

Yığın yoğunluğu, ekstrüdatın ağırlığı ve hacminin belirlenmesiyle hesaplanmıştır. Ekstrüdatın çapı ve uzunluğu dijital bir kumpas, ağırlığı ise analitik terazi kullanılarak ölçülmüştür. En az on beş ekstrüdatın ölçümünden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak aşağıda verilen denklemden (3.5) yoğunluk kullanılmasıyla hesaplanmıştır (Ali et al., 1996):

$$BD\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{4}{\pi x L x D^2} \quad (3.5)$$

D: ekstrüdat çapı (cm), L: 1 gram ekstrüdat uzunluğu (cm/g).

3.2.4.2. Genleşme oranı (ER)

Ekstrüdatların genleşme oranı, ekstrüdat çapının kalıbın çapına oranı olarak hesaplanmıştır. Ekstrüdatların çaplarını ölçmek için dijital kumpas kullanılmıştır. En az on beş ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Yagci and Göğüş, 2009).

3.2.4.3. Renk

Ekstrüdatların öğütülmesi sonrasında L^* (parlaklık; $L^* = 100$, beyaz; $L^* = 0$, siyah), a^* ($+a$), kırmızılık; ($-a$), yeşillik), b^* ($+b$), sarılık; ($-b$), mavi) renk değerleri Konica Minolta CM 700D (Japonya) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her örnek için en az beş ölçüm yapılmıştır.

3.2.4.4. Tekstür

Ekstrüdatların sertliği ve gevrekliği, TA XT2i Texture Analyzer (StableMicrosystems, Surrey, UK) cihazı ile beş bıçaklı kramer kesme hücresi kullanılarak belirlenmiştir. Analiz, 50 kg'lık yük hücresi ile 'sıkıştırma kuvveti ölçüm' moduna ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ekstrüdatlar düzeneğe tek katman olacak şekilde yerleştirilmiştir. 48 mm prob mesafesi, 1 mm/s ön test hızı, 2 mm/s test hızı ve 10 mm/s son test hızı olacak şekilde koşullar ayarlanmıştır. Sertlik, numunenin kesilmesi için gereken ilk sıkıştırma tepe kuvveti (N) olarak tanımlanırken, gevreklik piklerin toplam sayısı olarak ifade edilmektedir (Oliveria et al., 2017).

3.2.4.5. Su aktivitesi

Örneklerin su aktivitesi değerleri Testo AG400 (Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. 25°C'de, 3-4 g ezilmiş ürün, paslanmaz çelikten yapılmış aletin kapalı haznesine yerleştirilip ortalama 10 dakika sonunda dengeye ulaştıktan sonra su aktivite değeri okunmuştur.

3.2.4.6. Suda çözünürlük indeksi (WSI) ve su absorplama indeksi (WAI)

Su absorplama indeksi (WAI) ve suda çözünürlük indeksi (WSI), Anderson ve ark. (1969) tarafından belirtilen yöntemle göre belirlenmiştir. 2.5 g öğütülen örnek, 30°C'de, santrifüj tüpleri içerisinde, 30 mL distile su içinde süspanse edildikten sonra 30 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışım 20 dakika 2500 g'de santrifüjlenmiştir. Daha sonra süpernatant, darası alınmış metal petrilere koyulmuştur. 105°C'de, etüvde sabit tartıma gelene kadar bekletilmiştir. Santrifüj tüpünde kalan jel kısmın ağırlığı ise analitik terazi ile ölçülüp kaydedilmiştir. Aşağıda belirtilen eşitlik ile su absorplama indeksi (3.6) ve suda çözünme indeksi (3.7) hesaplanmıştır.

$$\text{Su absorplama indeksi (g/g)} = \frac{\text{jel ağırlığı}}{\text{numunenin ağırlığı (kuru bazda)}} \quad (3.6)$$

$$\text{Suda çözünürlük indeksi (\%)} = \frac{\text{su fazdaki çözünmüş maddenin ağırlığı}}{\text{numunenin ağırlığı (kuru bazda)}} \times 100 \quad (3.7)$$

3.2.5. X-Işını Kırınımı (XRD)

Maş fasulyesi ununun, mısır irmiğinin ve ekstrüde atıştırmalıkların kristal yapısının morfolojisi X-ışını kırınım cihazı (MiniFlex 600, Rigaku Americas Corp., The Woodlands, TX, ABD) kullanılarak 40 kV ve 15 mA'da Cu K α radyasyonu ile ölçülmüştür. Örnekler 0.02 adım boyutu ile 2°/dakika hızında 2° ila 40° aralığında taramıştır. Örneklerin kristalinite değeri (%) aşağıda verilen denklem kullanılarak (3.8) hesaplanmıştır (Ek et al., 2021)

$$\text{Kristalinite (X}_c\text{) (\%)} = (\text{kristal alan} / (\text{kristal alan} + \text{amorfl alan})) \times 100 \quad (3.8)$$

3.2.6. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Üretilen atıştırmalıkların mikro-yapısının belirlenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskopisi (SEM) (Thermo Scientific Apreo S, Waltham, MA, ABD) kullanılmıştır. Analiz Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Ekstrüdatlar enine 5 mm kalınlığında kesilip liyofilizatör ile dondurarak kurutma işlemine tabii tutularak hazırlanmıştır. Mikrografi 50x büyütme ve 15.00 kV'lik volataj kullanılarak elde edilmiştir (Wani and Kumar, 2015).

3.2.7. Duyusal analiz

Numunelerin duyusal özellikleri, 15 eğitimsiz panelistler tarafından dokuz noktalı bir hedonik ölçek (9 = son derece beğenmek 1 = hiç beğenmemek gibi) kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirilen özellikler renk, koku, lezzet, tekstür ve genel kaliteden oluşmuştur (Jayasena et al., 2008). Panelistlere sunulan form Ek 3.1’de verilmiştir.

3.2.8. *In vitro* nişasta sindirilebilirlik

In vitro nişasta sindirilebilirlik analizi optimum koşullarda elde edilen kontrol örneğine ve maş fasulyesi unu içeren örneğe uygulanmıştır.

Amilaz çözeltisi, 1.3 g α -amilaz 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 37°C’de 11.9 mL su içinde süspanse edilerek hazırlanmıştır. Karışım santrifüjlenerek (10 dakika süreyle 1500 g) tortu çıkarılacaktır. Süpernatanın her 8 mL’sine 0.1 mL amiloglukosidaz eklenmiştir. Nişasta (100 mg), 4 mL 0.1M sodyum asetat tamponu (pH 5.2) içinde dağıtılıp hazırlanan enzim solüsyonundan 1 mL eklendikten sonra, karışım 37°C’de manyetik karıştırıcı (260 rpm) ile inkübe edilmiştir. Alikotlar (0.1 mL) aralıklarla alınıp ve 0.9 mL %95 etanol ile karıştırılmıştır. Sindirilen nişasta miktarı, glukoz oksidaz-peroksidaz reaktifi kullanılarak serbest glukoz miktarı ölçülerek belirlenmiştir. Hidroliz oranına bağlı olarak nişasta, hızlı sindirilmiş nişasta (20 dakika içinde sindirilmiş RDS), yavaş sindirilmiş nişasta (SDS, 20 ila 120 dakika arasında sindirilmiş) ve dirençli nişasta (RS, 120 dakika sonra sindirilmemiş nişasta) olarak sınıflandırılmıştır (Yao et al., 2019).

3.2.9. İstatistiksel analiz

Deney verilerinin istatistiksel analizleri SPSS Version 22.0 yazılımı (SPSS Inc., Chicago, IL) kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin özellikleri arasındaki farkın $p \leq 0.05$ anlamlılık düzeyinde belirlenmesi için varyans analizi, Kruskal walls ve Duncan’ ın çoklu aralık testleri kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hammaddelerin Kimyasal Kompozisyonu

Tez çalışması kapsamında, hammadde olarak kullanılan mısır irmiği ve maş fasulyesi ununun kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1’de verilmiştir. Maş fasulyesinin protein içeriği %23.9, yağ miktarı %1.23, kül miktarı %4.28, nem miktarı %11.35, karbonhidrat miktarı %59.23 olarak; mısır irmiğinin protein miktarı %5.4, yağ miktarı %1.41, kül miktarı %0.49, nem miktarı %11.32, karbonhidrat miktarı %81.36 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.1 Hammaddelerin kimyasal kompozisyonu

Bileşen	Maş Fasulyesi Unu	Mısır İrmiği
Nem (%)	11.35±0.01	11.32±0.01
Protein (%)	23.90±0.23	5.40±1.07
Yağ (%)	1.23±0.01	1.42±0.19
Kül (%)	4.28±0.03	0.49±0.01
Karbonhidrat (%)	59.24±0.25	81.37±0.14

Dehghan ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada ekstrüde ürünlerinin geliştirilmesinde kullanılan mısır irmiğinin %11.77 nem, %6.74 protein, %0.57 kül, %78.31 karbonhidrat içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Başka bir araştırmada ise ekstrüde ürün üretiminde kullanılan mısır irmiğinin kimyasal kompozisyonunun %11.46 nem, %6 protein, %1.5 yağ, %2.0 kül olduğu belirtilmiştir (Singha et al., 2018). Sobota ve Rzedzicki (2009)’un, mısır irmiği ve bezelye kabuğu içeren ekstrüde ürün üretiminde kullandıkları mısır irmiğinin protein miktarı %11.11, yağ miktarı %1.01, kül miktarı %1.32 olarak verilmiştir. Maş fasulyesi unu içeren çabuk hazırlanan (instant) ekstrüde toz lapa üretiminde kullanılan kabuğu ayıklanmış maş fasulyesi tohumlarının protein, yağ ve karbonhidrat içerikleri sırasıyla yaklaşık %24.36, %1.43 ve %60.93 olarak rapor edilmiştir (Mayachiew et al., 2015). Sumardiona ve ark. (2021), çalışmalarında analog pirinç elde etmek amacıyla formülasyona ilave edilen maş fasulyesinin protein miktarı %22.44, yağ miktarı %2.6, kül miktarı %8.9, nem miktarı %7.5, karbonhidrat miktarı %58.33 olarak tespit etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde maş fasulyesinin protein ve kül miktarının mısır irmiğinden yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Tez çalışmasında hammadde olarak kullanılan maş fasulyesi unu ve mısır irmiğinin kimyasal kompozisyonu literatürde verilen değerler ile uyum sağlamaktadır.

4.2. Çirişlenme Özellikleri

Su varlığında ısıtılan nişasta granülleri, suyu absorbe ederek şişmeye başlamakta ve hacimleri artmaktadır. Granülün şişmesiyle amiloz granül dışına sızmaktadır. Granülün dışına sızan amiloz kolloidal halde bulunurken amilopektinler kısmi olarak çözünmektedir. Isıtmanın devam etmesiyle, çözünen nişastalar ve nişasta granülleri suyu bağlamakta ve ortamın viskozitesini arttırmaktadır. Ortamın viskozitesinin en yüksek hale geldiği bu olaya çirişlenme denir. Çirişlenme, bu interaksiyonlara bağlı olarak ısıtma fazında meydana gelen viskozitedeki ani artıştır. Ulaşılan maksimum viskozite değeri pik viskozitesi değeridir. Maksimum sıcaklıkta bekletme fazında nişastanın parçalanması, granül dışına sızan amilozun ortama karışmasıyla viskozite düşmeye başlar. Bunun nedeni amiloz zincirlerinin karıştırmanın etkisi ile aynı yönde dizilim meydana getirmesidir (shear thinning, karıştırma ile incelme). Nişasta çirişlenmesinin önemli olan bu özelliğine karıştırma ile viskozite azalması veya karıştırma ile incelme (shear thinning) denir. Devam eden reaksiyonlar sonucunda ortamdaki amiloz ve amilopektin molekülleri enerjileri koruyabilmek için birbirleri ile bağlar yaparak bir fermuar gibi kapanırlar. Bu sayede ürünün jelleşmesi meydana gelmektedir (Li et al., 2007; Jekle et al., 2016). Pişirmenin ardından soğutma uygulandığında moleküller arasında yeni hidrojen bağlarının oluşmasıyla sistemin viskozitesi tekrar artmaya başlamakta (setback, katılaşma), sonunda jel oluşmaktadır. Katılaşma, son viskozite ile incelme sonrası viskozite arasındaki fark kullanılarak belirlenmektedir. Soğutma sonrasında nişastanın viskoz bir çiriş oluşturma yeteneği ise son viskozite değerini vermektedir (Sayar et al., 2005). Çirişlenme özellikleri, elde edilmesi planlanan ürünlerin pişirme davranışları hakkında önden bilgi alınması açısından önem taşımaktadır. Çirişlenme özelliklerini doğrudan etkileyen amiloz ve amilopektin oranları, nişastanın fonksiyonel özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Amiloz, çözünürlüğü ve düz zincir yapısından dolayı sert jel ve güçlü film oluşturma özelliğine sahipken, amilopektin sıvı dispersiyonda stabildir ve su içerisinde çözünmekten çok şişme özelliği göstermektedir. Amilopektinin bu özelliği yumuşak jel ve zayıf film oluşturmaya neden olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında mısır irmiğinin, maş fasulyesi ununun ve un karışımlarının (20:80, 40:60, 60:40; mısır: maş fasulyesi) ve her birinin baharat ile karışımlarının (%1 tuz ve fesleğen, %5 domates tozu) çirişlenme özellikleri incelenmiştir. Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı (çirişlenme sıcaklığı), pik viskozite ve süresi, incelme sonrası viskozite (trough), karıştırma sonrası azalan viskozite

(inceltme- breakdown), son viskozite (final viscosity) ve katılma (setback) değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Ekstrüde atıştırılmalıkların üretiminde kullanılan hammaddelerin ve karışımlarının çirilenme özellikleri

Örnekler	Çirilenme sıcaklığı (°C)	Pik süresi (dk)	Pik viskozite (cP)	İnceltme sonrası viskozite (cP)	Son viskozite (cP)	Karıştırma sonrası viskozite (cP)	Katılma (cP)
S	72.44±1.81	3.20±0.10	986.42±7.13	958.22±18.09	6745.7±62.10	28.20±2.67	5787.48±80.19
M	72.63±3.56	3.20±0.06	1770.91±76.94	943.96±91.8	2010.41±5.32	826.94±67.76	1066.44±14.50
M20	68.2±1.27	2.85±0.14	907.42±9.80	903.36±29.56	5527.93±17.73	4.05±1.45	4624.57±11.82
M40	68.5±0.36	2.88±0.13	858.04±6.43	832.87±7.33	4217.9±4.91	25.16±0.90	3385.03±58.48
M60	69.21±0.03	2.94±0.11	1021.03±0.89	922.12±7.30	3693.86±39.22	98.92±14.80	2771.74±46.53
M60_b	68.09±1.00	2.84±0.10	1066.53±0.89	871.04±11.66	2487.45±77.38	195.49±3.13	1616.4±44.37
M40_b	69.05±0.46	2.92±0.03	985.24±0.99	879.51±7.07	3424.74±186.89	105.73±7.59	2545.22±39.51
M20_b	71.05±0.28	3.09±0.01	862.83±5.04	843.81±25.59	3879.83±76.18	19.02±2.07	3036.02±63.52
M_b	70.15±0.53	3.00±0.55	1654.18±69.28	924.78±22.63	1662.7±89.59	729.40±43.25	737.92±13.15
S_b	73.88±0.98	4.91±0.26	884.39±8.61	848.10±33.97	5259.85±41.9	36.29±6.53	4411.74±74.45

S harfi mısır irmiğini, M harfi maş fasulyesini, M harfinin yanındaki sayı karışımdaki maş fasulyesinin yüzde (%) olarak miktarını, b harfi baharatlı karışım olduğunu ifade etmektedir.

Maş fasulyesi unu, mısır irmiği ve karışımları için viskozite değerleri sıcaklık ile artış göstermiştir. Nişasta granüllerinin maksimum şişme noktasını temsil eden pik viskozite değerinin maş fasulyesinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bunun nedeni olarak maş fasulyesi ve mısırın içerdiği amiloz miktarları ve granül büyüklüklerinin farklı olması söylenebilmektedir (Chen et al., 1998; Juhász and Salgó, 2008; Sulaiman and Dolan, 2013; Palabiyik et al., 2017). Maş fasulyesi nişastalarının yüksek içsel (intrinsic) viskoziteye, yüksek amiloz miktarı ve polimerizasyon derecesine sahip olması, nişasta granüllerinin şişmesini ve viskozitesini etkilemesi nedeniyle nişasta jelatinizasyonunu arttırmaktadır (Abdel-Rahman et al., 2008). Chung ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, maş fasulyesi nişastasının görünür viskozite, doğal viskozite ve sıcak çirish viskozite (hot paste viscosity) değerlerinin pirinç ve patates nişastalarından yüksek olduğu saptanmıştır.

Maş fasulyesinin (1770.91 cP) mısır irmiğinden (986.42 cP) yüksek pik viskozite değeri verilmesinin başka bir nedeni olarak hammaddelerinin öğütülmesi sonrasında granül büyüklüklerinin farklı olması da söylenebilmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında mısır irmiğinin granül boyutu maş fasulyesi

unundan büyük olması da pik viskozitenin yüksek çıkmasına neden olduğunu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar küçük boyutlu granül fraksiyonlarının, büyük boyutlu granül fraksiyonlarına göre daha yüksek çirilenme viskozitesine sahip olduğunu göstermiştir (Huang et al., 2007). Bresciani ve ark. (2021)'de, 250–500 μm arasında öğütülen mısırlarda pik viskozite değeri, 347.5 BU (Brabender Unit); 150 μm 'den küçük boyuta öğütülen unlarda pik viskozite değeri 556.0 BU olarak verilmiştir. Unlar partiküllerin boyutunun hidrasyonu etkilediği belirtilmiştir. Hidrasyonun homojen bir şekilde gerçekleşebilmesi için küçük boyutlu partiküller tercih edilmektedir. Küçük boyutlu partiküllerde hasarlı nişasta oranı daha yüksek olup bu granüllerin daha fazla su absorbe etmesiyle granüller şişmeye başlamaktadır (Islas-Rubio et al., 2014). Pik viskozite değeri, artan öğütme süresiyle artmakta, çünkü öğütme işlemi altında mısır tanecığı daha küçük parçacıklara bölünebilmekte, bu da hidrasyon kapasitesini ve şişme kapasitesini arttırmakta, böylece viskozitede bir artışa ve zirveye ulaşma süresinin artmasına neden olmaktadır (Shi et al., 2016).

Maş fasulyesi ununun pik viskozite değeri mısır irmiğinin pik viskozite değerinden yüksek olmasına rağmen mısır irmiği-maş fasulyesi unu karışımlarının pik viskozite değerlerinin mısır irmiğinin pik viskozite değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Mısır irmiğinin pik viskozite değeri 986.42 cP, M20'nin pik viskozite değerinin 907.42 cP olarak ölçülmüştür. Maş fasulyesinin pik viskozite değeri ise 1770.91 cP olarak belirlenmiş, mısır irmiği ilavesiyle karışımların pik viskozite değerlerinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maş fasulyesinin yüksek protein içeriği nedeniyle karışımların protein oranını arttırmakta ve bu durumda polimerler arasında suyun yeniden dağılımına neden olmakta ve nişastanın jelatinizasyonunu geciktirmektedir (Lu et al., 2016). Nişasta ve protein, kovalent bağlarla, elektrostatik ve hidrofobik etkileşimlerle, hidrojen bağları ve van der Waals kuvvetler ile bağlanmaktadır. Endojen protein, nişasta granüllerine karşı bariyer görevi görmekte ve granüllerin şişme özelliğini azaltırken suyun amilazlara erişimini engellemektedir (Lin et al., 2022). Nişastanın jelatinizasyonu sırasında, proteinin varlığı nişasta granülleri ve onu çevreleyen sıvı faz arasında bir bariyer oluşturması nedeniyle protein, nişasta granülünün su difüzyonunu sınırlandırmaktadır. Başka bir deyişle protein ve nişasta arasındaki hidrasyon rekabet haline gelmektedir (Jekle et al., 2016). Maş fasulyesi unu ilavesiyle protein, kül miktarı ve nişastanın amiloz/amilopektin oranı artmakta ve bu nedenle pik viskozite değerinde azalma meydana gelmektedir. Bu azalma en çok %40 maş fasulyesi unu ilavesi olan karışımda gözlenmiştir. Bu karışımda protein ve nişasta arasındaki hidrasyon rekabetinin en yüksek olduğu düşünülebilir. Maş fasulyesi

unu oranı %60'a yükseldiğinde pik viskozite değerleri artış göstermiş ancak, elde edilen değerin %100 maş fasulyesi unu pik viskozite değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Maş fasulyesi unun yüksek kristalinite değeri amilopektin içeriği hakkında bilgi vermektedir. Amilopektin oranının artışı ile pik viskozite değerleri artış göstermektedir. Nişastadaki amilopektinin yüksek pik viskozite değerinden; amilozun ise yüksek son viskozite değerinden sorumlu olduğu belirtilmiştir. Amiloz, nişastanın fizikokimyasal özelliklerini etkileyen ana faktörlerdendir ve yüksek amiloz içeriği nişastanın daha yüksek jelatinleşme sıcaklığına ve daha düşük pik viskozite değerine sahip olmasına neden olmaktadır (Santos et al., 2016). Kristalizasyon derecesi ise doğrudan amilopektin ile ilgilidir. Kristalinite değerinin yüksek olması pik viskozite değerlerinde artışa neden olabilir.

Karıştırma sonrası viskozite azalması, nişastanın parçalanma derecesinin veya ısıtma sırasında hamur stabilitesinin bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Elde edilen çirişin viskozitesi, 95°C'ye ulaştıktan sonra, yüksek sıcaklık ve kesmenin (shearing) etkisiyle azalmaktadır. 95°C'deki bu azalmanın yüksek olması, ürünün pişirme sırasında ısıtmaya ve kesme gerilimine dayanma kabiliyetinin düşük olduğunu göstermektedir (Asaam et al., 2018). Karıştırma sonrası viskozite değerleri, maş fasulyesi ununda (M) 826.94 cP, mısır irmiğinde 28.20 cP, %20 maş fasulyesi unu ilaveli (M20) karışımda 4.05 cP, %40 maş fasulyesi unu (M40) karışımında 25.16 cP, %60 maş fasulye unu ilaveli (M60) karışımda 95.92 cP, baharatlı maş fasulyesi ununda (M_b) 729.40 cP, baharatlı mısır irmiğinde (S_b) 36.29 cP, baharatlı %20 maş fasulyesi unu ilaveli karışımda (M20_b) 19.02 cP, baharatlı %40 maş fasulyesi unu ilaveli karışımda (M40_b) 105.73 cP, baharatlı %60 maş fasulyesi unu ilaveli karışımda (M60_b) 195.488 cP olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2). Analiz sonucunda, karıştırma sonrası viskozitedeki azalma en çok maş fasulyesi ununda, en az M40 örneğinde gözlemlenmiştir. Mısır irmiğine ilave edilen %40 maş fasulyesi unu elde edilen çirişlerin daha kararlı hale gelmesini sağlamıştır. Maş fasulyesi unundan gelen protein ve amilopektin yapının pik viskozite değerinin artması için yeterli olmamıştır, başka bir deyişle granüller ısıtmanın etkisi ile zarar görmemesi yapının kararlı olmasını sağlamıştır. Bundan dolayı M40'ın karıştırma sonrası viskozite değerinin düşük olduğu düşünülmektedir.

Mısır irmiği en yüksek son viskozite ve katılaşma (cP) değerine sahipken maş fasulyesi ununun en düşük son viskozite değerine sahip olduğu belirlenmiş ve maş fasulyesi unu miktarı arttıkça son viskozite değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Baharat ilavesinin tüm örneklerde son viskozite ve katılaşma değerlerinde düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.2). Son viskozite değeri pişirme sonrası

yapının stabilitesi hakkında bilgi vermektedir. Soğutma sonrasında yapıda meydana gelen değişiklikler moleküllerin jelleşme kabiliyeti ve retrogradasyonu hakkında ön bilgi sahibi olunması için önem taşımaktadır. Son viskozitenin oluşmasında amiloz molekülleri etkilidir. Pişirme esnasında granül dışına sızan amiloz molekülleri soğuma aşmasına gelindiğinde tekrar bir araya gelip kümeler oluşturmaya başlamaktadır ve viskoziteyi arttırmaktadır (Ratnawati et al., 2019). Amiloz moleküllerinin tekrar bağ kurmaları ile viskozite artarken; amilozların başka moleküller ile bağ kurmaları sonucu birbirleri ile bağ kurmalarının engellenmesiyle de viskozite azalmaktadır. Ortamda proteinlerin, diyet liflerinin ve lipidlerin bulunmasıyla amilozların bağ kurmaları engellenmekte ve bu durumun son viskozite ve katılaşma değerlerinde düşüşe neden olduğu düşünülmektedir. Maş fasulyesi unun son viskozite ve katılaşma değerleri mısır irmiğinden elde edilen değerlere göre oldukça düşüktür. Karışıma baharatın da eklenmesiyle birlikte son viskozite değerleri daha da düşmüştür. Bunun nedeni olarak, maş fasulyesi unun yüksek kristalinite değerine yani yüksek amilopektin oranına, protein oranına ve diyet lifi oranına sahip olması söylenebilmektedir (Farasara et al., 2014). Ayrıca eklenen baharatlar ile karışımda nişasta içeriğinin azalması ve nişasta dışında moleküllerin eklenmesi de katılaşma ve son viskozite değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Rachman ve ark. (2021), son viskoziteyi etkileyen en önemli parametrenin protein olduğunu belirtmişlerdir. Proteinin varlığı amiloz moleküllerinin yeniden bağ oluşturmalarını engelleyerek nişasta granüllerinin şişmesini sınırlandırmakta ve böylece son viskozite değeri azalmaktadır (Rachman et al., 2021). Katılaşma değerinin düşük olması yapıda daha az sineresiz ve daha az nişasta retrogradasyonu gerçekleştiğini göstermektedir (Huang et al, 2007). Ayrıca, son viskozite ve katılaşma değerlerinin yüksek olması yapının stabilitesinin yüksek olduğunu gösterdiği için ekstrüzyon ile pişirme esnasında kalıptan çıkan eriyik yapının süngerimsi bir yapı kazanmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Eklenen baharatlar ile viskoz yapının stabilitesi olumsuz etkilendiği için süngerimsi yapının oluşmasında ve genleşmiş ürünün oluşmasında da olumsuz etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Nişastanın çirilenme özellikleri, üretilen gıdaların tekstürünü ve depolanma sırasında meydana gelebilecek değişiklikleri etkilemektedir. Nişastanın amiloz miktarının yüksek olması, son viskozitenin yüksek; pik viskozitenin düşük olması ile sonuçlanmaktadır. Bu durumda da nişastanın retrogradasyona eğiliminin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca son viskozitenin düşük olması yapının viskoz olma kabiliyetinin düşük olduğunun göstergesidir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan karışımlar ile ekstrüde atıştırmalık üretiminde, süngerimsi

ve genişlemiş atıştırmalık ürün üretimi hedeflenmiştir. Son viskozitenin düşük olması ekstrüder ile pişirilen ürünün kalıptan çıkarken viskoz yapısının bozulduğunu göstermektedir. Viskoz yapının bozulması ile ekstrüdatlarda hava hücrelerinin boyutu küçülmekte ve süngerimsi yapı oluşmasına imkân vermemektedir. Bu durumda ekstrüde atıştırmalık üretiminde ekstrüdatlarda istenen yapının oluşması için son viskozite değerinin yüksek olması, karıştırma sonrası viskozitenin düşük olması istenmektedir. Çirilenme özellikleri değerlendirildiğinde mısır irmiğinin, ekstrüde atıştırmalık üretiminde yapıda istenen süngerimsi, gevrek ve genişlemiş ürün oluşumunda kullanılabilirliğinin uygun olduğu görülmektedir. Maş fasulyesi unu ilavesi ile de azalan katılaşma değerleri retrogradasyonun daha az gerçekleşeceğini göstermektedir.

4.3. Ekstrüdatların Fiziksel Özellikleri

4.3.1. Yığın yoğunluğu ve genleşme oranı

Nişastanın ekstrüzyon işlemi sırasında kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğraması ürünün fiziksel ve duyuşal özelliklerini etkilemektedir. Nişasta ve su, ekstrüder içinde ısıtılarak, vidalar yardımıyla taşınır, jelleşir, pişirilir ve oluşan yüksek basınç ile kalıbın içinden geçmeye zorlanmaktadır. Kalıptan çıkmadan önce, polimerler tarafından absorbe edilen su buharlaşma derecesinin üstünde olmasına rağmen yüksek basınçtan dolayı halâ sıvı haldedir. Kalıptan çıkan eriyik, aniden basınç düşüşüyle karşılaştığında içerisinde bulunan su buharlaşır ve eriyiğın hızlıca genleşmesine ve süngerimsi bir yapı oluşturmaya neden olur. Viskoz yapıdaki absorbe edilen suların buharlaşmasıyla ekstrüdatlarda gözenekli yapı oluşmaktadır. Hava boşluklarının boyutu, sayısı ve dağılımı genişleme derecesini etkilemektedir (Lue et al., 1990; Moraru and Kokini, 2003; Arhaliass et al., 2003; Mesquita et al., 2013).

Ekstrüzyon işlemi sırasında nem ve sıcaklığın etkisiyle unlarda meydana gelen kimyasal ve yapısal değışikler ekstrüdatların fiziksel ve duyuşal özelliklerini belirlemektedir. Besleme nemi, ekstrüder namlu sıcaklığı ve formülasyonda kullanılan maş fasulyesi unu miktarı genleşme oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genleşme oranları Tablo 4.3'te, maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin genleşme oranları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin analiz sonuçları

Örnek kodu	ER	BD (g/cm ³)	WSI (%)	WAI (g/g)	Gevreklik	Sertlik (N)	Protein (%)	Genel kabul edilebilirlik	Kristalinite Değeri (%)	Nem (%)
M60W18T155	2.99±0.21 ^{af}	0.11±0.00 ^{dk}	55.18±3.02 ^{bcd}	2.16±0.10 ^{abde}	44.17±1.19 ^{abdefh}	144.68±2.12 ^{abdelo}	14.86±0.02 ^{abdef}	6.47±0.59	18.31±0.07 ^{abgh}	8.72±0.07
M60W20T140	2.99±0.18 ^{af}	0.15±0.01 ^{hl}	46.40±1.94 ^a	3.24±0.08 ^{ek}	27.29±2.20 ^{fgi}	263.78±6.99 ^{kmm}	13.98±0.04 ^{ade}	7.72±0.6	19.62±0.00 ^{acgh}	8.90±0.25
M20W20T170	0.96±0.02 ^{ceg}	0.32±0.01 ⁿ	51.98±0.03 ^b	2.81±0.03 ^{acde}	12.14±0.37 ^c	391.34±0.30 ^{cr}	6.46±0.06 ^{abcdef}	6.36±0.49	17.17±0.03 ^{abcdeigh}	6.70±0.13
M20W16T170	2.09±0.19 ^r	0.09±0.00 ^{bcd}	62.19±0.16 ^e	1.20±0.00 ^f	15.67±1.15 ⁿ	391.34±0.11 ^r	6.35±0.05 ^{abcdef}	6.97±0.66	17.03±0.02 ^{abefgh}	7.47±0.05
M40W16T155	3.39±0.05 ^d	0.06±0.00 ^{ae}	62.55±1.56 ^e	1.53±0.09 ^a	53.67±1.45 ^d	137.41±4.06 ^{dlo}	11.15±0.03 ^{abcdef}	7.05±0.60	15.81±0.06 ^{abeh}	6.63±0.49
M40W18T155	2.81±0.05 ^p	0.11±0.00 ⁿ	62.85±1.50 ^e	1.59±0.05 ^a	34.67±3.32 ^b	186.78±4.82 ^h	12.98±0.11 ^{abdef}	7.06±0.65	18.40±0.18 ^{abdfgh}	7.02±0.04
M40W18T155	3.06±0.05 ^o	0.09±0.00 ^o	63.34±0.98 ^f	1.75±0.03 ^{ab}	53.52±5.10 ^d	121.01±10.7 ^d	12.85±0.05 ^{abdef}	7.12±0.62	18.60±0.03 ^{abfggh}	7.01±0.02
M20W20T140	3.27±0.09 ^{ab}	0.11±0.00 ^{dgh}	52.16±0.98 ^{bc}	3.79±0.05 ^k	34.67±3.14 ^{bf}	143.71±0.11 ^{bglo}	8.36±0.02 ^{abcdef}	6.94±0.61	20.84±0.03 ^{acdgh}	7.24±0.25
M40W18T140	3.69±0.06 ⁿ	0.09±0.09 ^{bf}	53.86±0.4 ^c	2.60±0.15 ^{cd}	44.00±3.38 ^{ae}	160.62±7.19 ^{eg}	12.11±0.04 ^{abcdef}	7.94±0.61	17.19±0.05 ^{acfgh}	6.68±0.09
M40W20T155	1.84±0.04 ^m	0.20±0.00 ^{lm}	55.57±1.28 ^{dc}	2.44±0.10 ^{cde}	29.00±1.15 ^{fgi}	204.63±6.40 ^f	11.16±0.13 ^{abeff}	7.11±0.64	19.43±0.00 ^{acgh}	6.84±0.21
M60W16T170	1.74±0.06 ^k	0.12±0.01 ^p	55.75±2.43 ^d	2.04±0.03 ^{cd}	8.67±0.44 ^k	292.39±18.62 ^{lkm}	15.04±0.05 ^{cdef}	6.14±0.54	15.60±0.03 ^{abcdeigh}	6.51±0.16
M20W16T140	4.15±0.09 ^l	0.06±0.00 ^{ae}	54.88±1.11 ^{bcd}	2.88±0.07 ^{de}	82.43±1.19 ^l	73.11±0.13 ^s	7.28±0.05 ^{abcdef}	6.99±0.52	17.33±0.05 ^{acdhefg}	6.96±0.11
M20W18T155	3.17±0.04 ^{af}	0.07±0.00 ^{bc}	67.23±0.24 ^g	1.39±0.14 ^k	45.22±1.67 ^{eh}	129.52±0.48 ^{aeo}	7.35±0.09 ^{abcd}	6.98±0.51	20.86±0.06 ^{acdh}	7.53±0.098
M40W18T155	3.33±0.05 ^d	0.10±0.01 ^r	63.09±1.5 ^h	1.38±0.03 ^l	42.63±2.27 ^{eh}	140.81±0.69 ^{beilo}	12.94±0.06 ^{abdef}	7.13±0.68	17.99±0.18 ^{afgh}	7.02±0.01
M40W18T155	3.20±0.05 ^b	0.09±0.00 ^l s	59.99±1.5 ⁱ	2.21±0.09 ^{bcd}	53.29±1.21 ^d	129.56±0.10 ^{adel}	12.89±0.05 ^{abde}	7.08±0.45	17.66±0.14 ^{abfgh}	7.06±0.03
M60W20T170	1.31±0.03 ^{cg}	0.25±0.00 ^{lm}	53.88±0.69 ^{bcd}	2.21±0.20 ^{bdc}	10.50±0.93 ^c	354.93±0.12 ^{cmr}	15.27±0.02 ^{ade}	6.64±0.41	18.11±0.04 ^{abcdeh}	6.38±0.29
M60W16T140	3.48±0.07 ⁱ	0.10±0.01 ^{dgh}	53.32±2.43 ^{bcd}	2.96±0.09 ^e	45.00±1.19 ^{ae}	181.32±0.23 ^h	15.92±0.07 ^{cef}	7.55±0.71	16.57±0.02 ^{abcdeigh}	8.906±0.25
M40W18T155	2.85±0.05 ^h	0.11±0.00 ^{dg}	60.61±1.5 ^k	1.98±0.05 ^{ab}	53.75±1.66 ^d	104.18±8.90 ^p	12.91±0.10 ^{abdef}	7.2±0.70	19.50±0.06 ^{ag}	7.05±0.01
M40W18T170	1.57±0.05 ^g	0.15±0.00 ^{hl}	56.57±1.20 ^d	2.07±0.02 ^{abcd}	6.50±0.11 ^m	298.50±6.65 ^{kl}	12.78±0.02 ^{abdef}	7.01±0.65	15.40±0.03 ^{abcdfeigh}	7.40±0.05
M40W18T155	3.33±0.05 ^d	0.14±0.00	61.09±1.2 ^e	1.76±0.01 ^{ab}	50.6±5.10 ^{de}	112.46±3.14 ^p	11.92±0.02 ^{abdef}	6.78±0.52	19.21±0.02 ^{ag}	7.07±0.03

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

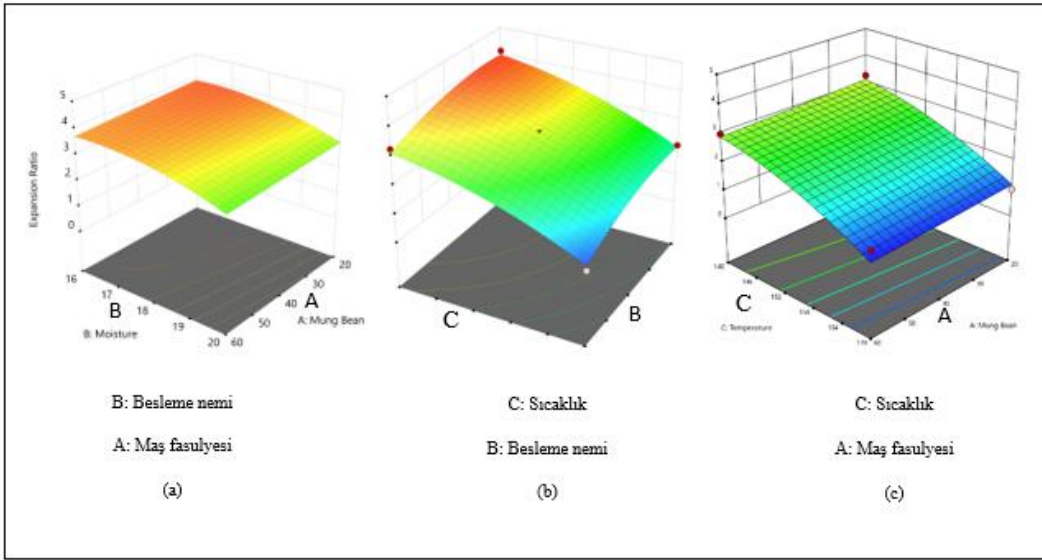
Tablo 4.4 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin analiz sonuçları

Örnek kodu	ER	BD (g/cm ³)	WSI (%)	WAI (g/g)	Gevreklik	Sertlik (N)	Genel kabul edilebilirlik	Nem (%)	Kristalinite değeri (%)
0MW18T155	3.5±0.08 ^a	0.07±0.00 ⁱ	64.54±0.09 ^c	2.01±0.02 ^{ab}	67.29±3.82 ^d	73.27±2.24 ^d	7±0.45	6.92±0.35	24.07±0.02
0MW16T170	2.97±0.05 ^b	0.06±0.003 ^h	78.86±0.85 ^f	1.34±0.10 ^a	45.83±3.29 ^c	106.6±3.07 ^k	7.12±0.35	7.80±0.29	23.56±0.02
0MW20T170	1.31±0.02 ^c	0.13±0.00 ^g	54.84±0.14 ^d	2.75±0.04 ^a	7.17±0.09 ^a	234.45±9.17 ^g	6.54±0.5	9.38±0.33	27.95±0.02
0MW18T155	3.43±0.01 ^d	0.08±0.00 ^f	63.18±1.92 ^c	2.16±0.20 ^{ab}	68.33±1.58 ^d	78.1±1.72 ^{id}	7.3±0.45	7.67±0.07	23.65±0.21
0MW18T140	4.31±0.14 ^e	0.06±0.00 ^a	46.38±1.79 ^g	4.2±0.02 ^c	65.86±2.56 ^d	86.64±1.97 ^c	7.47±0.39	10.23±0.113	25.79±0.13
0MW20T155	2.72±0.05 ^f	0.1±0.00 ^b	55.89±1.06 ^{abe}	3.91±0.08 ^{ab}	36.1±2.10 ^b	172.78±5.64 ^f	6.93±0.87	7.29±0.83	27.03±0.04
0MW18T170	2.23±0.11 ^g	0.1±0.00 ^{bc}	62.9±1.23 ^d	1.86±0.14 ^a	9.75±0.89 ^a	160.71±5.4 ^{abcdefgk}	7.39±0.47	8.25±0.07	25.42±0.67
0MW16T155	3.06±0.06 ^h	0.07±0.00 ^d	64.33±0.09 ^{abc}	2.06±0.07 ^{ab}	88.83±2.90 ^e	49.1±4.78 ^b	7.93±0.48	7.65±0.060	21.27±0.29
0MW16T140	4.9±0.14 ⁱ	0.05±0.00 ^a	46.27±2.62 ^{ab}	4.07±0.16 ^c	95.83±2.42 ^f	55.43±1.96 ^a	8.45±0.33	7.02±0.21	19.37±0.02
0MW18T155	3.62±0.08 ⁱ	0.06±0.00 ^e	61.82±1.92 ^d	2.31±0.21 ^d	70.9±3.73 ^g	70.12±2.25 ^h	6.94±0.52	9.26±0.055	26.07±0.02
0MW20T140	3.91±0.14 ^k	0.11±0.00 ^c	39±1.74 ^{abe}	4.18±0.28 ^{ab}	37.71±3.37 ^b	190.31±3.15 ^e	6.59±0.58	6.88±0.35	25.97±0.03

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistikî olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

Besleme nemi, namlu sıcaklığı ve maş fasulyesi unu oranının artmasıyla genleşme oranı önemli ölçüde azalmaktadır. Ekstrüdatların genleşmesi, hamurun viskozitesi ve elastikiyeti nedeniyle içerde hapsolan hava kabarcıkları ile meydana gelmektedir. Hamurda gereğinden fazla suyun bulunması, nişastanın ekstrüzyon sırasında camsı özellik kazanmasını sağlayan, hamurun deformasyonunu kolaylaştıran ve genleşmeyi azaltan plastikleştirici etki yaratması nedeniyle genleşme oranında azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca; nem içeriğindeki artış, mısır nişastasında bulunan amilopektinin moleküler yapısını değiştirerek viskozitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durumda, viskoz yapının stabil olmamasından dolayı ekstrüzyon ile pişirme işlemi sırasında oluşan yüksek buhar basıncı ile hücresel matris çökmekte ve genleşme azalmaktadır (Bisharat et al., 2013; Yu et al., 2013). Analiz sonuçlarına göre, 170°C'de maş fasulyesi unu oranı %60 ve %40 olduğunda (M60W20T170, M40W20T170), besleme nemindeki artış genleşme oranını arttırmaktadır. 170°C'de, maş fasulyesi unu içeriği ile orantılı olarak artan protein miktarı, yapının su dağılımını etkilediğinden hidrasyon için rekabet oluşmakta ve matrisin genleşmesini olumsuz yönde etkilemektedir (Deshpande and Poshadri, 2011). Analiz sonuçlarına ve yapılan araştırmalara göre genleşmiş bir ekstrüde ürün elde etmek için, karışımların protein miktarının artmasıyla hidrasyon için ortamda bulunması gereken su miktarının da artırılması gerektiği sonucuna varılmaktadır (Yağcı and Göğüş, 2009; Deshpande and Poshadri, 2011). Sıcaklıktaki artışın yüksek olduğu durumlarda, dekstrinizasyonun artması ve yapının zayıflaması genleşme oranını azaltmaktadır. Bunun nedenin tüm un karışımlarında bulunan %5 domates tozu olabileceği düşünülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarda, karışıma domates tozu eklenmesi ve ekstrüder sıcaklığının artması sonucu genleşme oranının düştüğü belirtilmektedir (Altan et al., 2008; Wójtowicz et al., 2018; Han et al., 2018; Yagci et al., 2022). Bunun nedeni ise domates tozunda bulunan çözünmeyen lifin hamurun elastikiyetini ve plastisitesini azaltmış olmasıdır (Yağcı and Göğüş, 2008). Ayrıca artan lif miktarı, ekstrüzyon sırasında gaz kabarcıklarının oluşmasına imkân vermeden hücre duvarını parçalamaktadır (Navarette et al., 2006; Wójtowicz et al., 2018). Diğer taraftan lif, ürünün su absorplama kapasitesini artırarak ani buharlaşmayı önler ve daha yüksek yığın yoğunluğu, daha az genleşmiş bir ürün oluşumuna neden olmaktadır (Alam et al., 2016; Han et al., 2018). Genleşmedeki azalmanın bir diğer nedeni, karışıma nişasta yerine başka malzeme ilave edilerek nişastanın yoğunluğunun azaltılması olarak da ifade edilebilmektedir. Genleşme oranı kalıp sıcaklığının artırılması ile azalmıştır. Maş fasulyesi unu ürünlerin genleşme oranı değerleri için elde edilen yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.1'de görülmektedir. Bunun sebebi yüksek sıcaklıkta nişasta yapısının dekstrinizasyon ve degradasyon gibi

sebeplerle zayıflayarak bozulmasıdır. Yapmış olduğumuz bu çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi formülasyonda bulunan protein ve lif miktarı ve sıcaklığın artışıyla birlikte ekstrüdatlarda genleşmenin azaldığı, yığın yoğununun arttığı tespit edilmiştir. Çirişlenme analiz sonuçlarında da açıklandığı gibi ekstrüzyon işlemi sonrası oluşan viskoz yapının stabilitesi ekstrüdatların tekstür özelliklerini belirlemektedir. Viskoz yapı maş fasulyesi unundan gelen protein ve diyet lifi miktarı ile ekstrüder parametrelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlikler ekstrüdatın tekstür özelliklerini belirlemektedir. 140°C'de, %20 maş fasulyesi unu içeren formülasyonların %16 besleme nemi ile ekstrüde edilmesiyle elde edilen ekstrüdatlarda viskoz yapının stabilitesi sağlanmış ve maksimum genleşme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genleşme oranı değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların genleşme oranı üzerine maş fasulyesi unu miktarı, besleme nemi ve ekstrüder namlu sıcaklığının etkileri Tablo 4.4'te görülmektedir. %95 güven aralığında yapılan ANOVA analizinde, ekstrüder sıcaklığı, besleme nemi ve maş fasulyesi unu miktarı değişkenlerinin genleşme oranı değerlerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Elde edilen ANOVA tablosu Ek 4.2'de verilmiştir. Genleşme oranı değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde en yüksek R^2 (0.9351) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon sayısı ($\text{pred-}R^2$) (0.8465) ile düzeltilmiş regresyon sayısının ($\text{adj-}R^2$) (0.9120) farkı incelenmiş ve 0.2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından "lack of fit" terimi (0.3855) ile regresyon katsayısı (0.9351) incelenmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20'de

verilmiştir. Geliştirilen modelde, besleme nemi ve ekstrüder sıcaklığı ile genleşme oranı arasında negatif korelasyon ($p < 0.05$) olduğu, maş fasulyesinin de negatif yönde etkilediği belirlenmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genleşme oranlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesme noktası (Intercept)	3.06	1	0.0863	2.87	3.24	
A-Maş fasulyesi unu	-0.1138	1	0.0814	-0.2884	0.0608	1.0000
B-Besleme nemi	-0.4487	1	0.0814	-0.6233	-0.2741	1.0000
C-Ekstrüder sıcaklığı	-0.9907	1	0.0814	-1.17	-0.8161	1.0000
B ²	-0.3069	1	0.1439	-0.6155	0.0018	1.56
C ²	-0.2875	1	0.1439	-0.5961	0.0211	1.56

A: maş fasulyesi; B: besleme nemi; C: ekstrüder sıcaklığı

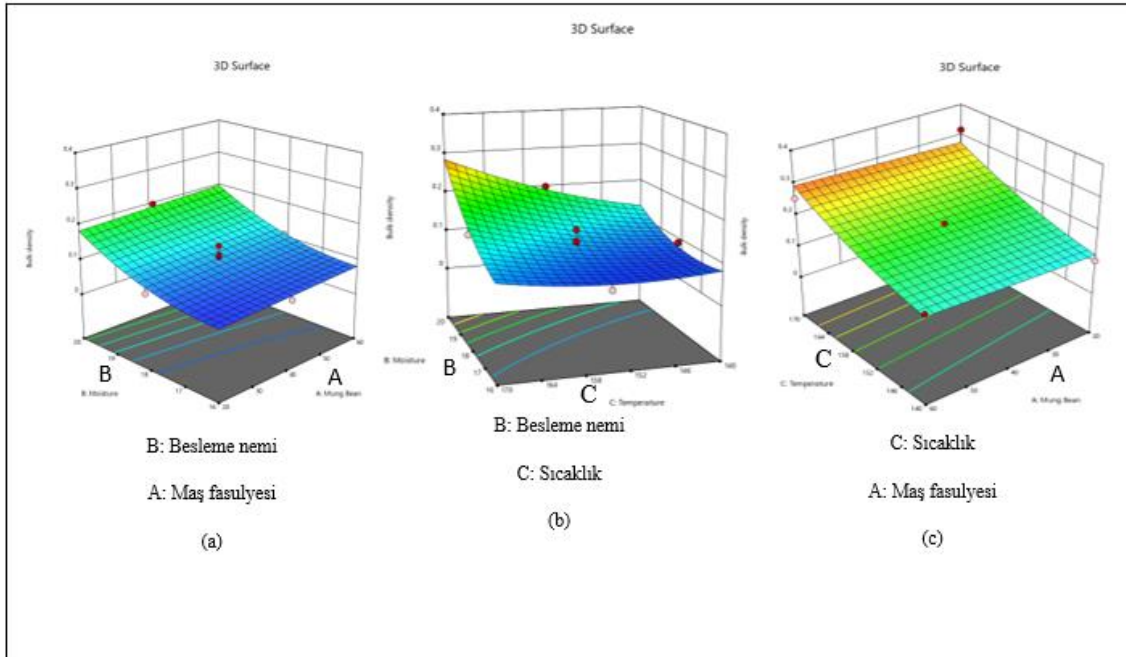
Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıklara yapılan ANOVA analizi %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş olup; ekstrüder sıcaklığının, besleme neminin ve formülasyonda kullanılan maş fasulyesi unu oranının ER değerlerine etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Maş fasulyesi unu içermeyen örneklerde de ekstrüder sıcaklığının ve besleme neminin genleşme oranı ile negatif korelasyon oluşturduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.6, Şekil 4.3). Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler ile maş fasulyesi unu ilaveli ekstrüde atıştırmalıklar kıyaslandığında maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin genleşme oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Maş fasulyesi unu ilavesi genleşme oranını düşürmektedir (Şekil 4.1).

Tablo 4.6 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin genişleme oranlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişme noktası (Intercept)	3.42	1	0.1449	3.07	3.76	
A-Maş fasulyesi unu	-1.10	1	0.1323	-1.41	-0.7878	1.0000
B-Besleme nemi	-0.4989	1	0.1323	-0.8117	-0.1861	1.0000
B ²	-0.2715	1	0.1962	-0.7355	0.1925	1.0000

A: maş fasulyesi; B: besleme nemi; C: ekstrüder sıcaklığı

Ekstrüdatların yığın yoğunluğu 0.05 ile 0.32 g/cm³ arasında değişmektedir (Tablo 4.3, Tablo 4.4). Yığın yoğunluğu, ekstrüdatların genişlemesini değerlendirmede kullanılan önemli bir fiziksel özelliktir (Banki et al., 2021). Atıştırmalık ekstrüde ürünlerde, kalite kriteri olarak genişlemenin yüksek, yığın yoğunluğunun düşük olması istenmektedir. Besleme nemi, ekstrüderin namlu sıcaklığı ve maş fasulyesi unu oranı, genişleme oranında olduğu gibi yığın yoğunluğunu da etkileyen en önemli faktörler olarak görülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğu değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Besleme nemi, genleşme oranını azaltırken yığın yoğunluğunu arttırmaktadır. Besleme neminin artması, elastikiyeti, jelatinleşmeyi ve genleşmeyi azaltarak yığın yoğunluğunu arttırmaktadır (Banki et al., 2021). Ayrıca nem, hamur ile vida arasındaki sürtünmeyi azaltması nedeniyle de jelatinleşmeyi olumsuz etkilemektedir. Maş fasulyesi unu miktarının artırılması ile ekstrüdatların yoğunluğu önemli ölçüde artmıştır. Jelatinleşme, ekstrüderin sıcaklığının ve maş fasulyesi unu içeriğine bağlı olarak protein ve diyet lifi miktarı artışı ile azalmaktadır. Sonuç olarak, jelatinleşmenin azalması yığın yoğunluğun artmasına neden olmaktadır (Pérez-Navarrete et al., 2006). Yapılan benzer çalışmalarda da karışımda protein miktarının artmasıyla yığın yoğunluğunun arttığı, genleşme oranının azaldığı belirtilmiştir (Allen et al., 2007; Deshpande and Poshadri, 2011; Seth and Rajamanickam, 2012). Anton ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada mısır ununa, fasulye unu ilave edildiğinde ekstrüdatların yoğunluğunun azaldığı belirtilmiştir. Elde etmiş olduğumuz sonuçlar ile literatür sonuçları benzerlik göstermektedir.

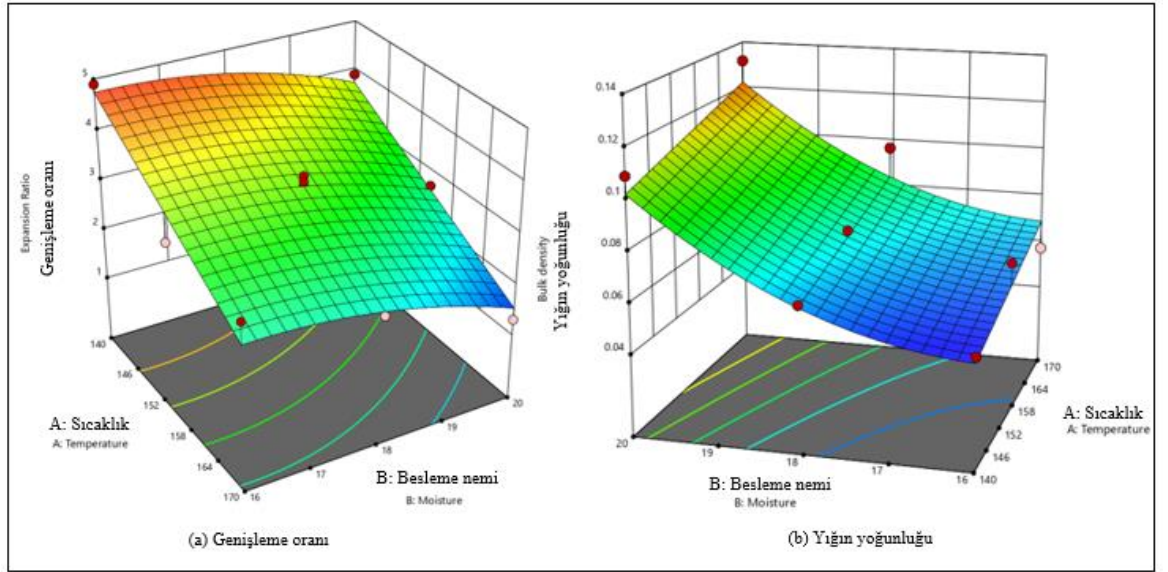
Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırılabilirliklerin %95 güven aralığında gerçekleştirilen ANOVA analizi, ekstrüder sıcaklığının, besleme neminin ve maş fasulyesi unu değişkenlerinin yığın yoğunluğu (BD) değerlerine etkisinin anlamlı olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). ANOVA tablosu Ek 4.3'te verilmiştir. Yığın yoğunluğu değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğinde, tercih edilen modelde de en yüksek R^2 (0.9104) katsayısı dikkate alınmış olup tahminleme regresyon sayısı ($\text{pred- } R^2$) (0.6917) ile düzeltilmiş regresyon sayısının ($\text{adj- } R^2$) (0.8690) farkı incelenmiş ve 0.2 den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde uyum eksikliği yani "lack of fit" teriminin p-değeri 0.2809, F-değeri 1,74 olarak ifade edilmiştir. Her bir faktör için kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20'de verilmiştir. Geliştirilen modelde, besleme nemi ve ekstrüder sıcaklığının yığın yoğunluğu üzerinde pozitif korelasyon ($p < 0.05$) oluşturduğu, maş fasulyesi ununun artışıyla birlikte artış gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.7, Şekil 4.2).

Tablo 4.7 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunu etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişme noktası (Intercept)	0.1033	1	0.0078	0.0865	0.1201	
A-Maş fasulyesi unu	0.0082	1	0.0073	-0.0077	0.0240	1.0000
B-Besleme nemi	0.0589	1	0.0073	0.0431	0.0748	1.0000
C-Ekstrüder sıcaklığı	0.0417	1	0.0073	0.0258	0.0575	1.0000
BC	0.0342	1	0.0082	0.0165	0.0519	1.0000
B ²	0.0292	1	0.0130	0.0012	0.0572	1.56
C ²	0.0176	1	0.0130	-0.0104	0.0456	1.56

A: maş fasulyesi; B: besleme nemi; C: ekstrüder sıcaklığı

Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların ANOVA analizinde, ekstrüder sıcaklığının, besleme neminin ve maş fasulyesi unu değişkenlerinin yığın yoğunluğu değerlerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$) (Ek 4.2). Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler incelendiğinde besleme neminin ve ekstrüder sıcaklığının yığın yoğunluğu üzerinde pozitif korelasyon oluşturduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$) (Şekil 4.3, Tablo 4.8,). Maş fasulyesi unu içermeyen ürünler ile maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıklar kıyaslandığında maş fasulyesi unu ilave edilen örneklerde yığın yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.2). Maş fasulyesi unu ilavesi ile içeriğin protein ve diyet lifi miktarı artmakta ve viskoz yapının stabilitesi bozulmaktadır. Bu durumda da matris yapı çökmektedir. Eriyik yapı kalıptan çıkarken hava kabarcıklarının ekstrüdatlarda oluşamaması nedeniyle genleşme azalmakta ve yığın yoğunluğu artmaktadır.



Şekil 4.3 Maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin (a) genişleme oranı ve (b) yığın yoğunluğu değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.8 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğunu etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişme noktası (Intercept)	0.0740	1	0.0052	0.0616	0.0864	
A-Maş fasulyesi unu	0.0101	1	0.0048	-0.0012	0.0214	1.0000
B-Besleme nemi	0.0268	1	0.0048	0.0155	0.0381	1.0000
B ²	0.0116	1	0.0071	-0.0052	0.0284	1.0000

A: maş fasulyesi; B: besleme nemi; C: ekstrüder sıcaklığı

4.3.2. Renk

Ekstrüzyon ile pişirme işleminde meydana gelen renk değişimlerinin belirlenmesi ürünlerde karamelizasyon, Maillard reaksiyonu, pigment bozunması ve pişirme derecesi gibi kimyasal reaksiyonlar hakkında bilgi verdiği için önemlidir (Mesquita et al., 2013). Ayrıca atıştırmalıkların tüketiciler tarafından kabul edilebilirliğinde rengin çok önem taşıdığı düşünülmektedir.

Renk değerlerinin, ekstrüzyon proses koşullarından ve ürün formülasyonundan etkilendiği görülmüştür (Tablo 4.9, Tablo 4.10). Renk ölçümlerinden elde edilen sonuçlar L* değerinin maş fasulyesi unu artışıyla azaldığını göstermektedir. Farklı çalışmalarda da mısır irmiğine ilave edilen

bakliyat unları ile L^* değerinin azaldığı belirtilmektedir. Bu sonucun nedeninin ise artan protein miktarı ile oluşan Maillard reaksiyonunun olduğu belirtilmiştir (Adebowale, 2005; Geetha et al., 2014; Félix-Medina et al., 2020; Costantini et al., 2021; Nadungodage et al., 2021). Gujska ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada, mısır ununa barbunya unu ilavesiyle yüksek proteinli atıştırmalık üretilmesi amaçlanmış ve protein miktarının artışı ile L^* ve b^* değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. 140°C ve 155°C 'de üretilen ekstrüdatlarda besleme neminin düşmesiyle birlikte rengin açıldığı (L^* değerinin yükseldiği) gözlemlenmiştir. Düşük besleme neminde oluşan hava kabarcıklarından dolayı yüksek genleşme oranının elde edilmesiyle ekstrüdatlarda açık rengin oluştuğu düşünülmektedir (Altan et al., 2008). Yüksek besleme neminde ışık emilimini arttıran kompakt hücreli ekstrüdatlar üretilmesi nedeniyle koyu renkli görünümün elde edildiği belirtilmiştir (Altaf et al., 2021). 140 ve 155°C 'de üretilen ekstrüdatlarda besleme nem içeriği azaldıkça genleşme oranı artmakta, yığın yoğunluğu azalmakta ve L^* değeri yükselmektedir. Analiz sonuçlarına göre maksimum L^* değeri 170°C 'de görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yüksek L^* değerinin görülmesi literatürde verilen bazı çalışmalarda da gözlemlenmiştir: Antosiyanin ile nikstamalize edilmiş mavi mısırdan (Aburto et al., 2013) ve mısır ununa pancar ilave edilerek üretilen ekstrüdatlarda da (Singh et al., 2016) sıcaklık artışı, L^* değerini arttırmıştır. Bu duruma pigmentlerin yüksek sıcaklıklarda parçalanmasının neden olabileceği belirtilmiştir (Selani et al., 2014; Yu et al., 2013). L^* değerinin azalması gerçekleşen Maillard reaksiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Maillard reaksiyonu, çözülmüş proteinler ve indirgeyici şekerler arasında, enzimatik olmayan etkileşimler ile gerçekleşmektedir (Wang et al, 2016). Maillard reaksiyonu, şeker ve serbest amino asit karışımlarının varlığında gerçekleşmektedir. Maş fasulyesi unu oranının düşmesiyle birlikte azalan protein miktarı L^* değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Karışımda maş fasulyesi unu oranının yüksek olması ve besleme nem içeriğinin düşük olması protein ve nişastanın sıkı bağlar oluşturmaya yol açmaktadır. Şeker-protein ve şeker-lipit bağlarının olduğu ortamlarda Maillard reaksiyonu neredeyse hiç gerçekleşmemektedir (Van Boekel, 2006). Protein ve nişastanın sıkı bağlar oluşturmaya ve Maillard reaksiyonlarının meydana gelmemesi yüksek L^* değerinin nedenini açıklamaktadır. 140°C , 155°C ve 170°C ekstrüzyon sıcaklıklarında elde edilen ürünlerin renk değerleri ayrı ayrı incelendiğinde %60 maş fasulyesi unu içeren örneğin maksimum a^* değerine, minimum b^* değerine sahip olduğu görülmüştür. Ilo ve ark. (1999), sarı mısırdan elde ettikleri ekstrüdatlarda sıcaklık artışıyla L^* ve b^* değerlerinde azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Mısırın ekstrüzyon ile pişirilmesi işleminde, karotenoidlerin zarar görmesi, enzimatik olmayan esmerleşme ve pigment yıkımının gerçekleşmesi

örneklerin b* değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Paqualana ve ark. (2020) çalışmasında baklagillerin miktarının, ekstrüzyon sıcaklığının ve besleme nemindeki artışın ürünlerin L* değerini olumsuz etkilediği, a* ve b* değerlerini olumlu etkilediği belirtilmiştir. Masatçıoğlu ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada domates, yeşil çay ve Ginseng ilaveli mısır ekstrüdatlarında domates tozu miktarı ve sıcaklık arttıkça L*, a* ve b* değerlerinin azaldığı belirtilmektedir.

Tablo 4.9 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Örnek kodu	L*	a*	b*
M60W18T155	61.52±1.93 ^{adgk}	15.2±0.32 ^k	36.27±0.54 ^{abcd}
M60W20T140	45.36±2.11 ^{gk}	13.82±0.13 ^{abce}	32.38±3.02 ^{acdefgh}
M20W20T170	70.30±2.20 ^e	6.6±0.12 ^d	27.41±0.24 ^{bce}
M20W16T170	77.46±0.40 ^{bh}	10.6±1.13 ^m	32.98±0.64 ^{abc}
M40W16T155	69.06±1.16 ^{cf}	13.67±0.67 ^{abce}	35.26±1.25 ^{abcd}
M40W18T155	58.63±0.65 ^m	13.9±1.10 ^{ac}	37.97±0.56 ^{abcd}
M40W18T155	64.82±0.21 ⁿ	11.03±0.03 ^b	35.97±1.67 ^{ac}
M20W20T140	53.89±0.56 ^{adgk}	13.78±0.9 ^{abce}	37.79±1.56 ^{abcd}
M40W18T140	50.26±3.29 ^{adgk}	15.36±0.46 ^{abe}	35.95±0.97 ^{abcd}
M40W20T155	62.82±0.92 ^{acdfgk}	14.06±0.62 ^{abce}	37.08±2.02 ^{acd}
M60W16T170	68.76±1.17 ^{bc}	9.13±0.56 ^{hl}	29.57±1.07 ^{abfgh}
M20W16T140	54.44±2.90 ^{adk}	14.37±1.13 ^{abce}	36.19±2.37 ^{acd}
M20W18T155	62.85±1.94 ^{cf}	14.45±0.37 ^{abc}	39.5±1.87 ^{abcd}
M40W18T155	64.55±3.40 ^f	10.93±0.65 ^{lm}	33.8±1.13 ^{acd}
M40W18T155	65.5±0.217 ^c	11.13±0.64 ^a	34.05±0.62 ^d
M60W20T170	67.11±0.64 ^c	9.6±0.21 ^l	30.03±0.30 ^{bgh}
M60W16T140	54.11±1.80 ^{ag}	16.56±0.38 ^{km}	36.66±0.75 ^{abd}
M40W18T155	71.14±3.20 ^{bh}	10.82±0.65 ^e	34.48±1.10 ^{acd}
M40W18T170	71.4±0.59 ^{bh}	8.54±0.21 ^{hi}	28.89±0.43 ^{bcfg}
M40W18T155	66.3±0.22 ^c	10.36±0.10 ^{em}	32.04 ±1.13 ^{acdh}

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

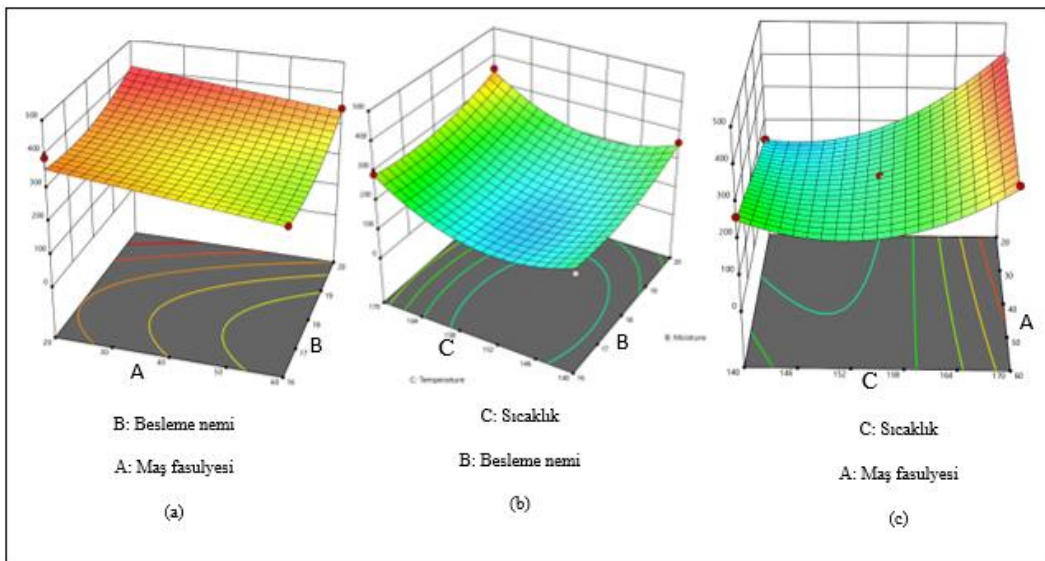
Tablo 4.10 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Örnek kodu	L*	a*	b*
0MW18T155	69.33±2.27 ^a	15.31±0.01 ^{ab}	45.14±1.8 ^{ab}
0MW16T170	69.53±0.94 ^{ad}	12.65±0.03 ^g	39.20±0.61 ^g
0MW20T170	77.15±0.38 ^h	12.77±0.01 ^f	41.75±0.3 ^c
0MW18T155	65.12±2.27 ^{bg}	12.6±0.01 ^c	41.62±1.43 ^c
0MW18T140	61.47±2.42 ^{efg}	2.42±0.01 ^{ac}	14.93±3.6 ^{ac}
0MW20T155	63.92±1.32 ^{abeg}	14.70±0.03 ^{abc}	45.26±1.39 ^{abc}
0MW18T170	60.34±1.18 ^{efg}	13.25±0.05 ^{ab}	40.68±1.36 ^{ab}
0MW16T155	65.40±1.17 ^{abe}	15.7±0.05 ^b	41.1±0.92 ^{bc}
0MW16T140	66.88±1.95 ^{abdeg}	1.95±0.08 ^{abc}	14.60±1.8 ^{abc}
0MW18T155	60.70±2.27 ^e	9.93±0.08 ^e	36.59±1.03 ^e
0MW20T140	62.3±4.15 ^{abefg}	4.15±0.07 ^{abc}	15.58 ±0.86 ^{abc}

Farklı harflerle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.3.3. Tekstür

Ekstrüde ürünlerin tekstür özelliklerinin incelenmesinde gevreklik ve sertlik dikkate alınmıştır (Tablo 4.3, Tablo 4.4). Ekstrüdatların sertlik değerleri 49.10 N (M20W16T155) ile 391.341 N (M20W20T170) arasında değişmektedir. Sertlik üzerindeki en önemli etki ekstrüder sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Ekstrüder sıcaklığı yığın yoğunluğu ve genleşme oranında da etkili olan en önemli işlem parametresidir. Sıcaklık artışı sertlik değerlerini önemli ölçüde arttırmaktadır (Şekil 4.4). Bunun nedeninin yüksek sıcaklıklarda genleşmeyi engelleyen ve yapıyı zayıflatan nişasta bozulmalarının meydana gelmesi olabileceği düşünülmektedir (Dehghan-Shoar et al., 2010; Mohamad et al., 2019).



Şekil 4.4 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin sertlik değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Sertlik değerleri üzerinde etkili olan hammadde formölasyonunu incelediğimizde, karışma ilave edilen maş fasulyesi unu oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttđı görölmektedir. Martin ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, protein miktarının ekstrüde çerezlerin sertlik değerlerini etkilediği ve protein miktarıyla orantılı olarak sertlik değerlerinin arttđı belirtilmiştir. Maş fasulyesi ununun yüksek protein içeriği, viskoelastik yapının bozulmasına, genleşmenin azalmasına ve sonuç olarak sertliğin artmasına yol açmaktadır. Yapılan benzer bir çalışmada da mısır ve darıya ilave edilen soya unu ekstrüde ürünlerin sertliğini arttırmıştır. Yüksek protein içeriği nedeniyle ekstrüzyonla pişirme sırasında daha fazla denatürasyonun olması ve nişasta jlatinizasyonunun azalmasının bu duruma neden olabileceği belirtilmiştir (Sahu and Patel, 2021). Aynı şekilde besleme nem içeriği ile orantılı olarak da sertlik değerleri artış göstermiştir. Besleme neminin artışı, protein-nişasta matriksinin plastikleşmesine ve yumuşamasına yol açmaktadır. Böylece; üründe oluşan hava kabarcıklarının sıkışması nedeniyle ürün genleşmesi azalmakta, yoğunluğu yüksek ve daha sert yapıda ürün oluşmaktadır (Sahu and Patel, 2020; Altaf et al., 2020). Román-Gutiérrez ve ark. (2021)'de, mısır ve arpa karışımının ekstrüde ürünlerde kullanımını incelemişlerdir. Arpanın yüksek lif içeriğine sahip olduğunu ve karışmda kullanım oranının düşürölmesiyle sertliğin de aynı oranda düştüğu sonucuna varılmıştır. Sertliği etkileyen bir diğer parametrenin besleme nemi olduğunu da belirtmişlerdir. Yüksek besleme neminin, viskozitenin azalmasına ve plastikleşmenin artmasına yol açarak genleşmenin azalmasına ve sertliğin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Yagci ve ark. (2022b), mısır ve buğday karışımına domates tozu ilavesinin ekstrüde ürünlerin sertliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yüksek miktarlarda domates tozu ilavesinin yüksek lif içeriği nedeniyle ekstrüdatların hücre duvar kalınlıklarını etkilediğini ve sertliği arttırdığını belirtmişlerdir. Ekstrüdatların sertlik değerlerinin, 364.04 ila 428.84 N arasında değiştiğini ve lif miktarıyla sertliğin arttđını ifade etmişlerdir. Yapılan alışmalar incelendiğinde, tez çalışması kapsamında sertliği değerlendirilen ekstrüdatların analiz sonuçları literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların ANOVA analizinde, ekstrüder sıcaklığının, besleme neminin ve maş fasulyesi unu değişkenlerinin sertlik değerlerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$) (Ek 4.14). Sertlik değerlerinin regresyon analizi incelendiğinde, R^2 değerinin 0.9581 olduğu, tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) 0.8961 ile düzeltilmiş regresyon sayısının (adj- R^2) 0.9388 ıktđı ve değerlerin farkının 0.2'den küçük olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan modelde "lack of fit" teriminin P-değeri 0.4820, F-

değerinin 0.8287 çıkmıştır. P-değerinin küçük F-değerinin büyük çıkması modelin iyi çalıştığını göstermektedir. Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için elde edilen denklem Tablo 4.20’de verilmiştir. Geliştirilen modelde, maş fasulyesi unu, ekstrüder sıcaklığı ve besleme neminin sertlik değerleri üzerinde pozitif etkisinin olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.11; Şekil 4.4).

Tablo 4.11 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin sertlik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	134.17	1	8.18	116.51	151.83	
A-Maş fasulyesi unu	10.81	1	7.71	-5.84	27.46	1.0000
B-Besleme nemi	28.28	1	7.71	11.63	44.93	1.0000
C-Ekstürder sıcaklığı	90.60	1	7.71	73.94	107.25	1.0000
AC	-45.46	1	8.62	-64.07	-26.84	1.0000
B ²	34.66	1	13.63	5.23	64.10	1.56
C ²	93.20	1	13.63	63.77	122.64	1.56

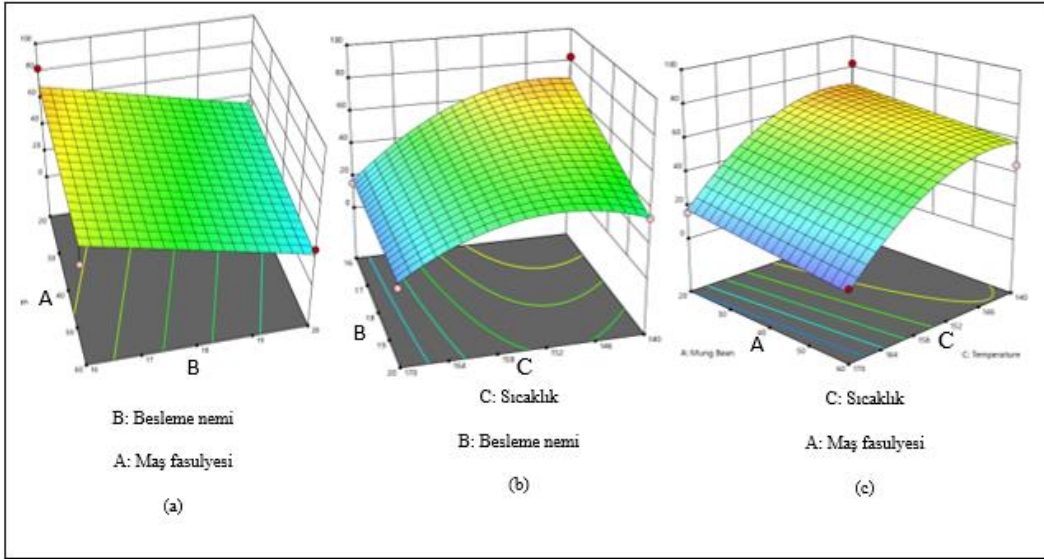
Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler incelendiğinde besleme neminin ve ekstrüder sıcaklığının sertlik üzerinde pozitif etkisinin olduğu görülmektedir (Tablo 4.12, Şekil 4.6). Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için elde edilen denklem Tablo 4.21’de verilmiştir. Maş fasulyesi unu içeren örneklerin maş fasulyesi unu içermeyen örneklerle göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.5).

Tablo 4.12 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin sertlik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	76.80	1	4.30	66.27	87.33	
A-Maş fasulyesi unu	28.23	1	3.42	19.85	36.61	1.0000
B-Besleme nemi	64.40	1	3.42	56.02	72.78	1.0000
A ²	42.43	1	5.27	29.53	55.33	1.08
B ²	29.70	1	5.27	16.80	42.59	1.08

Gevreklik, ekstrüdatların hücreli yapılarını belirlemek için uygulanan kesme kuvveti ile kuvvet düşüşlerinin veya toplam pik sayılarının sayısı olarak ölçülmüştür. Ekstrüzyon parametrelerinin ve hammadde formülasyonlarının, ekstrüdatlarda, gevrekliğin oluşumundan sorumlu olduğu analiz sonuçlarından da gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda daha önce bahsedildiği gibi viskoz yapının bozulması, nişasta jelatinizasyonu yerine dekstrinizasyonun gerçekleşmesi nedeniyle gevrek yapı oluşmamıştır. Gevreklik değerlerinin 6.5 (M40W18T170) ile 95.83 (M0W16T140) arasında değiştiği belirlenmiştir. M20W16T140 örneğinin maksimum gevreklik değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.3, Tablo 4.4). Maş fasulyesi unu oranı, besleme nemi ve sıcaklık artışı gevreklik değerlerinde azalmaya neden olmuştur (Şekil 4.5).

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların ANOVA analizinde, ekstrüder sıcaklığının, besleme neminin ve maş fasulyesi unu değişkenlerinin gevreklik değerlerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$) (Ek 4.16). Maş fasulyesi unu ilaveli ekstrüde atıştırmalıkların gevreklik değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, R^2 değeri katsayısı 0.8778 olduğu, tahminleme regresyon sayısı ($\text{pred- } R^2$) 0.6585 ile düzeltilmiş regresyon sayısının ($\text{adj- } R^2$) 0.8341 çıktığı ve değerlerin farkının 0.2'den küçük olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan modelde "lack of fit" teriminin P-değeri 1.07, F-değerinin 0.4988 çıkmıştır (not significant). Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20'de verilmiştir. Modelde, maş fasulyesi unu miktarı, ekstrüder sıcaklığı ve besleme neminin ekstrüde atıştırmalıkların gevreklik değerleri üzerindeki etkisinin, Tablo 4.13 ve Şekil 4.5'te verildiği gibi negatif olduğu görülmüştür.

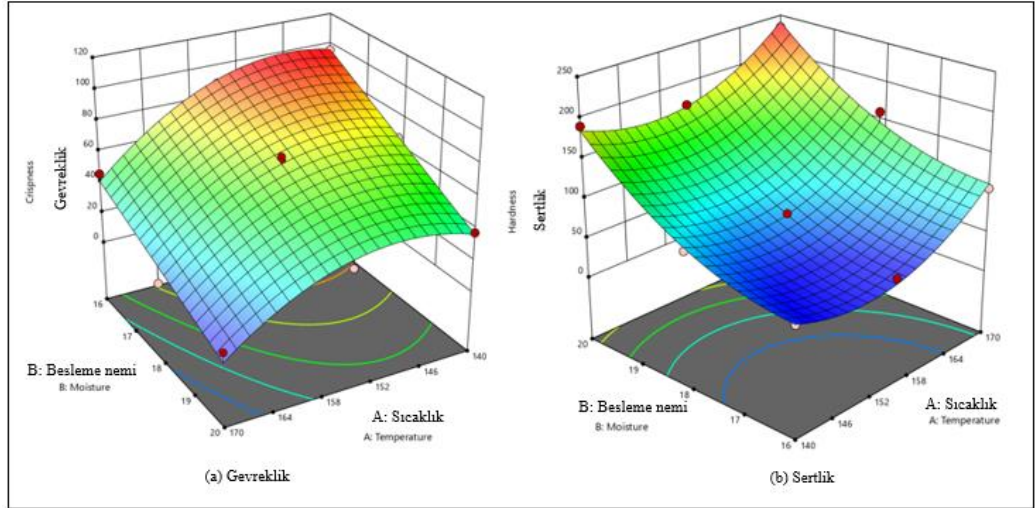


Şekil 4.5 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin gevreklik değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.13 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin gevreklik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	46.05	1	2.52	40.64	51.46	
A-Maş fasulyesi unu	-5.45	1	2.52	-10.86	-0.0422	1.0000
B-Besleme nemi	-9.18	1	2.52	-14.59	-3.77	1.0000
C-Ekstürder sıcaklığı	-17.99	1	2.52	-23.40	-12.58	1.0000
BC	7.97	1	2.82	1.93	14.02	1.0000
C ²	-17.37	1	3.57	-25.01	-9.72	1.0000

Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler incelendiğinde besleme neminin ve ekstrüder sıcaklığının gevreklik değerleri üzerinde negatif etkisinin olduğu görülmüştür (Tablo 4.14). Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için elde edilen denklem Tablo 4.21’de verilmiştir. Maş fasulyesi unu içermeyen ile maş fasulyesi unu ilave edilmiş ekstrüde atıştırmalıklar kıyaslandığında maş fasulyesi unun negatif etkisinden dolayı maş fasulyesi unu içermeyen örneklerde gevreklik değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların (a) gevreklik ve (b) sertlik değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.14 Maş fasulyesi unu içermeyen ürünlerin gevreklik değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	66.29	1	2.88	59.23	73.35	
A-Maş fasulyesi unu	-22.78	1	2.63	-29.22	-16.33	1.0000
B-Besleme nemi	-24.92	1	2.63	-31.36	-18.48	1.0000
AB	4.86	1	3.22	-3.03	12.75	1.0000
A ²	-22.60	1	3.91	-32.15	-13.04	1.0000

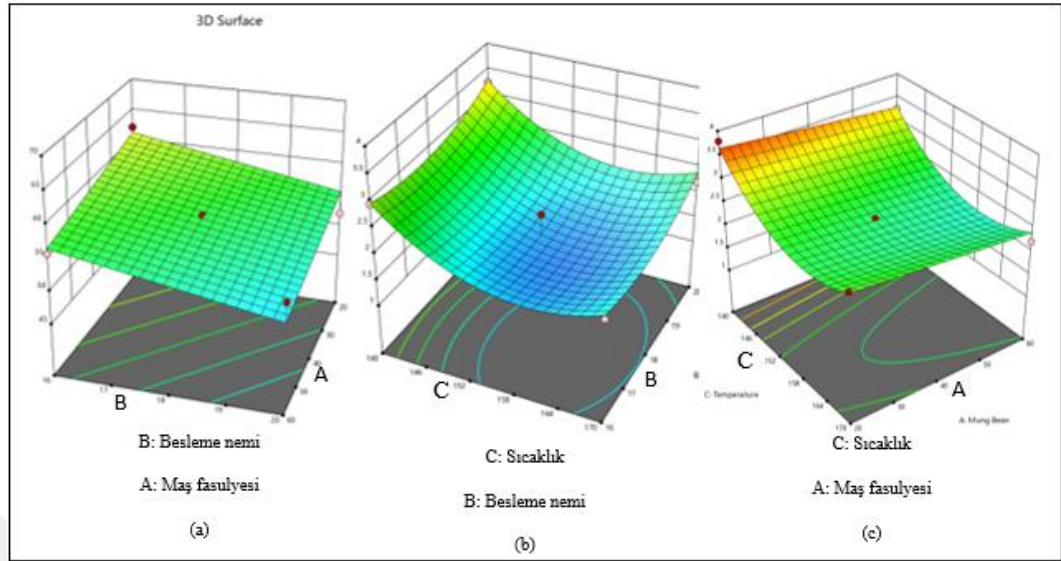
4.3.4. Su absorplama indeksi ve suda çözünürlük indeksi

Su absorplama indeksi (WAI) ve suda çözünürlük indeksi (WSI), gıdaların fonksiyonel özellikleri hakkında bilgi almak ve gıdalara uygulanacak sonraki işlemlerde gerekli olan parametreleri tahmin edebilmek açısından büyük önem taşımaktadır (García-Segovia et al., 2020). WAI, ekstrüdat tarafından absorbe edilen su miktarını ve su absorpsiyonu sonrasında nişastanın kapladığı hacmi belirtirken nişasta jelatinleşme indeksi olarak da kullanılmaktadır (Lucas et al., 2018). Bu çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen maş fasulyesi içeren ve içermeyen ekstrüde ürünlerin WAI ve WSI değerleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te

verilmektedir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, %20 besleme neminde ve 140°C’de üretilen ekstrüde ürünlerin WAI değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. M20W20T140 örneğinde maksimum WAI değeri gözlemlenmiştir. Besleme neminin artışı ile WAI değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Besleme içerisinde bulunan su, ekstrüzyon işlemi sırasında hamurun eriyiğinin elastikiyetini azaltır ürünü plastisitesini artırır (Altaf et al., 2021). Plastikleştirici görevi gören besleme içerisindeki su nişasta granüllerinin bozunmasını azaltarak su absorplama kapasitesinin artmasına neden olmaktadır (Pardhi et al., 2019). Formülasyona ilave edilen maş fasulyesi ununun WAI değerleri üzerine etkisinin az ve negatif yönde olduğu belirlenmiştir. Ekstrüder sıcaklığının etkisi incelendiğinde ise 140°C’de üretilen ürünlerin WAI değerlerinin diğer sıcaklıklarda elde edilen ürünlerin değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Düşük sıcaklıkta üretilen ürünlerin WAI değerlerinin düşük olmasının nedeni olarak nişasta granüllerinin bozulmaması ve suyu bağlayabilen hidrofilik grupların var olması gösterilmiştir (Pardhi et al., 2019). En düşük WAI değerleri, 155°C’de üretimi gerçekleştirilen ürünlerde gözlemlenmiştir. Burada dekstrinizasyon veya nişasta erimesinin jelatinleşmenin önüne geçtiği düşünülmektedir. Unlu mamuller üretiminde ısı işlem sırasında proteinlerin sıcaklık artışıyla denatüre olmasıyla iç kısma gömülü hidrofobik amino asitler açığa çıkar ve yüzey alanındaki artışla birlikte su tutma ve yağ tutma kapasitesi artmaktadır. WAI ayrıca karışımda bulunan proteinlerin denatürasyon derecesine bağlı olarak değişen hidrofilik dengesiyle de ilgilidir ve çözünürlük profilleri ekstrüzyon işlemine bağlıdır. Ekstrüzyon sırasında meydana gelen protein denatürasyonu, nişasta jelatinizasyonu ve şişmesi, ekstrüde ürünlerin WAI’sındaki artıştan sorumlu olabilmektedir (García-Segovia et al., 2020).

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıklar %95 güven aralığında örneklerin özellikleri arasındaki farkın $p \leq 0.05$ anlamlılık düzeyinde belirlenmesi için varyans analizi ve Duncan’ın çoklu testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo Ek 4.6’da verilmiştir. Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların gevreklik değerleri yanıt yüzey yöntemi ile incelendiğinde, tercih edilen modelde R^2 değeri katsayısı 0.8852, tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) 0.7569 ile düzeltilmiş regresyon sayısının (adj- R^2) 0.8322 değerlerinin farkının 0.2’den küçük olduğu görülmüştür. Tasarlanan modelde ‘lack of fit’ terimi içi P-değeri 1.74, F değeri 0.3577 çıkmıştır. Model için uyum eksikliği değerinin saf hata varyasyonuna göre önemli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20’de verilmiştir. Geliştirilen modelde, maş fasulyesi unu miktarı ile ekstrüzyon

sıcaklığının WAI üzerinde negatif, besleme neminin ise pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.15, Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin WAI değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.15 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin WAI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	1.79	1	0.0861	1.61	1.98	
A-Maş fasulyesi unu	-0.0267	1	0.0812	-0.2021	0.1487	1.0000
B-Besleme nemi	0.3084	1	0.0812	0.1330	0.4838	1.0000
C-Ekstrüder sıcaklığı	-0.4352	1	0.0812	-0.6106	-0.2597	1.0000
AB	-0.1584	1	0.0908	-0.3545	0.0377	1.0000
B ²	0.2878	1	0.1435	-0.0223	0.5979	1.56
C ²	0.6386	1	0.1435	0.3285	0.9487	1.56

Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların ANOVA analizinde %95 güven aralığında varyans olarak Games-Howell kullanılmıştır. ANOVA tablosu Ek 4.9’da verilmiştir. Maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin WAI değerleri incelendiğinde, besleme neminin WAI üzerinde pozitif, ekstrüder sıcaklığının negatif etkisinin olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.16). Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler ile maş fasulyesi unu ilave edilmiş ekstrüde atıştırmalıklar

kıyaslandığında maş fasulyesi ununun negatif etkisinden dolayı maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin WAI değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7).

Tablo 4.16 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin WAI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

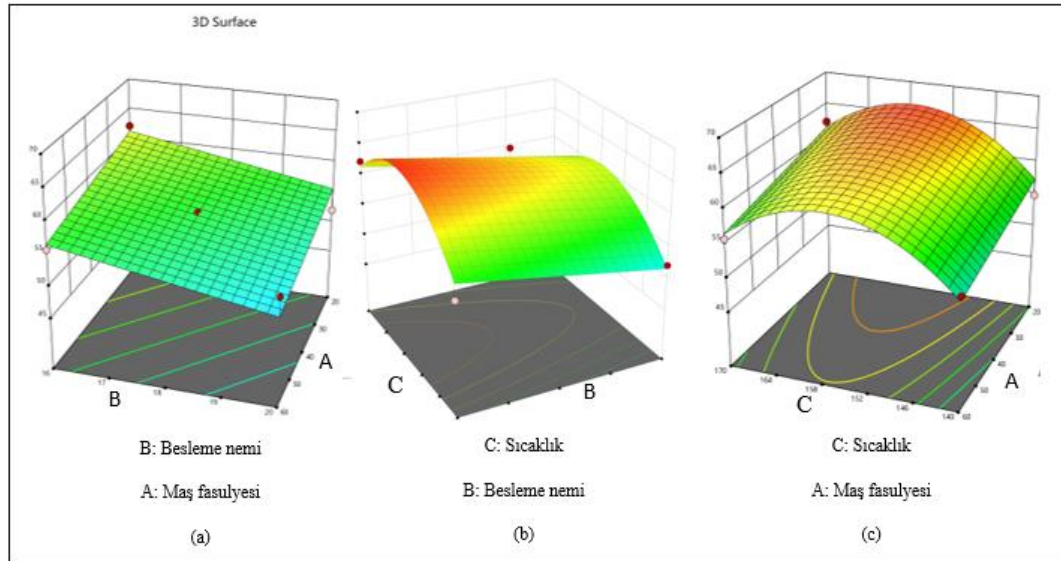
Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	2.80	1	0.1724	2.41	3.20	
A-Maş fasulyesi unu	-1.08	1	0.2335	-1.62	-0.5460	1.0000
B-Besleme nemi	0.5614	1	0.2335	0.0231	1.10	1.0000

WSI, işlemde moleküler hasara neden olan ve suda çözünen küçük moleküllerin miktarını belirtmektedir (Uribe-Wandurraga et al., 2020). WSI genellikle moleküler bileşenlerin bozunmasının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Kirby et al., 1988). WSI, ekstrüzyondan sonra nişastadan salınan çözünür bileşenlerin miktarını göstermektedir (Pardhi et al., 2019). Düşük WSI değerleri, nişastanın bozunma hızının düşük olduğu ve ekstrüdatlarda daha az sayıda çözünür molekül bulunduğu anlamına gelmektedir. WSI değerinin sindirilebilirliğe olan olumlu etkisi nedeniyle yüksek olması istenilmektedir (Beigh et al., 2020).

155°C’de üretilen ekstrüde ürünlerin WSI değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. WAI sonuçlarında da açıklandığı gibi 155°C’de jelatinleşme yerine nişastada dekstrinizasyon meydana geldiği düşünülmektedir. Besleme nem azaldıkça ürünleri WSI değerlerinin arttığı görülmüştür. Düşük besleme nem içeriği ekstrüzyonla pişirme işleminde nişasta jelatinizasyon oranını arttırmakta, protein denatürasyonu ve nişasta bozulması gerçekleşmekte, suda çözünür moleküllerin oluşum hızını artmaktadır (Beigh et al. 2020). Bunun nedeninin olarak düşük besleme nem ve yüksek kesme koşulları altında nişasta moleküllerinin daha fazla parçalanması olabileceği belirtilmiştir (Shameena Beegum et al., 2019). Ayrıca, 155°C’de üretilen ürünlerin yüksek WSI değerlerine sahip olması, maş fasulyesi proteinlerinin 157 °C’de denatüre olmasından kaynaklanabilir (Yi-shen et al., 2018). Ekstrüzyon işleminde uygulanan yüksek sıcaklıklar proteinlerin denatürasyonuna ve çözünürlüklerinin azalmasına ve nişastanın jelatinizasyonuna neden olduğu için 170 °C’de üretilen ürünlerde düşük WSI değerleri elde edilmiştir (Bento et al., 2022). 170°C’de gerçekleştirilen üretimlerde formülasyonlarda

kullanılan maş fasulyesi unu oranı arttıkça örneklerin WSI değerleri artış göstermiştir. 155 °C’de üretilen örneklerin WSI değerlerinin 140 °C’de üretilen örneklerin WSI değerlerinden daha yüksek olması, artan sıcaklık ile nişastanın dekstrinizasyonu, depolimerizasyonu ve nişastanın daha yüksek çözünürlüğe sahip küçük zincirli bileşenlere parçalanması ile açıklanabilir. Diğer bir deyişle artan sıcaklık nişasta yapısına zarar vermekte ve çözünürlüğü arttırmaktadır (Beigh et al., 2020). Denatürasyonun protein agregasyonuna neden olması durumunda hidrojen bağları yerine protein-protein etkileşimi artmakta ve WSI değerlerinde artışa neden olmaktadır (Asghari-pour et al., 2018; Makowska et al., 2018).

Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırma malikarın WSI değeri için yanıt yüzey yöntemi ile geliştirilen model incelendiğinde, R^2 değeri katsayısı 0.8368 olduğu tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) 0.6794 ile düzeltilmiş regresyon sayısının (adj- R^2) 0.6794 değeri farkının 0.2’den küçük olduğu görülmüştür. Tasarlanan modelde “lack of fit” teriminin P-değeri 3.53, F-değerinin 0.0880 çıkmıştır. P-değerinin büyük F-değerinin küçük çıkması modelin iyi olmadığını göstermektedir. Modelin düşük olasılıkla çalıştığını ifade etmektedir. Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20’de verilmiştir. Geliştirilen modelde, maş fasulyesi unu ile besleme neminin WSI üzerinde negatif etkisinin, ekstrüder sıcaklığının ise pozitif etkisinin olduğu bulunmuştur (Şekil 4.4, Tablo 4.17). Yapılan ANOVA testinde örneklerin arasındaki farkının $p \leq 0.05$ anlamlılık düzeyinde belirlenmesi için varyans analizi ve Duncan’ın çoklu testi yapılmış olup tablo Ek 4.6’da verilmiştir.

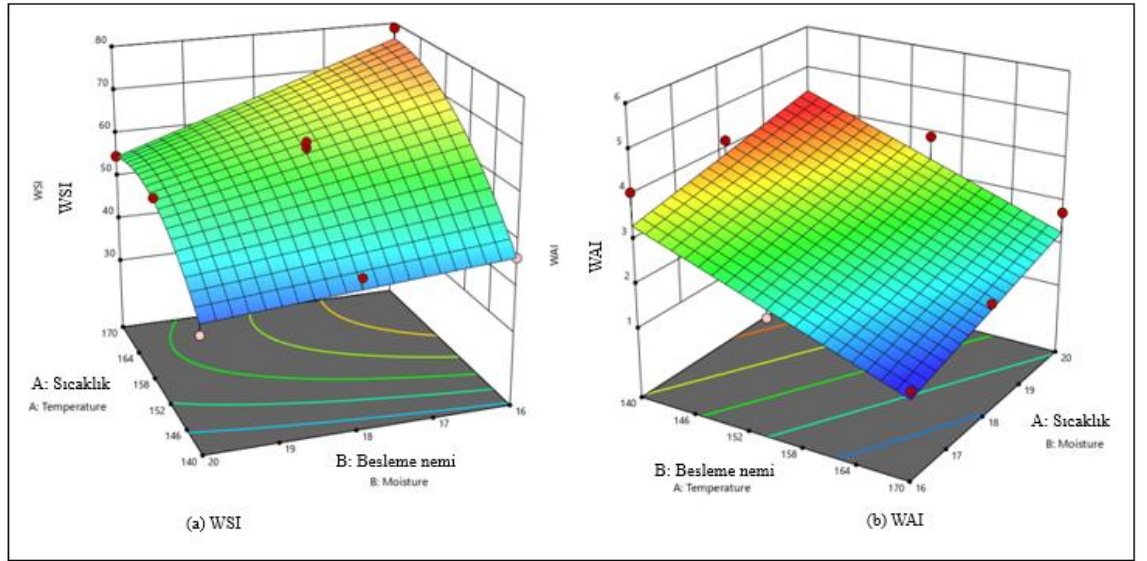


Şekil 4.8 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırma malikarın WSI değeri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.17 Maş fasulyesi içeren ekstrüde ürünlerin WSI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	61.15	1	0.7453	59.56	62.74	
A-Maş fasulyesi unu	-2.39	1	0.7453	-3.98	-0.8051	1.0000
B-Besleme nemi	-2.87	1	0.7453	-4.46	-1.28	1.0000
C-Sıcaklık	1.97	1	0.7453	0.3863	3.56	1.0000
C ²	-7.05	1	1.05	-9.30	-4.81	1.0000

Maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin WSI değerleri incelendiğinde besleme neminin WSI üzerinde negatif, ekstrüder sıcaklığının ise pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.18, Şekil 4.9). Maş fasulyesi unu içermeyen örnekler ile maş fasulyesi unu ilave edilmiş ekstrüde atıştırmalıklar kıyaslandığında maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin WSI değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan ANOVA testinde örnekler arasındaki farkın $p \leq 0.05$ anlamlılık düzeyinde belirlenmesi için varyans analizi ve Games-Howell testi yapılmış olup tablo Ek 4.7’de verilmiştir. Ekstrüzyon sonrası biyopolimerlerin fizikokimyasal değişimleri hakkında bilgi veren WSI ve WAI değerlerinin hammadde formülasyonundan ve ekstrüzyon parametrelerinden önemli ölçüde etkilendiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.9 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin (a) WSI ve (b) WAI değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.18 Maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin WSI değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Intercept (Kesişim noktası)	61.95	1	1.32	58.73	65.18	
A-Maş fasulyesi unu	10.82	1	1.20	7.88	13.77	1.0000
B-Besleme nemi	-6.62	1	1.20	-9.56	-3.68	1.0000
AB	-4.19	1	1.47	-7.79	-0.5838	1.0000
A ²	-7.25	1	1.78	-11.61	-2.88	1.0000

4.3.5. X- Işını Kırınımı

Nişasta fiziksel açıdan heterojen yapıdadır ve kristal ve amorf fazlara sahiptir. X-ışını kırınım tekniği maddelerin kristal yapılarını incelemek amacıyla kullanılmaktadır. X-ışını kırınım desenlerine göre nişasta granülleri üç sınıfa ayrılmıştır. Tahıl nişastaları genellikle A tipi X-ışını kırınım deseni verirken, patates gibi yumru nişastaları B tipi desenine, baklagiller ise A ve B desenlerinin bileşimi olan C tipi X-ışını kırınım deseni vermektedir. Çift heliks yapıda olduğu düşünülen amilopektinin nişasta granülleri kristal yapıya sahiptir (Castellanos-Gallo et al., 2019).

Mısır irmiği, maş fasulyesi unu ve ekstrüdatların kırınım desenleri X-ışını difraksiyon cihazıyla belirlenmiş olup Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Mısır irmiği diğer tahıllarda olduğu gibi A-tipi kırınım desenine, maş fasulyesi unu da baklagillerde olduğu gibi C-tipi kırınım desenine sahiptir. Ekstrüzyon parametrelerin kristalinite değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Ekstrüzyon ile pişirme işleminde nişastanın kırınım deseninin ve nişasta granüllerinin kristal yapısının değiştiği, kristalinite değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ekstrüder namlu sıcaklığı, besleme nemi gibi ekstrüzyon parametrelerinin amiloz-amilopektin oranına etki ederek nişastaların kristal yapısını kısmen veya tamamen yok ettiği belirtilmiştir. Ekstrüder sıcaklığının artması ve besleme neminin az olması ekstrüdatların kristalinite değerlerini düşürmektedir. Ekstrüzyon işleminin yaratmış olduğu stres, yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle nişasta jelatinizasyona ve dekstrinizasyona uğrayarak plastikleşir ve amorf yapılar oluşur (Logié et al., 2018). Uygulanan ekstrüzyon ile pişirme işlemi ile nişasta granülleri jelatinleşmeye uğrar, granüller geri dönüşümsüz olarak şişer ve granüllerin kristal yapısı bozulur (Majzoobi and Farahnaky, 2010; Kumar et al., 2018).

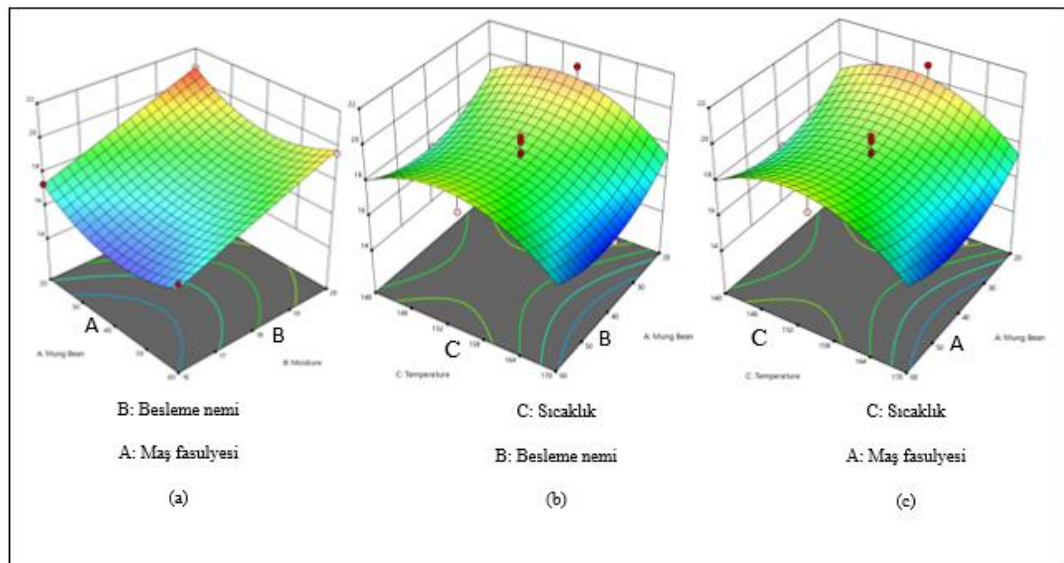
Ekstrüdatlarda kabaca 2θ değerinde 13°, 18° ve 20°'de belirgin pikler olduğu görülmektedir (Şekil 4.11, Şekil 4.12). Bu piklerin varlığı V-tipi kristal desenin oluştuğunun göstergesi olup amiloz-lipid ve amiloz-fitokimyasal kompleks bileşiklerinin oluştuğunu göstermektedir (Majzoobi and Farahnaky, 2010; Samyori et al., 2018). Yapılan çalışmalarda da ürünlerin ekstrüzyonu ile V-tipi kristal deseninin oluştuğu belirtilmiştir (Escalante-Aburto et al., 2016; Basto et al., 2016). V-tipi kristallerin, polar ve polar olmayan bileşiklerle kompleks oluşturan tek amiloz sarmallar tarafından oluşturulduğu belirtilmiştir (Chanvrier et al., 2007). V-tipi kristallerin oluşması ile sindirme karşı dirençli yapının oluştuğu bildirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında üretilen ekstrüde ürünlerde %60 maş fasulyesi unu ilaveli ürünler hariç diğer ekstrüde ürünlerin B+V-tipi kristal desenler verdiği belirlenmiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.13). V-tipi kristal oluşumu yüksek amilozlu doğal nişasta B-polimorfları ve lipid kompleksleriyle birlikte amilozun tek sarmallarının kümeleşmesine atfedilmiştir. Ekstrüde ürünlerin üretiminde, yüksek amiloz içeriğine sahip nişastaların basınç altında pişirme/ekstrüzyon ile pişirme sonucu kristalinite değerinin korunduğu, düşük amilozlu nişastada ise oluşan sarmal yapının erimesi sonucu granül yapı kaybolarak kristalinite değerinin azaldığı belirtilmiştir (Zhang et al., 2016). Sadece mısır irmiği kullanılarak elde edilen

ekstrüdatların kristalinite değerlerinin yüksek olması mısır irmiğinin yüksek amiloz içeriğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. %60 maş fasulyesi unu ilaveli ekstrüdatlarda B tipi kristal deseninin görülmemesi maş fasulyesi unun amiloz miktarının %50'den az olmasına atfedilebilir (Tablo 4.3).

Ekstrüzyon koşullarına bağlı olarak kesme kuvvetinin artmasıyla protein bağları bozulmaktadır. Besleme neminin yüksek olduğu ekstrüzyon koşullarında, suyun plastikleştirici etki yaratması nedeniyle kesme kuvvetinin etkisini azaltmakta ve buna bağlı olarak protein yapıları oluşmaktadır. (Jafari et al., 2017). Maş fasulyesi unun yüksek protein içerdiği ekstrüzyon işleminde kristalinite değerinin azalmasına neden olurken yüksek besleme nem değerlerinde kristalinite değerinin artmasına neden olmuştur. Kristalinite değerinin azalması nişastanın jelatinize olduğunu ve sindirilebilirliğinin de arttığını göstermektedir.

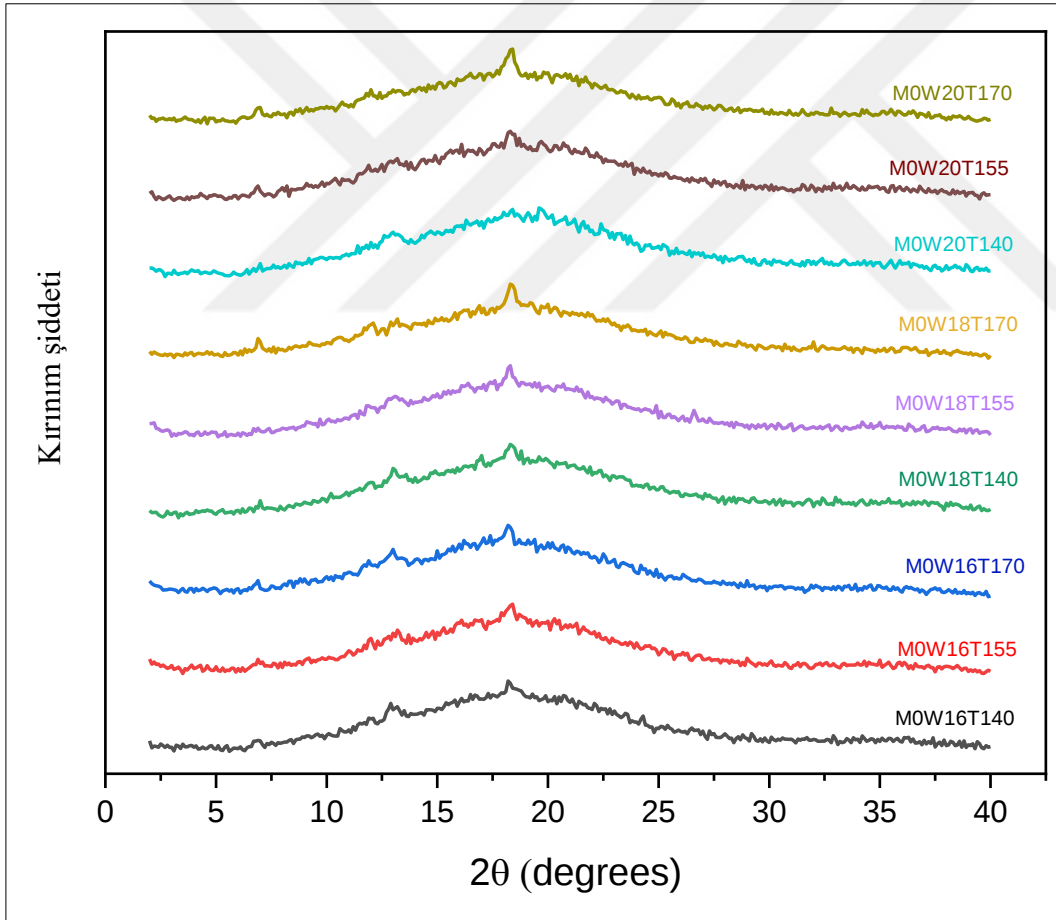
Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin kristalinite değerleri yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirildiğine, R^2 değeri katsayısının 0.8358 olduğu, tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) 0.5842 ile düzeltilmiş regresyon sayısının (adj- R^2) 0.7600 çıktığı ve değerlerin farkının 0.2'den küçük olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan modelde "lack of fit" teriminin P-değeri 0.38, F-değerinin 1.35 çıkmıştır (not significant). Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20'de verilmiştir. Geliştirilen modelde, maş fasulyesi unu ile ekstrüder sıcaklığının kristalinite değerleri üzerinde negatif, besleme neminin ise pozitif etkisinin olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.19, Şekil 4.10).



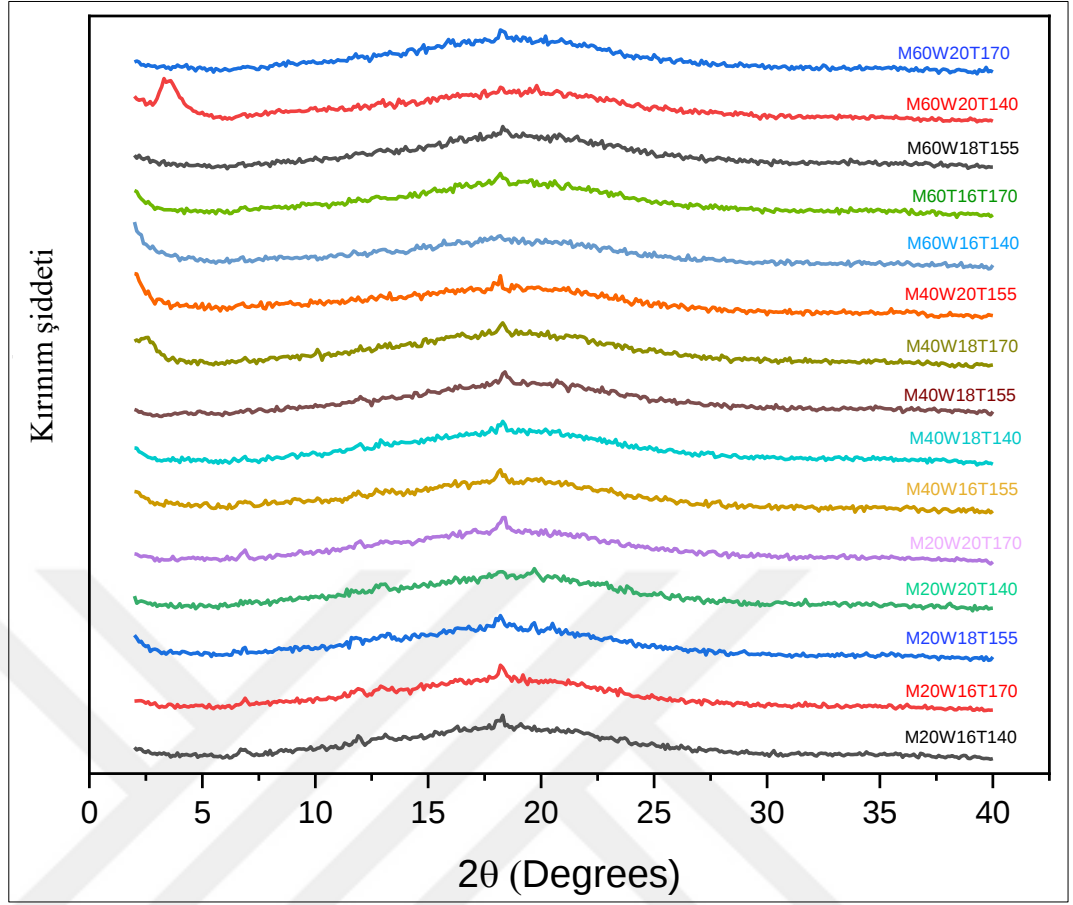
Şekil 4.10 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin kristalinite değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.19 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin kristalinite değerlerini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

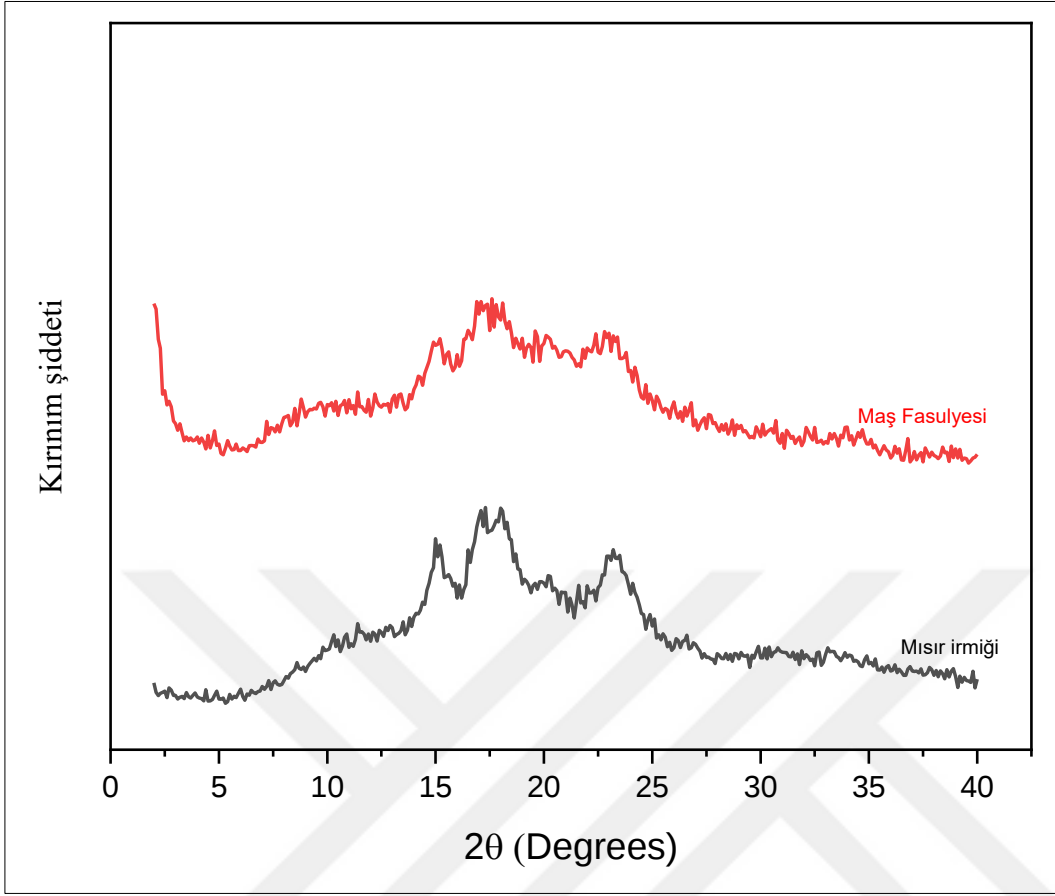
Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	18.30	1	0.2595	17.74	18.86	
A-Maş fasulyesi unu	-0.5016	1	0.2447	-1.03	0.0270	1.0000
B-Besleme nemi	1.28	1	0.2447	0.7527	1.81	1.0000
C-Ekstrüder sıcaklığı	-0.8228	1	0.2447	-1.35	-0.2943	1.0000
BC	-0.4875	1	0.2735	-1.08	0.1034	1.0000
A ²	1.38	1	0.4325	0.4406	2.31	1.56
C ²	-1.92	1	0.4325	-2.85	-0.9821	1.56



Şekil 4.11 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin X- ışını kırınımı deseni



Şekil 4.12 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin X-ışını kırınımı deseni



Şekil 4.13 Mısır irmiği ve maş fasulyesi ununun X-ışını kırınımı deseni

Tablo 4.20 Maş fasulyesi içeren ekstrede ürünlerin proses koşulları için yanıt modelleri

Yanıt değişkeni	İkinci dereceden polinom modeli
Genişleme oranı (ER)	$ER = -37.9926 - 0.005690A + 2.53760B + 330052C - 0.076721B^2 - 0.001278C^2$
Yıgım yoğunluğu (BD)	$BD = 6.55254 + 0.000409A - 0.409969B - 0.042016C + 0.001140BC + 0.007297B^2 + 0.000078C^2$
Suda çözünürlük indeksi (WSI)	$WSI = -681.64893 - 0.119688A - 1.43447B + 9.84778C - 0.031342C^2$
Su absorpsiyon indeksi (WAI)	$WAI = 92.21878 + 0.069939A - 2.27780B - 0.90889C - 0.003960AB + 0.071955B^2 + 0.002838C^2$
Gevreklik (Cr)	$Cr = -787.20428 - 0.272540A - 45.78661B + 17.94209C + 0.265774BC - 0.077179C^2$
Sertlik (H)	$H = 10741.97966 + 24.02550A - 297.82701B - 116.31008C - 0.151517AC + 8.66578B^2 + 0.414227C^2$
Protein miktarı (PC)	$PC = 65.30087 + 0.523384A + 7.27374B - 0.011625C - 0.009074AB - 0.002046A^2 - 0.192683C^2$
Genel kabul edilebilirlik (OA)	$OA = 7.09 - 0.4009C + 0.1670AB - 0.2345AC - 0.4504A^2 + 0.2970C^2$
Kristalinite (X _c)	$X_c = -228.20075 - 0.300081A + 3.15963B + 2.87812C - 0.016252BC + 0.003438A^2 - 0.008518C^2$

A: Maş fasulyesi unu miktarı (%); B: Besleme nemi (%); C: Ekstrüder sıcaklığı (°C)

Tablo 4.21 Maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin proses koşulları için yanıt modelleri

Yanıt değişkeni	İkinci dereceden polinom modeli
Genişleme oranı (ER)	$ER = -2.70969 - 0.073371A + 2.19384B - 0.067869B^2$
Yığın yoğunluğu (BD)	$BD = +0.666701 + 0.000673A - 0.090835B + 0.002895B^2$
Suda çözünürlük indeksi (WSI)	$WSI = -1153.50322 + 13.21797A + 18.32669B - 0.139595BA - 0.032206B^2$
Su absorpsiyon indeksi (WAI)	$WAI = +8.95593 - 0.072289A + 0.280707B$
Gevreklik (Cr)	$Cr = -1434.86892 + 26.69997A - 37.58595B + 0.162103BA - 0.100439B^2$
Sertlik (H)	$H = +6141.44573 - 56.57784A - 235.05890B + 0.188580A^2 - 0.100439B^2$
Genel kabul edilebilirlik (OA)	$OA = +44.80378 - 0.208966A - 1.94640B + 0.010704BA$

A: Ekstrüder sıcaklığı (°C); B: Besleme nemi (%)

4.3.6. SEM

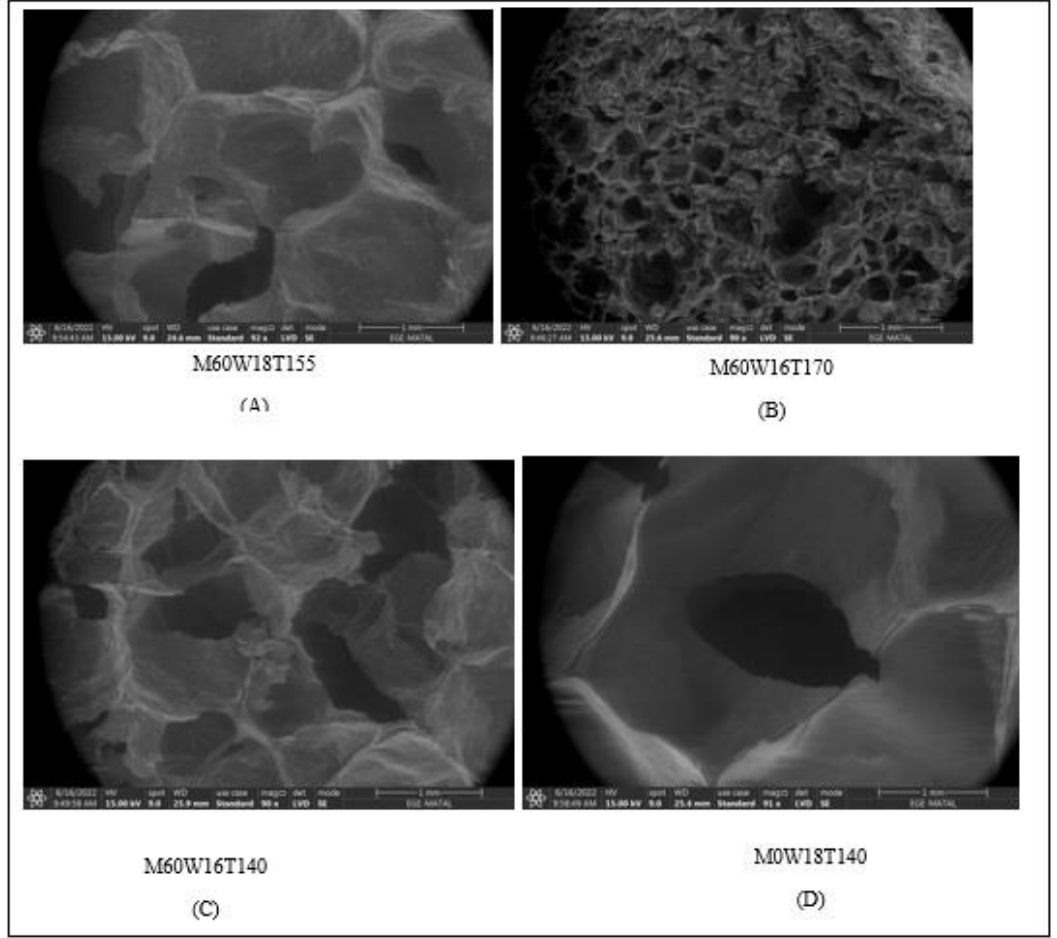
Ekstrüde ürünlerin hücresel yapıları SEM mikrofotografılarıyla belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminde uygulanan yüksek sıcaklık, yüksek basınç, nem ve mekanik kesme kuvveti nedeniyle nişasta granülleri bozulmakta ve su varlığında jelatinleşmektedir. Ekstrüdatlarda oluşan çukurlar ve gözenekler, suyun ani basınç farkından dolayı buharlaşıp hücrelerden çıkışı ile meydana gelmektedir. Oluşan bu yapıların görüntüleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ile nişastada jelatinleşme ve plastikleşme meydana gelmekte ve nişastanın molekül içi bağları yırtılarak granül şekli bozularak yapısı değişmektedir. Ekstrüder namlusundaki ve gıda matristeki iç basınç, atmosfer basıncından daha yüksektir, yüksek basınç matris namludan çıkarken dekompresyon etkisi meydana getirmekte ve hızlı su buharlaşmasını sağlamaktadır (Navarro-Cortez et al., 2014). Genleşme ve gözenekliliğin, jelatinleşme sırasında matris içinde tutulan ve ürün kalıptan çıkarken salınan suyun iç basıncından kaynaklandığı belirtilmiştir. ER değeri daha yüksek olan ekstrüdatlarda daha büyük gözeneklerin ve daha ince hücre duvarlarının meydana geldiği belirtilmiştir. Bu durumda da ekstrüdatı çiğnemek için dişler tarafından uygulanan kuvvet azalmakta yani sertlik azalmaktadır. Ürünün genleşmesi nişastanın jelatinleştiğini ve bu nedenden dolayı daha pürüzsüz yüzey oluştuğunu göstermektedir (Jacques-Fajardo et al., 2017).

Maş fasulyesi unu ilavesinin ekstrüdatların hücre duvarını kalınlaştırdığı ve hava hücrelerinin büyüklüğünü azalttığı görülmektedir (Şekil 4.14). Görüntüler, karışıma ilave edilen maş fasulyesi unu ile atıştırmalıkların genişleme oranının azalmasını, yığın yoğunluğunun ve sertliğinin artmasını açıklamaktadır. Benzer sonuçlar Lazou ve Krokida (2010)'da mısır ve mercimek unu içeren ekstrüdatlarda da görülmüştür. Mercimek unu ilavesi ile hücre duvarının kalınlaştığı ve daha sert yapıya sahip ürünlerin oluştuğu belirtilmiştir (Lazou and Krokida 2010; Sahoo et al., 2021). Maş fasulyesi unu ilavesinin yüksek protein içeriği nedeniyle, ekstrüdatlarda daha kompakt bir yapı meydana getirdiği tespit edilmiştir. Maş fasulyesi unu ilavesi ekstrüdatlarda genleşmeyi azaltmakta fakat hava hücrelerinin sayısını artırıp hava hücrelerin boyutunun azalmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni olarak maş fasulyesi unu ilavesiyle protein ve diyet lifi içeriğinin artması, nişasta içeriğinin ise azalması gösterilebilir. Mısır ekstrüdatlarında daha ince duvar kalınlığı nedeniyle kırılğan yapı ve daha büyük hava hücreleri nedeniyle de daha fazla genleşmiş ürün oluştuğu görülmüştür. Tahıl ürünlerine ilave edilen diğer bileşenlerin yapıyı değiştirerek daha kompakt ve az genleşmiş ürün meydana

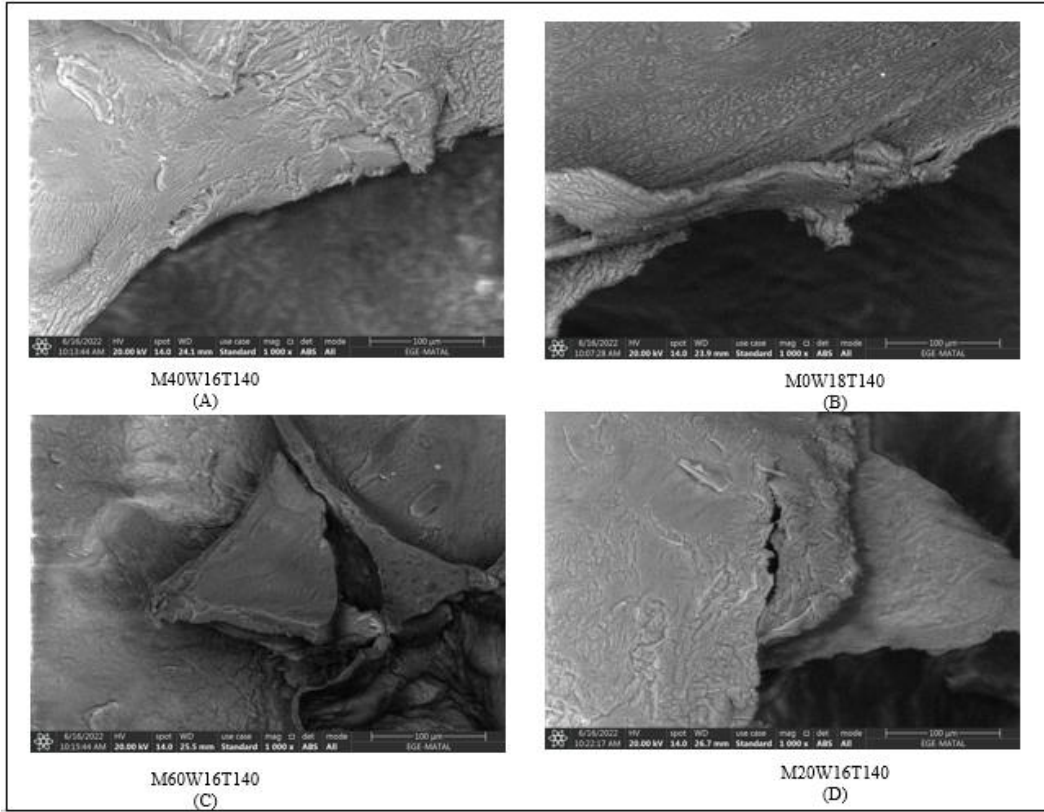
getirdiği birçok çalışmada belirtilmiştir (Nascimento et al., 2012; Wani and Kumar, 2016; Sahoo et al., 2021).

1000x ile elde edilen görüntüler incelendiğinde maş fasulyesi unu ilavesiyle lifli yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15). Benzer sonuç Brishti ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada da elde edilmiştir. Ekstrüzyon ile pişirmede yüksek sıcaklık ile proteinler açılarak lif oluşumuna imkân vermektedir. Bunun sonucunda yüzey düzensiz hale gelmekte ve ince lifler şişip birbirleriyle bağlantı kurmaktadır (Brishti et al., 2021). M60W18T155 örneğine ait görüntüler incelendiğinde hücre duvarının daha kalın, hava hücrelerinin boyutunun ise daha küçük olduğu görülmüştür. Bu durum daha az genleşmiş ürün ve daha sert ürün oluşumunun nedenini açıklamaktadır. M60W16T170 örneğinde ise ekstrüder sıcaklığının ve formülasyondaki maş fasulyesi unu ilavesinin arttırılmasıyla yapının oldukça değiştiği görülmektedir. Hava hücrelerinin boyutu çok küçükken hava hücrelerinin sayısının ve hücre duvar kalınlığının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Maş fasulyesi unu ilavesi ile küçük boyuttaki hava hücrelerinin sayısının ve hücre duvarı kalınlığının artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumda ekstrüdatların sertliğinin de daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Cortez ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ekstrüdatların sertliği üzerinde hava hücrelerinin miktarının, hücre duvarlarının direncinden daha fazla etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu durumda hava hücreleri sayısı ile sertlik arasında pozitif korelasyon olduğu söylenebilir. Ekstrüder sıcaklığının etkisini incelemek amacıyla M60W16T140 ve M60W16T170 örnekleri kıyaslandığında; ekstrüder sıcaklığının arttırılması hücre boyutunu azaltmakta ve daha önceki analiz sonuçlarında da açıklandığı gibi genleşme oranını azaltmakta, yığın yoğunluğunu arttırmakta ve daha sert ürün oluşumuna neden olmaktadır. Sıcaklığın artışıyla nişastada meydana gelen hasar artış göstermektedir. Oluşan hasar sonucu yapıda asimetric gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. Yapıların oluşumundan nişastanın jelatinleşme derecesinin sorumlu olduğu düşünülmektedir (Sharma et al., 2015).

Besleme neminin ekstrüdatların mikro yapısı üzerine etkisi M0W18T140 ile M0W16T145-op örnekleri üzerinden incelenerek değerlendirilmiştir. %18 besleme nemine koşullandırılmış besleme ile üretilen ürünlerde hava hücrelerinin boyutunda ve genleşmede azalma meydana geldiği görülmüştür. Besleme neminin arttırılması ile yüzey pürüzsüzlüğü azalırken kalın hücre duvarlarının oluştuğu ve bu nedenden dolayı genleşmenin azaldığı belirtilmiştir. Maş fasulyesi unundan gelen protein ve lif içeriğiyle ürünlerde daha sert yapı oluşmuştur. Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da verilmiştir (Lazou and Krokida, 2010; Sharifi et al., 2021).



Şekil 4.14 Ekstrüde ürünlerin SEM görüntüleri A) M60W18T155, B) M60W16T170, C) M60W16T140, D) M0W18T140



Şekil 4.15 Ekstrüde ürünlerin SEM görüntüleri (x1000) A) M40W16T140, B) M0W18T140, C) M60W16T140, D) M20W16T140

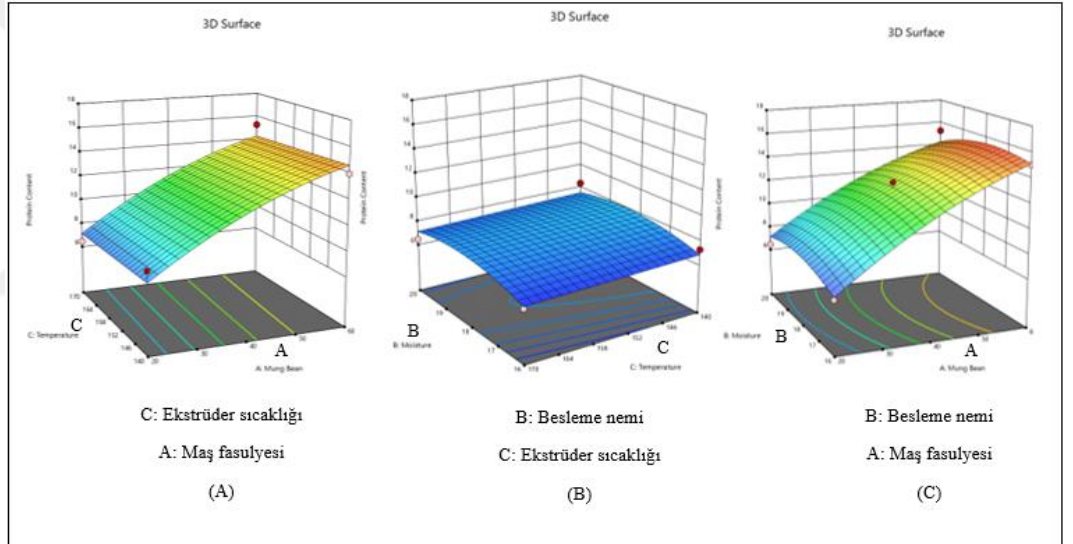
4.3.7. Ekstrüde Atıştırmalıkların Protein ve Nem İçeriği

Ekstrüde atıştırmalıkların protein içerikleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde maş fasulyesi unu miktarının artması ile örneklerin protein içeriğinin arttığı görülmektedir. Sharma ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, pirinç-maş fasulyesi karışımlarından protein içeriği ve kalitesi bakımından geliştirilmiş ekstrüde atıştırmalık üretmişlerdir. Sumardiono ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, tüketilen pirinç miktarının azaltılması ve diyetin iyileştirilmesi amacıyla pirinç analogları üretilmiştir. Pirinç analoglarının elde edilmesinde maş fasulyesi unu kullanılmıştır. Kullanılan maş fasulyesi unu ile orantılı olarak üretilen ürünlerin protein miktarının arttığı belirtilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, yulaf ve maş fasulyesi unu karışımlarından sağlıklı ekstrüde atıştırmalık üretimi gerçekleştirilmiş ve karışımdaki maş fasulyesi unu miktarının artışı ile atıştırmalıkların protein içeriğinin arttığı belirtilmiştir (Jain et al., 2022).

Maş fasulyesi unu ilaveli ekstrüde atıştırmalıkların protein içeriği sonuçları yanıt yüzey yöntemi ile değerlendirilip, R^2 değeri katsayısı 0.9639 olduğu, tahminleme regresyon sayısı (pred- R^2) 0.8796 ile düzeltilmiş regresyon sayısının (adj- R^2) 0.9472 çıktığı ve değerlerin farkının 0.2'den küçük olduğu

gözlemlenmiştir. Tasarlanan modelde “lack of fit” teriminin P-değeri 0.0705, F-değerinin 4.03 çıkmıştır (not significant). P-değerinin düşük, F-değerinin yüksek olması Lack of fit değerinin kötü olduğunu göstermektedir. Model düşük olasılıkla çalışmaktadır. Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.21’de verilmiştir. Geliştirilen modelde, maş fasulyesi unu protein içeriğinin olumlu etkisinin olduğu görülmüştür (Tablo 4.22; Şekil 4.16).

Ekstrüde ürünlerin nem içerikleri 6.38 (M60W20T170) ile 10.23 (M0W20T140) arasında çıktığı tespit edilmiştir. Maş fasulyesi unu ilaveli ekstrüde ürünlerin % nem miktarı Tablo 4.3’te, maş fasulyesi içermeyen ekstrüde ürünlerin %nem miktarları Tablo 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.16 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin protein değerleri için yanıt yüzey grafikleri

Tablo 4.22 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin protein içeriğini etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	12.52	1	0.2318	12.02	13.02	
A-Maş fasulyesi unu	3.93	1	0.2186	3.45	4.40	1.0000
B-Besleme nemi	-0.0516	1	0.2186	-0.5238	0.4206	1.0000
C-Ekstrüder sıcaklığı	-0.1744	1	0.2186	-0.6466	0.2978	1.0000
AB	-0.3630	1	0.2444	-0.8909	0.1650	1.0000
A ²	-0.8185	1	0.3864	-1.65	0.0163	1.56
B ²	-0.7707	1	0.3864	-1.61	0.0640	1.56

4.3.8. Duyusal Analiz

Ürünlerin görünüş, lezzet, sertlik, gevreklik, kırılabilirlik ve genel kabul edilebilirlik özelliklerine göre panelistlerin tercihleri doğrultusunda hedonik skala kullanarak 1-9 puan arasında puanladıkları duyusal analiz sonuçları Şekil 4.19 (maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların) ve Şekil 4.20 (maş fasulyesi unu içermeyen örneklerin)'de görülmektedir.

Görünüş bakımından ürünlere verilen puanlar 5.54 (M60W18T155) ile 8.45 (M0W16T140) arasında değişmektedir (Tablo 4.3, Tablo 4.4). Genleşme oranı yüksek olan ekstrüdatların görünüş bakımından yüksek puan aldığı belirlenmiştir. Maş fasulyesi ununun %40 oranında eklenmesiyle ekstrüdatlarda meydana gelen renk değişikliğinin de panelistler tarafından beğeni aldığı tespit edilmiştir. Fakat, maş fasulyesi ununun %60 oranında eklenmesi ile ürünlerin L* değerinin ve genleşme oranının düştüğü, bu durum da ürünün panelistler tarafından düşük puan ile değerlendirilmesine neden olmuştur. Düşük genleşme oranına sahip %20 besleme nemi ile üretilen ekstrüde atıştırmalıkların da panelistlerden düşük puan aldığı tespit edilmiştir.

Ekstrüde atıştırmalıkların lezzetine verilen puanlar 5.71 (M20W20T170) ile 7.45 (M60W16T140) arasında değişmektedir. Maş fasulyesi unu ilavesi ile üretilen ekstrüderin panelistler tarafından beğeni olduğu görülmüştür. Besleme neminin

düşük olması istenen süngerimsi yapının oluşmasına katkı sağladığı için düşük besleme neminde üretilen ekstrüde atıştırmalıklar lezzet bakımından yüksek puan alırlarken yüksek besleme neminde üretilen ürünlerin düşük puan aldığı tespit edilmiştir.

Kırılabilirlik bakımından panelistler tarafından verilen puanlar 5.92 (M60W16T170) ile 7.94 (M20W16T140) arasında değişmektedir. Gevreklik puanlarının ise 5.35 (M60W16T170) ile 7.82 (M20W16T140) arasında değiştiği görülmüştür. Kırılabilirlik ve gevreklik puanlarının M60W16T170 ürünü dışında diğer ürünlerde yüksek olduğu belirlenmiştir. Ekstrüdatların sertliklerine verilen puanlar 5.14 (M60W16T170) ile 7.63 (M60W16T140) arasında değişmektedir. 170°C sıcaklıkta üretilen ekstrüdatların sertlik bakımından beğeni almadığı tespit edilmiştir. 140°C ve 155°C'de, %20 besleme ile üretilen ekstrüde ürünlerin de sertlik bakımından düşük puan aldığı belirlenmiştir.

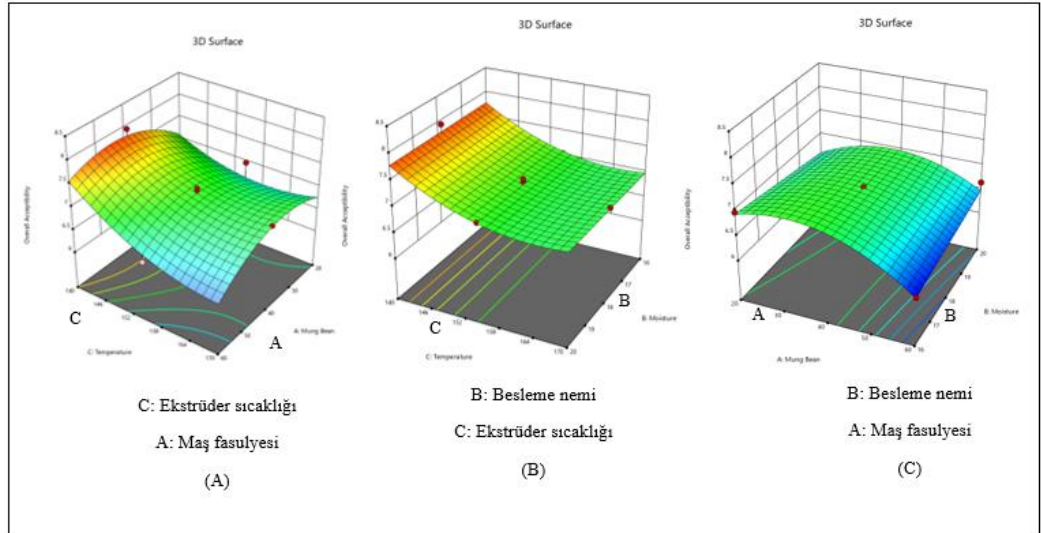
Genel kabul edilebilirlik puanları 6.14 (M60W16T170) ile 7.93 (M40W18T140) arasında değişmektedir. Genel kabul edilebilirlik açısından, maş fasulyesi ununun formülasyona %40 oranında ilave edilmesiyle üretilen ekstrüde atıştırmalıkların genel olarak yüksek puan aldığı görülmüştür. Genel kabul edilebilirlik puanları yanıt yüzey yöntemi ile incelendiğinde, tercih edilen modelde en yüksek R^2 değer katsayısının 0.8628 olmasına, tahminleme regresyon sayısının ($\text{pred- } R^2$) 0.6596 ile düzeltilmiş regresyon sayısının ($\text{adj- } R^2$) 0.8137 olmasına ve değerlerin farkının 0.2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan modelde matematiksel uyumu algılamak ve tanımlayabilmek açısından 'lack of fit' terimi (P-değeri 0.2327) ile regresyon katsayısı (F-değeri 1.99) incelenmiştir (not significant). Geliştirilen modelde kullanılan verilerin yanıt hakkında tahminlerde bulunması için geliştirilen denklem Tablo 4.20 ve Tablo 4.21'de verilmiştir. Geliştirilen modelde, ekstrüder sıcaklığının negatif korelasyon oluşturduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Tablo 4.23, Tablo 4.24, Şekil 4.17, Şekil 4.18). Ekstrüder sıcaklığının artmasıyla birlikte ekstrüdatların genleşme oranında azalma, sertlik değerlerinde ise artış olduğu belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda üretilen ekstrüde atıştırmalıkların genel kabul edilebilirlik açısından panelistler tarafından düşük puan ile değerlendirilmesinin nedeninin yüksek sıcaklıklarda kalitesinin bozulmasının olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.23 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

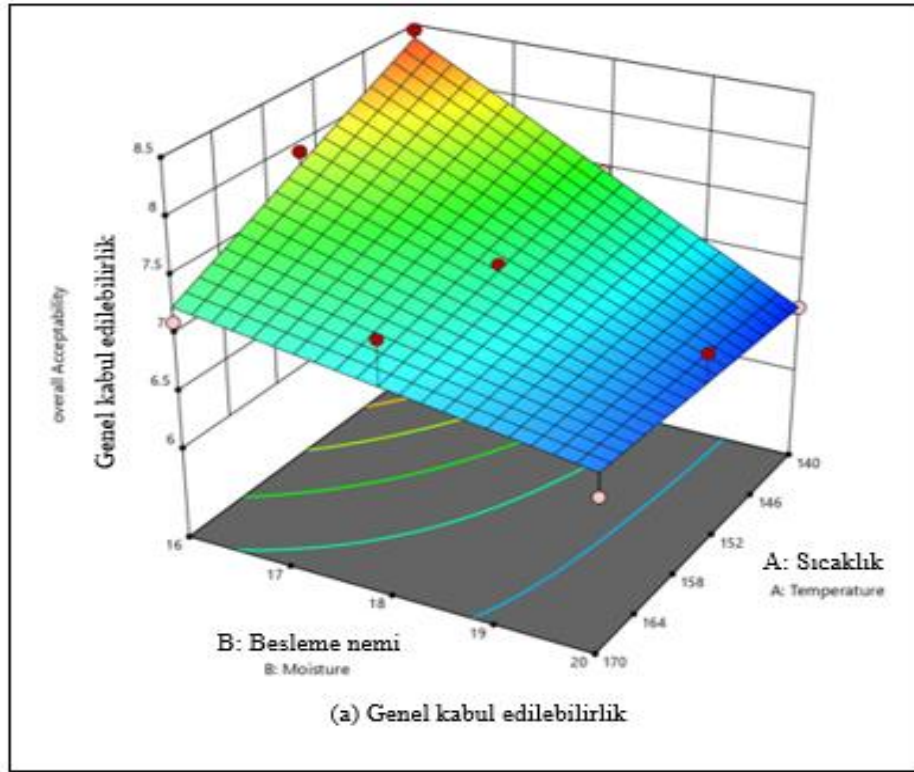
Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt	95% Güven aralığı- Üst	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	7.09	1	0.0611	6.96	7.22	
C-Sıcaklık	-0.4009	1	0.0576	-0.5245	-0.2773	1.0000
AB	0.1670	1	0.0644	0.0288	0.3052	1.0000
AC	-0.2345	1	0.0644	-0.3727	-0.0963	1.0000
A ²	-0.4504	1	0.1019	-0.6690	-0.2319	1.56
C ²	0.2970	1	0.1019	0.0784	0.5155	1.56

Tablo 4.24 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerinin genel kabul edilebilirlik puanlarını etkileyen bağımsız değişkenlerin modellenmesi

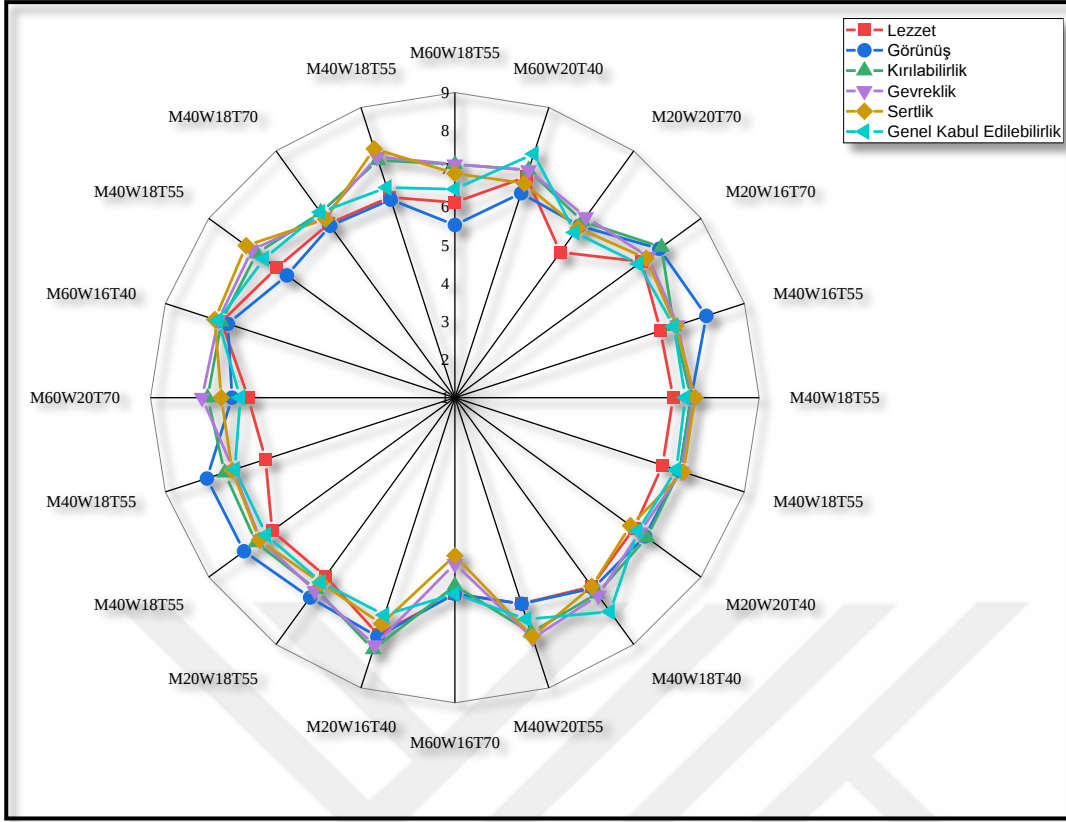
Faktör	Tahmin edilen Değerler	df	Standart Hata	95% Güven aralığı- Alt sınır	95% Güven aralığı- Üst sınır	VIF
Kesişim noktası (Intercept)	7.24	1	0.0771	7.06	7.42	
A-Ekstrüder sıcaklığı	-0.2445	1	0.1044	-0.4914	0.0024	1.0000
B-Besleme nemi	-0.5747	1	0.1044	-0.8216	-0.3278	1.0000
AB	0.3211	1	0.1279	0.0187	0.6235	1.0000



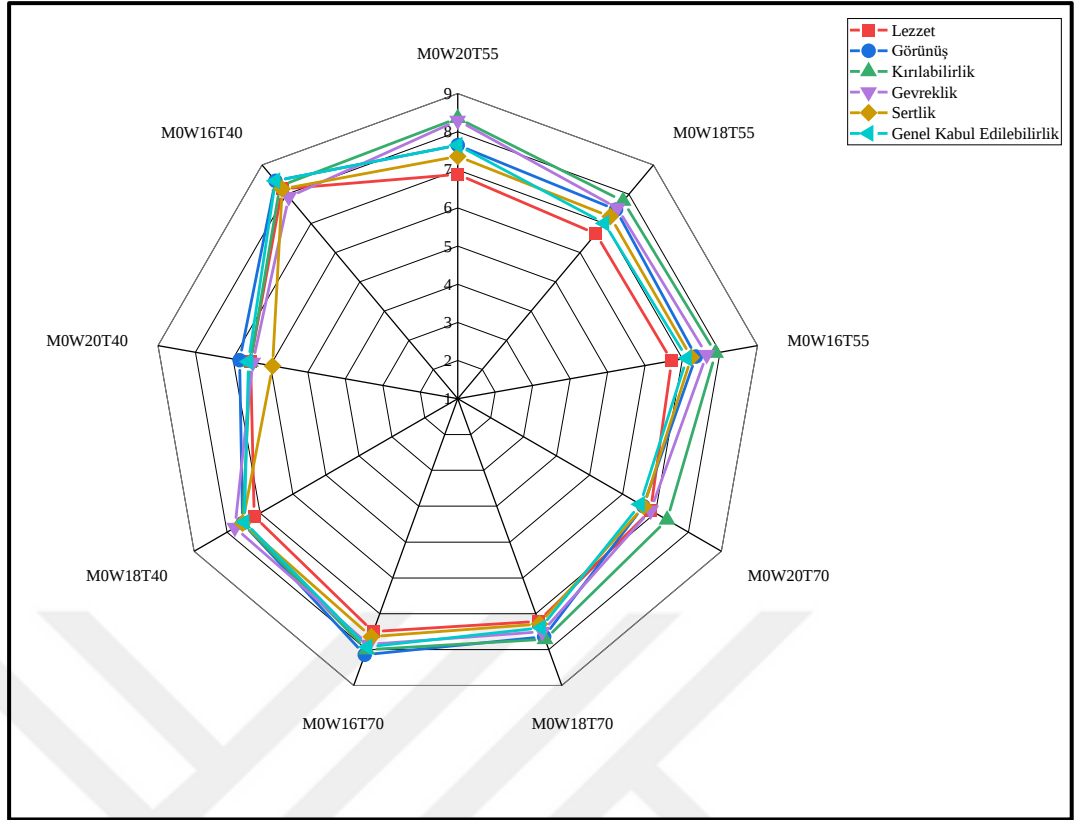
Şekil 4.17 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanları için yanıt yüzey grafikleri



Şekil 4.18 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin genel kabul edilebilirlik puanları değerleri için yanıt yüzey grafikleri



Şekil 4.19 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin duyusal analiz sonuçların grafiği



Şekil 4.20 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz sonuçlarının grafiği

4.3.9. Optimizasyon

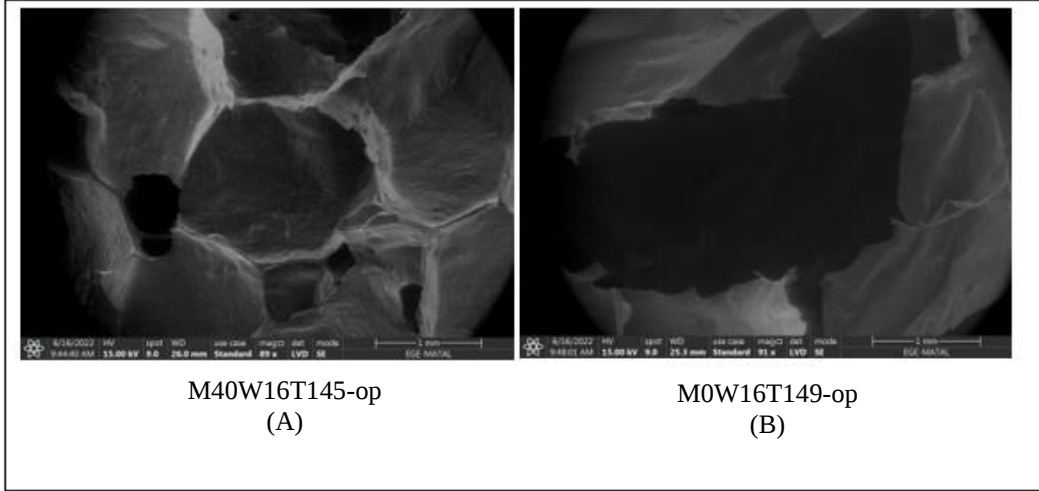
Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde ürünlerin üretiminde maş fasulyesi unu oranı (%20-60), besleme nem içeriği (%16-18), ekstrüder namlu sıcaklığı (140-170°C); maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde ürünlerin üretimi için ise besleme nem içeriği (%16-18), ekstrüder namlu sıcaklığı (140-170°C) değişkenleri Merkezi Kompozit Tasarımı Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak optimum koşullar belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, bağımsız değişken parametreler (ekstrüzyon sıcaklığı, besleme nemi ve maş fasulyesi unu içeren örnekler için maş fasulyesi unu miktarı) ve yanıtlar (genleşme oranı, yığın yoğunluğu, WSI, WAI, kristalinite değeri, protein içeriği, sertlik, gevreklik ve genel kabul edilebilirlik) için hedef aralıklar belirlenmiştir. Olası hedefler, optimizasyondaki yanıt parametreleri için, “minimum, aralık, maksimum, doğrudan hedef nokta değer ve hiçbir” şeklinde belirlenebilmektedir. Bu sayede değişken parametreler optimizasyon programında nokta bir değere getirilebilmektedir. Bu amaçla, genleşme oranının, gevrekliğin, WAI, protein içeriğinin ve genel kabul edilebilirlik değerlerinin maksimum; yığın yoğunluğunun, sertliğin ve kristalinite değerinin minimum olması hedeflenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, optimum ekstrüzyon koşulları, %16 besleme nemi, 145°C ekstrüzyon sıcaklığı ve %40 maş

fasulyesi unu ilavesi ile elde edilmiş olup bu koşullar altında beş üretim yapılarak doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.25’te verilmiştir.



Tablo 4.25 Optimum koşullarda üretilen atıftırmalıkların analiz sonuçları ve doğrulamaları

Örnekler	Genişleme oranı (ER)			Yığın yoğunluğu (BD)(g/cm ³)			Suda çözünürlük indeksi (WSI) (%)			Su absorpsiyon indeksi (WAI) (g/g)					
	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high			
M40W16T145-op	3.37	3.68	4.14	0.04	0.08	0.12	55.18	55.39	61.59	-5.86	2.34	13.35			
M0W16T149-op	0.0316758	0.0486667	0.0778787	0.0316758	0.0486667	0.0778787	55.3284	64.444	67.4933	1.6399	2.02	3.71252			
Örnekler	Sertlik (H) (N)			Gevreklik (Cr)			Genel kabul edilebilirlik (OA)			Kristalinite değeri (%)			Protein (%)		
	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high	95% PI low	Deneyisel veriler	95% PI high
M40W16T145-op	95.05	137.2	168	52.26	63.2	75.81	7.29	7.35	7.77	14.95	16.47	17.43	11.42	12.17	13.82
M0W16T149-op	19.2872	48.2033	55.8858	85.3349	86.3333	111.967	7.55229	7.68333	8.53317						



Şekil 4.21 Optimum koşullarında üretilmiş ürünlerin SEM görüntüleri A)M40W16T145-op, B)M0W16T149-op

4.3.10. Nişasta sindirilebilirliği

Nişasta üç fraksiyonda sınıflandırılmaktadır. Testin ilk 20 dakikasında sindirilen nişasta fraksiyonu, hızlı sindirilebilir nişasta (HSN) olarak adlandırılmaktadır. Bu fraksiyonunun sindirim enzimleri tarafından hızlıca hidrolize uğramasının nedeni olarak nişasta jelatinizasyon hızı belirtilmiştir. Ayrıca, HSN serbest glukozu metabolize etmek için yüksek bir glisemik zirve üreterek insülinemik yanıtı tetiklemektedir. Beslenme açısından bakıldığında, bu gıdaların sık tüketilmesi, insülin direncini yükselterek tip 2 diyabet için risk oluşturmaktadır. Bu nedenle nişastanın sindirim enzimleri tarafından hızla hidrolize edildiği gıdaların tüketiminin azaltılması gerekmektedir. 20 ile 120 dakika arasında sindirilen nişasta yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) olarak ifade edilmektedir. Yavaş sindirilen nişastaların glisemik indeksinin ve insülin düzeylerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, YSN mide boşalmasını ve besin alımını azaltarak tokluğu arttırmaktadır. Dirençli nişasta (DN) olarak bilinen üçüncü nişasta fraksiyonu, ince bağırsakta sindirimden kaçır ve mikrobiyal fermantasyon için kalın bağırsağa geçmektedir. DN, patojenik mikroorganizmaları inhibe eden ve kolonositlerin malign dönüşümünü önleyen kısa zincirli yağ asitlerinin (SCFA'lar) üretimi nedeniyle gastrointestinal sağlığa önemli bir katkıda bulunmaktadır.

(Magallanes-Cruz et al., 2017). Beslenmede mısır, dünyanın birçok bölgesinde ana gıda olmaya devam etmektedir. Yemek hazırlamak için tam tane olarak veya öğütülerek un halinde kullanılabilir. Mısırın ana bileşeni olan nişasta, piştikten sonra kısmen veya tamamen jelatinleşebilmekte ve sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilebilmektedir. Bu nedenle, mısır bazlı gıdaların tüketiminin, yüksek kalori içeriği nedeniyle aşırı kilo, obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi çeşitli hastalıkların gelişimi ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. Mısırın diğer bileşenler (proteinler, lipidler, nişasta olmayan polisakkaritler ve polifenoller) ile etkileşimleri, pişirilmesi sonrasında uzun süre depolanması (hafta, ay) ve nişastasının sindirim enzimleri tarafından hidrolize uğramasını engellemek için ekstrüzyon, yüksek basınç, ultrasonikasyon, ısıtma-soğutma döngüleri ve bu yöntemlerin çeşitli kombinasyonları gibi fiziksel yöntemlerle modifiye etme eğilimleri ile nişasta sindirilebilirliğinin azaltıldığı belirtilmiştir (Bello-Pérez et al., 2021).

Nişasta açısından zengin gıdaların obezite ve buna bağlı kronik hastalıklara neden olması, gıda endüstrisi, yararlı fizyolojik etkileri nedeniyle YSN ve DN içeriği yüksek gıda işleme tekniklerine odaklanmıştır. Gıda mühendisleri ve beslenme uzmanları, tahıl ürünlerinin YSN ve DN içeriği yükseltilmiş tahıl ürünleri tasarlama gayretindedirler. Aynı zamanda, YSN ve DN, modern gıda endüstrisinde düşük glisemik indeksli gıda üretmek için gerekli ana bileşenlerdir (Flores-Silva et al., 2015; Pellegrini et al., 2020). Obezite ve diyabet riskinin önüne geçebilmek için düşük glisemik indekse sahip ürün geliştirmek birçok çalışmada araştırma konusu haline gelmiştir (Flores-Silva et al., 2015). Optimum koşullarda üretilen maş fasulyesi unu içeren ve içermeyen ekstrüde ürünlerin *in vitro* sindirim analizi sonuçları Tablo 4.26'da verilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kontrol örneklerde ve maş fasulyesi unu ilaveli ürünlerde YSN içerikleri HSN içeriklerinden yüksek çıktığı görülmüştür.

Tablo 4.26 Optimum koşullarda üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* nişasta sindirilebilirlik değerleri

Örnek Kodları	HSN	YSN	DN	TS
Kontrol (M0W16T145-OP)	33.70±0.01	57.69±0.00	4.74±0.00	96.13±0.00
Maş fasulyesi unu ilaveli ürün (M40W16T145-OP)	20.08±0.02	54.33±0.01	11.12±0.03	73.30±0.00

Mısır irmiğine maş fasulyesi unu ilave edilmesi ile HSN ve YSN içeriğinin azaldığı DN içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Böylece glisemik indeksi düşük daha fonksiyonel ürün elde edilmektedir. Maş fasulyesi unu içeren ürünün toplam nişasta

içeriğinin (TS) kontrol örneğinden daha düşük olduğu bulunmuştur. Mısır irmiğinin karbonhidrat miktarının yüksek olmasından dolayı sonuç beklenildiği gibi çıkmıştır. Ayrıca maş fasulyesi ununun yüksek protein ve lif içeriğine sahip olması enzimatik hidrolizi sınırlandırmakta ve nişasta sindirilebilirliğinin kontrol ürüne göre az çıkmasına neden olmaktadır. Hou ve ark. (2020)'de yapmış olduğu bir çalışmada da buğday ununa ilave edilen ekstrüde edilmiş maş fasulyesi ununun, ürünün HSN ve YSN miktarını azaltırken DN'yi arttırdığı belirtilmiştir. Bunu nedeni olarak, maş fasulyesi içeriğindeki proteinlerin nişasta granüllerinin etrafına sarılıp, sindirim enzimleriyle temaslarını kısıtlaması söylenebilmektedir. Başka bir deyişle tahıl bazlı gıdalara baklagillerin ilavesi ile protein bariyer etkisi yaratmakta ve sindirim enzimlerinin nişasta moleküllerine etki etmesi fiziksel olarak engellenmektedir (Hou et al., 2020). Nişasta yapısı ile sindirim arasındaki ilişki karmaşıktır ve amiloz içeriği, amilopektinin oryantasyonu, kristalizasyon derecesi ve partikül boyutu gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu belirtilmiştir (Awais et al., 2020).

Maş fasulyesi ununun kristalizasyon derecesi (%30,50) mısır irmiğinin kristalizasyon derecesinden (%28,04) daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ekstrüzyonla pişirme sırasında nişasta jelatinleşir, kristal yapı kaybolur, glikozit bağları kırılır ve moleküller enzimatik bozunma için daha kolay erişilebilir hale gelir ve bu da sindirilebilirliğin artmasına neden olmaktadır (Ali et al. 2016). B-tipi kırınım modeline sahip nişastalar (jelatinize edilmemiş) yüksek dirençli nişasta içeriği sergilediklerinden ve A-tipi modele sahip olanlar yüksek düzeyde yavaş sindirilebilir nişasta sunduğundan, X-ışını kırınım modeli nişasta sindirilebilirliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Magallanes-Cruz et al., 2017).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı oranlarda maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların üretimi gerçekleştirilmiş ve optimum ekstrüzyon koşulları belirlenmiştir. Mas fasulyesi unu içeren ekstrüde ürün için optimum koşullar %40 maş fasulyesi unu, 145°C ekstrüder namlu sıcaklığı ve %16 besleme nemi; mas fasulyesi unu içermeyen (kontrol) ürün için 149°C ekstrüder namlu sıcaklığı ve %16 besleme nemi olarak bulunmuştur. Maş fasulyesi unu oranının ve ekstrüzyon işleminde önemli etkiye sahip ekstrüder namlu sıcaklığının ve besleme nem içeriğinin ürünlerin genleşme oranı, yığın yoğunluğu, renk, sertlik, gevreklik, WAI, WSI, kristalinite değeri ve duyuşal özellikleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. Maş fasulyesi unu ilavesi ile ekstrüdatların yığın yoğunluğu ve sertliği artmakta, genleşme oranı ve gevrekliği azalmakta, protein miktarı, dirençli nişasta miktarı ve *in vitro* protein sindirilebilirliği artmaktadır. Ekstrüder namlu sıcaklığı ve besleme neminin artışı ekstrüdatların genleşme oranını ve gevrekliğini azaltmakta, sertlik ve yığın yoğunluğunu artırmaktadır. Maş fasulyesi unu miktarı arttıkça L* ve b* değerlerinin düştüğü, sıcaklık artışının ise L* değerinde bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Ancak tüm sıcaklıklarda artan maş fasulyesi unu miktarı ile a* değeri yükselmiştir.

Hammaddelerin ve ekstrüde ürün üretiminde kullanılan un karışımlarının pişirme davranışlarının belirlenmesi amacıyla çirilenme özellikleri incelenmiştir. Maş fasulyesi ununun pik viskozite değerinin mısır irmiğinin pik viskozite değerinden daha yüksek son viskozite değerinin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Sadece mısır irmiği içeren ekstrüde ürünler, besinsel özellikleri bakımından zayıf olması nedeniyle bu ürünlerin tüketimi gelişimi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yüksek protein ve lif içeriği ile besleyici değeri bakımından zengin olan maş fasulyesinin atıştırmalık gıdaların üretiminde kullanılmayı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-Rahman, E. S. A., El-Fishawy, F. A., El-Geddawy, M. A., Kurz, T., and El-Rify, M. N.,** 2008, Isolation and physico-chemical characterization of mung bean starches, *International Journal Of Food Engineering*, 4(1).
- Ali, Y., Hanna, M. A., and Chinnaswamy, R.,** 1996, Expansion characteristics of extruded corn grits, *LWT-Food Science and Technology*, 29(8):702-707 pp.
- Allen, Karin E., Charles, E. C., and Marie K. Walsh.,** 2007, Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product, *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8):953–60 pp.
- Altaf, U., Hussain, S. Z., Qadri, T., Ishrat, S. A., and Kanojia, V.,** 2020, Optimization of extrusion process for development of nutritious snacks using rice and chickpea flour, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 79:430-436 pp.
- Altaf, U., Syed Zameer, H., Tahiya Q., Farheena I., Bazila N., and Rather, A. H.,** 2021, Investigation on mild extrusion cooking for development of snacks using rice and chickpea flour blends, *Journal of Food Science and Technology*, 58(3):1143–55 pp.
- Anton, Alex A., R. Gary Fulcher, and Susan D. Arntfield.,** 2009, Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) flour: effects of bean addition and extrusion cooking, *Food Chemistry*, 113(4):989–96 pp.
- Asaam, E. S., Joseph A., Isaac A., and Osborn, J. D. A.,** 2018, Functional and pasting properties of yellow maize–soya bean–pumpkin composite flours and acceptability study on their breakfast cereals, *Cogent Food and Agriculture*, 4(1):1–15 pp.
- Asghari-pour, S., Mohammad N., Behzad N., Hossein J., and Beiraghi-Toosi, S.,** 2018, Optimization of physicochemical and functional properties of corn-based snacks containing date kernel flour, *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(11):e13821p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Banki, N. M., Salihu, A., Muhammad, A., and Bala, S. M.,** 2021, Optimization and characterization of rice–pigeon pea flour blend using extrusion cooking process, *Legume Science*, 3(1):1–10 pp.
- Barrett, A. H., Cardello, A. V., Leshner, L. L., and Taub, I. A.,** 1994, Cellularity, mechanical failure, and textural perception of corn meal extrudates, *Journal of Texture Studies*, 25(1):77-95 pp.
- Basto, G. J., Carvalho, C. W. P., Soares, A. G., Costa, Davy William Hidalgo Chávez, H. T. G. B., Godoy, R. L. O., and Pacheco, S.,** 2016, Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*bactris gasipaes*, kunth), *LWT - Food Science and Technology*, 69:312–18 pp.
- Beigh, M., Hussain, S. Z., Qadri, T., Naseer, B., Raja, T., and Naik, H.,** 2020, Investigation of process and product parameters for physico-chemical properties of low glycemic index water chestnut and barley flour-based extruded snacks, *British Food Journal*, 122(1):227–41 pp.
- Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Sifuentes-Nieves, I., and Agama-Acevedo, E.,** 2021, controlling starch digestibility and glycaemic response in maize-based foods, *Journal of Cereal Science*, 99:103222.
- Bento, J. A. C., Morais, D. K., Berse, R. S., Bassinello, P. Z., Caliari, M., and Júnior, M. S. S.,** 2022, Functional, thermal, and pasting properties of cooked carioca bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) flours, *Applied Food Research*, 2(1):100027.
- Bresciani, A., Giordano, D., Vanara, F., Blandino, M., and Marti, A.,** 2021, The effect of the amylose content and milling fractions on the physico-chemical features of co-extruded snacks from corn, *Food Chemistry*, 343:128503.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Brishti, F. H., Chay, S. Y., Muhammad, K., Ismail-Fitry, M. R., Zarei, M., and Saari, N.**, 2021, Texturized mung bean protein as a sustainable food source: effects of extrusion on its physical, textural and protein quality, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67:102591.
- Castellanos-Gallo, L., Galicia-García, T., Estrada-Moreno, I., Mendoza-Duarte, M., Márquez-Meléndez, R., Portillo-Arroyo, B., Soto-Figueroa, C., Leal-Ramos, Y., and Sanchez-Aldana, D.**, 2019, Development of an expanded snack of rice starch enriched with amaranth by extrusion process, *Molecules*, 24(13):2430.
- Chanvrier, H., Uthayakumaran, S., Appelqvist, I. A. M., Gidley, M. J., Gilbert, E. P., and López-Rubio, A.**, 2007, Influence of storage conditions on the structure, thermal behavior, and formation of enzyme-resistant starch in extruded starches, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(24):9883–90 pp.
- Chen, Y. Y., Mcpherson, A. E., Radosavljevic, M., Lee, V., Wong, K. S., and Jane, J.**, 1998, Effects of starch chemical structures on gelatinization and pasting properties, *Żywność Technol Jakość*, 17:63-71 pp.
- Cotacallapa-Sucapuca, M., Vega, E. N., Maieves, H. A., Berrios, J. D. J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., and Cámara, M.**, 2021, Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption. A review, *Foods*, 10(5):1096.
- Cuj-Laines, R., Hernández-Santos, B., Reyes-Jaquez, D., Delgado-Licon, E., Juárez-Barrientos, J. M., and Rodríguez-Miranda, J.**, 2018, Physicochemical properties of ready-to-eat extruded nixtamalized maize-based snacks enriched with grasshopper, *International Journal of Food Science and Technology*, 53(8):1889-1895 pp.
- Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A. K., and Brennan, C. S.**, 2010, The Physico-Chemical Characteristics of Extruded Snacks Enriched with Tomato Lycopene, *Food Chemistry*, 123(4):1117–22 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Deshpande, H. W., and Poshadri, A.,** 2011, Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from foxtail millet based composite flours, *International Food Research Journal*, 18(2):751–56 pp.
- Dey, D., Richter, J. K., Ek, P., Gu, B. J., and Ganjyal, G. M.,** 2021, Utilization of food processing by-products in extrusion processing: a review, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4:603751.
- Dos Santos, T. P. R., Leonel, M., Garcia, É. L., do Carmo, E. L., and Franco, C. M. L.,** 2016, Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil, *International Journal of Biological Macromolecules*, 82:144-149 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.
- Duyen, T. T. M., Huong, N. T. M., Phi, N. T. L., and Van Hung, P.,** 2020, Physicochemical properties and in vitro digestibility of mung-bean starches varying amylose contents under citric acid and hydrothermal treatments, *International Journal of Biological Macromolecules*, 164:651-658 pp.
- Ek, P., Gu, B. J., Saunders, S. R., Huber, K., and Ganjyal, G. M.,** 2021, Exploration of physicochemical properties and molecular interactions between cellulose and high-amylose cornstarch during extrusion processing, *Current research in food science*, 4:588-597 pp.
- Erdil, D. N., and Gedik, S.,** 2018, Kırmızı ve yeşil mercimekten elde edilen diyet liflerinin karakterizasyonu ve fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 16(2):135-147s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Escalante-Aburto, A., Néstor, P., Benjamín, R., David, S., José Juan, V. M., and J. D. F. C.,** 2016, Effect of Extrusion Factors and Particle Size on Starch Properties of Nixtamalized Whole Blue Corn Snacks, *Starch/Staerke*, *Wiley Online Library*, 68(11–12):1111–20 pp.
- Espinoza-Moreno, R. J., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O. and Gutiérrez-Dorado, R.,** 2016, Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean, *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2):218-224 pp.
- Farahnaky, A. Sharifi, S. and Majzoobi, M.,** 2021, Development of healthy extruded maize snacks; Effects of soybean flour and feed moisture content, *International Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3179-3187 pp.
- Farasara, R., Hariyadi, P., Fardiaz D., and Dewanti-Hariyadi, R.,** 2014, Pasting properties of white corn flours of Anoman 1 and Pulut Harapan varieties as affected by fermentation process, *Food and Nutrition Sciences*, 05(21):2038–47 pp.
- Flores-Silva, P. C., Rodriguez-Ambriz, S. L., an Bello-Pérez, L. A.,** 2015, Gluten-free snacks using plantain-chickpea and maize blend: chemical composition, starch digestibility, and predicted glycemic index, *Journal of Food Science*, 80(5):C961–66 pp.
- Ganesan, K., and Xu, B.,** 2018, A critical review on phytochemical profile and health promoting effects of mung bean (*Vigna radiata*), *Food Science and Human Wellness*, 7(1):11-33 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):703–12 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gómez-Aldapa, C., Navarro-Cortez, R., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J., Castro-Rosas, J., Hernández-Ávila, J., and Aguirre-Tostado, F.,** 2014, Microstructure of an extruded third-generation snack made from a whole blue corn and corn starch mixture, *International Journal of Food Processing Technology* 1(1):10–17 pp.
- Han, Y. J., Tran, T. T. T., and Le, V. V. M.,** 2018, Corn snack with high fiber content: effects of different fiber types on the product quality, *LWT-Food Science and Technology*, 96(May):1–6 pp.
- Herreman, L., Nommensen, P., Pennings, B., and Laus, M. C.,** 2020, Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score, *Food Science and Nutrition*, 8(10):5379–91 pp.
- Hou, D., Qingyu Z., Laraib Y., Yong X., and Qun S.,** 2020, In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of mung bean (*vigna radiata* l.) as affected by endogenous proteins and lipids, and exogenous heat-processing methods, *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(4):547–52 pp.
- Huang, J., Henk A. S., Zhengyu J., Ellen S., and Alphons G. J. V.,** 2007, Pasting properties and (chemical) fine structure of acetylated yellow pea starch is affected by acetylation reagent type and granule size, *Carbohydrate Polymers*, 68(3):397–406 pp.
- Jacques-Fajardo, G. E., Prado-Ramírez, R., Arriola-Guevara, E., Pérez Carrillo, E., Espinosa-Andrews, H., and Guadalupe María G., M.,** 2017, physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn, yellow pea and oat bran blend, *LWT-Food Science and Technology*, 84:804–14 pp.
- Jafari, M., Arash K., and Elnaz M.,** 2017, effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates, *Journal of Cereal Science*, 75:324–31 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jain, D. D., Tambe, S. M., and Amin, P. D.,** 2022, Formulation performance window for manufacturing cellulose-based sustained-release mini-matrices of highly water-soluble drug via hot-melt extrusion technology, *Cellulose*, 29(6):3323-3350 pp.
- Jekle, M., Katharina M., and Thomas B.,** 2016, Starch-Gluten Interactions during Gelatinization and Its Functionality in Dough like Model Systems., *Food Hydrocolloids*, 54:196–201 pp.
- Juhász, R., and Salgó, A.,** 2008, Pasting behavior of amylose, amylopectin and their mixtures as determined by RVA curves and first derivatives. *Starch-Stärke*, 60(2): 70-78 pp.
- Kılınççeker, O. ve Büyük, G.,** 2019, Amarant *Amaranthus spp*’ın Bazı Özellikleri ve Et Ürünlerinde Kullanımı, *ADYUTAYAM Dergisi*, 7(2), 36-42s.
- Kirby, A. R., Ollett, A. L., Parker, R., and Smith, A. C.,** 1988, An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits, *Journal of Food Engineering*, 8(4):247-272 pp.
- Köseoğlu, S. ve Zeynep A.,** 2019, Bazı Tahıl Ürünlerinin Protein Kalite İndeksinin Protein Sindirilebilirliği – Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) Metodu Ile Belirlenmesi, *European Journal of Science and Technology*, (17):477–82s.
- Lal, S. S.,** 1985, A review of insect pests of mungbean and their control in India. *International Journal of Pest Management*, 31(2): 105-114 pp.
- Lazou, A., and Magdalini K.,** 2010, Structural and Textural Characterization of Corn-Lentil Extruded Snacks, *Journal of Food Engineering*, 100(3):392–408 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- León, E. A. V., Aldapa, C. A. G., Rojas, J. A., Torres, A. V., Uribe, J. P. H., Rodríguez, H. M. P., and Cortez, R. O. N.,** 2022, Phytochemical content and antioxidant activity of extruded products made from yellow corn supplemented with apple pomace powder, *Food Science and Technology*, 42.
- Licata, R., Chu, J., Wang, S., Coorey, R., James, A., Zhao, Y., and Johnson, S.,** 2014, Determination of formulation and processing factors affecting slowly digestible starch, protein digestibility and antioxidant capacity of extruded sorghum-maize composite flour, *International Journal of Food Science and Technology*, 49(5):1408–19 pp.
- Lin, L., Xietian Y., Yuchen G., Liping M., Zhijie Z., and Xianfeng D.,** 2022, Physicochemical properties and in vitro starch digestibility of wheat starch/rice protein hydrolysate complexes, *Food Hydrocolloids*, 125p.
- Logié, N., Guy Della V., A. R. S., Nicolas D. and Jérémie S.,** 2018, How does temperature govern mechanisms of starch changes during extrusion, *Carbohydrate Polymers*, 184: 57–65 pp.
- Lu, Zhan H., Elizabeth D., Rickey Y. Y., and Qiang L.,** 2016, Physicochemical properties and in vitro starch digestibility of potato starch/protein blends, *Carbohydrate Polymers*, 154:214–22 pp.
- Lucas, B. F., Morais, M. G., Santos, T. D., ve Costa, J. A. V.,** 2018, Spirulina for snack enrichment: nutritional, physical and sensory evaluations, *LWT - Food Science and Technology*, 90:270–76 pp.
- Madar, I. H., Asangani, A. H., Srinivasan, S., Tayubi, I. A., and Ogu, G. I.,** 2017, Nutritional and biochemical alterations in *Vigna radiata* (Mung Bean) seeds by germination, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9):3307–3313 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Magallanes-Cruz, P. A., Flores-Silva, P. C., and Bello-Perez, L. A.,** 2017, Starch structure influences its digestibility: a review, *Journal of Food Science*, 82(9):2016-2023 pp.
- Majzoobi, M., and Farahnaky, A.,** 2010, Comparison of the effects of extrusion cooking on some cereal starches, *International Journal of Food Engineering*, 6(3).
- Makowska, A., Zielińska-Dawidziak, M., Niedzielski, P., and Michalak, M.,** 2018, Effect of extrusion conditions on iron stability and physical and textural properties of corn snacks enriched with soybean ferritin, *International Journal of Food Science and Technology*, 53(2):296-303 pp.
- Martin, A., Schmidt, V., Osen, R., Bez, J., Ortner, E., and Mittermaier, S.,** 2022, Texture, sensory properties and functionality of extruded snacks from pulses and pseudocereal proteins, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12):5011-5021 pp.
- Mayachiew, P., Charunuch, C., and Devahastin, S.,** 2015, Physicochemical and thermal properties of extruded instant functional rice porridge powder as affected by the addition of soybean or mung bean, *Journal of Food Science*, 80(12):e2782-2791 pp.
- Mendonca, S., Grossmann, M. V. E., and Verhé, R.,** 2000, Corn bran as a fibre source in expanded snacks, *LWT-Food Science and Technology*, 33(1):2-8 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.
- Mesquita, C. B., Leonel M., and Mischán, 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(3):404-410 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Min, B., Bae, I. Y., Lee, H. G., Yoo, S. H., and Lee, S.,** 2010, Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system, *Bioresource technology*, 101(14):5414-5418 pp.
- Mohammed, A. H. A., and Hassani, M. H. A.,** 2009, The effect of operating condition for cumene cracking on the performance of prepared hx-zeolite catalyst, *Journal of Engineering*, 15(4):4107-4121 pp.
- Muhammad, A., Ashraf, J., Wang, L., Liu L., Yang, X., Tong, L. T., Zhou, X., and Zhou, S.,** 2020, Effect of controlled hydrothermal treatments on mung bean starch structure and its relationship with digestibility, *Foods*, 9(5):1–15 pp.
- Nascimento, E. M. G. C., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Freitas, D. D. G. C., and Ascheri, J. L. R.,** 2012, Use of sesame oil cake (sesamum indicum l.) on corn expanded extrudates, *Food Research International*, 45(1):434-443 pp.
- Navarro Cortez, R. O., Gómez-Aldapa, C. A., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Licon, E., Rosas, J. C., Hernández-Ávila, J., Solís-Soto, A., Ochoa-Martínez L. A., and Medrano-Roldán, H.,** 2016, Blue corn (zea mays l.) with added orange (citrus sinensis) fruit bagasse: novel ingredients for extruded snacks, *CYTA - Journal of Food*, 14(2):349-358 pp.
- Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Santos, B., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., and Rodríguez-Miranda, J.,** 2016, Development of extruded ready-to-eat snacks using pumpkin seed (Cucurbita pepo) and nixtamalized maize (Zea mays) flour blends, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2):409-422 pp.
- Oliveira, L. C., Schmiele, M., and Steel, C. J.,** 2017, Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture, *LWT Food Science and Technology*, 75:261-270 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özcan, S.**, 2009, Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: genetiği değiştirilmiş (transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 2:1-34s.
- Öztürk, A., Özata, E., Erdal, Ş., ve Pamukçu, M.**, 2019, Derleme Türkiye ' de özel mısır tiplerinin kullanımı ve geleceği, 2(1):75–90.
- Palabiyik, İ., Toker, O. S., Karaman, S., ve Yıldız, Ö.**, (2017), Nişasta yapıştırma özelliklerinin yorumlanmasında bir modelleme yaklaşımı, *Tahıl Bilimi Dergisi* , 74:272-278s.
- 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.
- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., and Summo, C.**, 2020, Use of legumes in extrusion cooking: A review, *Foods*, 9(7):958.
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., and Vioque, J.**, 2011, Effects of the addition of wild legumes (lathyrus annuus and lathyrus clymenum) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice, *Food Chemistry*, 128(4):961-967 pp.
- Patil, S. S., Brennan, M. A., Mason, S. L., ve Brennan, C. S.**, 2016, The effects of fortification of legumes and extrusion on the protein digestibility of wheat based snack, *Foods*, 5(2):1-8 pp.
- Patil, S. S., Brennan, M., Mason, S., and Brennan, C.**, 2016, The effects of fortification of legumes and extrusion on the protein digestibility of wheat based snack, *Foods*, 5(4):26.

Pekşen, E. ve Artık, C., 2005, Antibesinsel maddeler ve yemeklik tane baklagillerin besleyici değerleri, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(2):110-120s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Pellegrini, N., Shen, Y., Wu, D., and Fogliano, V., 2021, Rice varieties with a high endosperm lipid content have reduced starch digestibility and increased γ -oryzanol bioaccessibility, *Food & Function*, 12(22):11547-11556 pp.

Pérez-Navarrete, C., González, R., Chel-Guerrero, L., and Betancur-Ancona, D., 2006, Effect of extrusion on nutritional quality of maize and lima bean flour blends, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14):2477-2484 pp.

Pongsawatmanit, R., Tamsiripong, T., and Suwonsichon, T., 2007, Thermal and rheological properties of tapioca starch and xyloglucan mixtures in the presence of sucrose, *Food Research International*, 40(2):239-248 pp.

Rachman, A., Brennan, M. A., Morton, J., and Brennan, C., 2021, Starch pasting properties, and the effects of banana flour and cassava flour addition to semolina flour on starch and amino acid digestion, *Starch/Stärke*, 73(1-2).

Ratnawati, L., Desnilasari, D., Surahman, D. N., and Kumalasari, R., 2019, Evaluation of physicochemical, functional and pasting properties of soybean, mung bean and red kidney bean flour as ingredient in biscuit, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1).

Raushan, K., Marti, K. A., Xavier, Manjusha L., Amjad B., and Venkateshwarlu G., 2018, Fortification of Extruded Snacks with Chitosan: Effects on Techno Functional and Sensory Quality, *Carbohydrate Polymers*, 194:267-73 pp.

Ravindran, G., Carr, A., and Hardacre, A., 2011, A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends, *Food Chemistry*, 124(4):1620-26 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Román-Gutiérrez, A. D., Barrera-Barrera, D. I., Morales-Sánchez, E., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Falfán-Cortés, R. N., Rodríguez-Marín, M. L., and Guzmán-Ortiz, F. A.,** 2021, Modelling and optimization of the extrusion process in a snack of barley/corn and nutritional evaluation of the optimized product, *Cereal Chemistry* (August):1–12 pp.
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D., and Chel-Guerrero, L.,** 2008, Extrusion of a hard-to-cook bean (*phaseolus vulgaris* l.) and quality protein maize (*zea mays* l.) flour blend, *LWT - Food Science and Technology*, 41(10):1799-1807 pp.
- Sahoo, M. R., Kuna, A., Devi, M. P., Sowmya, M., and Dasgupta, M.,** 2021, Fortification of ready-to-eat extruded snacks with tree bean powder: nutritional, antioxidant, essential amino acids, and sensory properties, *Journal of Food Science and Technology*, 59(6): 2351-2360 pp.
- Sahu, C., and Patel, S.,** 2020, Moisture sorption characteristics and quality changes during storage in defatted soy incorporated maize-millet based extruded product, *LWT – Food Science and Technology*, 133: 110153p.
- Sahu, C., Patel, S., and Mishra, N. K.,** 2021, Study on physical, functional and sensory qualities of soy fortified maize-millet based extrudate, *Journal NVEO*, 8(4):540-551 pp.
- Salim, A., Baljit S., and Sharma, S.,** 2016, Response surface analysis and extrusion process optimisation of maize–mungbean-based Instant weaning food, *International Journal of Food Science and Technology* ,51(10):2301–12 pp.
- Samy, D., Deka, S. C., and Das, A. B.,** 2018, Effect of extrusion conditions on the physicochemical and phytochemical properties of red rice and passion fruit powder based extrudates, *Journal of Food Science and Technology*, 55(12):5003–13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Santos, T. P. R., Leonel, M., Garcia, E. L., do Carmo, E. L., ve Franco, C. M. L.,** 2016, Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil, *International Journal of Biological Macromolecules* , 82:144-149s.
- Sayar, S., Koksel, H., and Turhan, M.,** 2005, The effects of protein-rich fraction and defatting on pasting behavior of chickpea starch, *Starch-Stärke*, 57(12):599-604 pp.
- Shameena Beguum, P. P., Manikantan, M. R., Sharma, M., Pandiselvam, R., Gupta, R. K., and Hebbar, K. B.,** 2019, Optimization of processing variables for the development of virgin coconut oil cake based extruded snacks, *Journal Of Food Process Engineering* 42(4):e13048p.
- Sharifi, S., Majzoobi, M., and Farahnaky, A.,** 2021, Development of healthy extruded maize snacks; effects of soybean flour and feed moisture content, *International Journal of Food Science and Technology*, 56(7):3179-3187 pp.
- Sharma, C., Singh, B., Hussain, S. Z., and Sharma S.,** 2017, Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*vigna radiata*) flour based extruded snacks, *Journal of Food Science and Technology*, 54(6):1711-1720 pp.
- Sharma, R., Kumar, R., Srivastava, T., and Saxena, D. C.,** 2015, Textural and microstructural properties of extruded snack prepared from rice flour, corn flour and deoiled rice bran by twin screw extrusion, *Internal Journal of Computer Applications*, ICAET(8):33-38 pp.
- Singh, N., and Sandhu, K. S.,** 2007, Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties, *Food Chemistry*, 101(4):1499-1507 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Singha, P., Singh, S. K., Muthukumarappan, K., and Krishnan, P.,** 2018, Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits, *Food Science & Nutrition*, 6(7):1914-1926 pp.
- Sobota, A., and Rzedzicki, Z.,** 2009, Effect of the extrusion process of corn semolina and pea hulls blends on chemical composition and selected physical properties of the extrudate, *International Agrophysics*, 23(1):67-79 pp.
- Sozer, N., Holopainen-Mantila, U., and Poutanen, K.,** 2017, Traditional and new food uses of pulses, *Cereal Chemistry*, 94(1):66-73 pp.
- Sulaiman, R., Dolan, K. D., ve Mishra, D. K.,** 2013, Simultaneous and sequential estimation of kinetic parameters in a starch viscosity model, *Journal of Food Engineering*, 114(3):313-322s.
- Sumardiono, S., Budiyo, B., Kusumayanti, H., Silvia, N., Luthfiani, V. F., and Cahyono, H.,** 2021, Production and physicochemical characterization of analog rice obtained from sago flour, mung bean flour, and corn flour using hot extrusion technology, *Foods*, 10(12):3023.
- Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S. A., Clarke J., and Rose, D. J.,** 2016, Effects of processing moisture on the physical properties and in vitro digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours, *Food Chemistry*, 211:726-733 pp.
- Tas, A. A., and Shah, A. U.,** 2021, The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: science, technology and challenges, *Trends in Food Science and Technology*, 116(August):701-711 pp.
- Taşkın, B., and Savlak, N.,** 2022, Impact of drum drying conditions on functional properties and flow behavior of gluten-free instant fermented mung bean-rice soup, *Journal of Food Science and Technology*, 59(3):1011-1023 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tiwari, U., and Cummings, E.,** 2011, functional and physicochemical properties of legume fibers, *Pulse Foods (1st ed.)*. Elsevier Ltd, 121-156 pp.
- Uribe-Wandurraga, Z. N., Igual, M., García-Segovia P., and Martínez-Monzó, J.,** 2020, Influence of microalgae addition in formulation on colour, texture, and extrusion parameters of corn snacks, *Food Science and Technology International*, 26(8):685-695 pp.
- Wang, Z., Han, F., Sui, X., Qi, B., Yang, Y., Zhang, H., Wang, R., Li Y., and Jiang, L.,** 2016 Effect of ultrasound treatment on the wet heating maillard reaction between mung bean [*Vigna Radiate (L.)*] protein isolates and glucose and on structural and physico-chemical properties of conjugates, *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 96(5):1532-1540 pp.
- Wani, S. A., and P. Kumar.,** 2016, Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2):166-173 pp.
- Wojtowicz, A., Zalewska-Korona, M., Jabłońska-Rya, E., Skalicka-Woźniak, K., and Oniszcuk, A.,** 2018, Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(3):251–261 pp.
- Yağcı, S., Caliskan, R., Gunes, Z. S., Capanoglu, E., and Tomas, M.,** 2022, Impact of tomato pomace powder added to extruded snacks on the in vitro gastrointestinal behaviour and stability of bioactive compounds, *Food Chemistry*, 368:130847.
- Yağcı, S., Sutay Kocabaş, D., Çalışkan, R., and Özbek, H. N.,** 2022, Statistical investigation of the bioprocess conditions of alkali combined twin-screw extrusion pretreatment to enhance fractionation and enzymatic hydrolysis of bulgur bran, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(11):4770-4779 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yang, Q. Q., Ge, Y. Y., Gunaratne, A., Kong, K. W., Li, H. B., Gul, K., and Gan, R. Y.,** 2020, Phenolic profiles, antioxidant activities, and antiproliferative activities of different mung bean (*vigna radiata*) varieties from Sri Lanka, *Food Bioscience*, 37:100705.
- Yanniotis, S., Petraki, A., and Soumpasi, E.,** 2007, Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch, *Journal of Food Engineering*, 80(2):594-599 pp.
- Yao, M., Tian, Y., Yang, W., Huang, M., Zhou, and S., Liu, S.,** 2019, The multi-scale structure, thermal and digestion properties of mung bean starch, *International Journal of Biological Macromolecules*, 13:871-878 pp.
- Yi-shen, Z., Shuai, S., and FitzGerald, R.,** 2018, Mung bean proteins and peptides: nutritional, functional and bioactive properties, *Food and Nutrition Research*, 1:1-11 pp.
- Yu, L., Ramaswamy, H. S., and Boye, J.,** 2013, Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends, *LWT- Food Science and Technology*, 50(1):279-89 pp.
- Zhang, X., Chen, Y., Zhang, R., Zhong, Y., Luo, Y., Xu, S., Liu, J., Xue, J., and Guo, D.,** 2016, Effects of extrusion treatment on physicochemical properties and in vitro digestion of pregelatinized high amylose maize flour, *Journal of Cereal Science*, 68:108-115 pp.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın konusunun belirlenme ve hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyen, fikirleriyle yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Seher KUMCUOĞLU'ya ve değerli hocam Şebnem TAVMAN'a,

Tez için yapmış olduğum laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarıyla büyük katkıda bulunan, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı Neslihan BOZDOĞAN'a,

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve manevi destek veren arkadaşlarım Ali ORHAN, Ebru ORMANLI, Buket AMCA'ya,

Son olarak aydınlık ve çağdaş fikirleriyle, Cumhuriyet ışığı altında yetiştiren aileme ve bugün sahip olduğumuz bağımsızlığımızı, özgürlüklerimizi ve Cumhuriyeti bizlere armağan eden, “Dünyada her şey için, medeniyet için, hayat için, başarı için, en hakiki mürşit bilimdir, fendir.” sözüyle yolumuzu aydınlatan Mustafa Kemal Atatürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Aylin Yaprak ilköğretimi Çanakça İlköğretim Okulunda, ortaöğretimi Nihat Çandarlı İlköğretim Okulunda ve lise eğitimini Bahçeşehir Atatürk Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2014 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış ve 2019 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. 2019 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

EKLER

Ek 3. 1 Duyusal form

Panelist Adı:

Tarih:

Değerli panelistler,

Size rastgele numaralar ile kodlandırılmış örnekler verilmiştir. Size verilen örnekleri aşağıda belirtilen kalite kriterleri açısından 9 puan üzerinden değerlendiriniz.

Örnek	Lezzet	Görünüş	Tekstür			Genel Kabul Edilebilirlik
			Kırılabilirlik	Gevreklik	Sertlik	
125						
654						
784						
365						
197						
469						

Duyusal testte kullanılan bazı terimler ve tanımları:

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

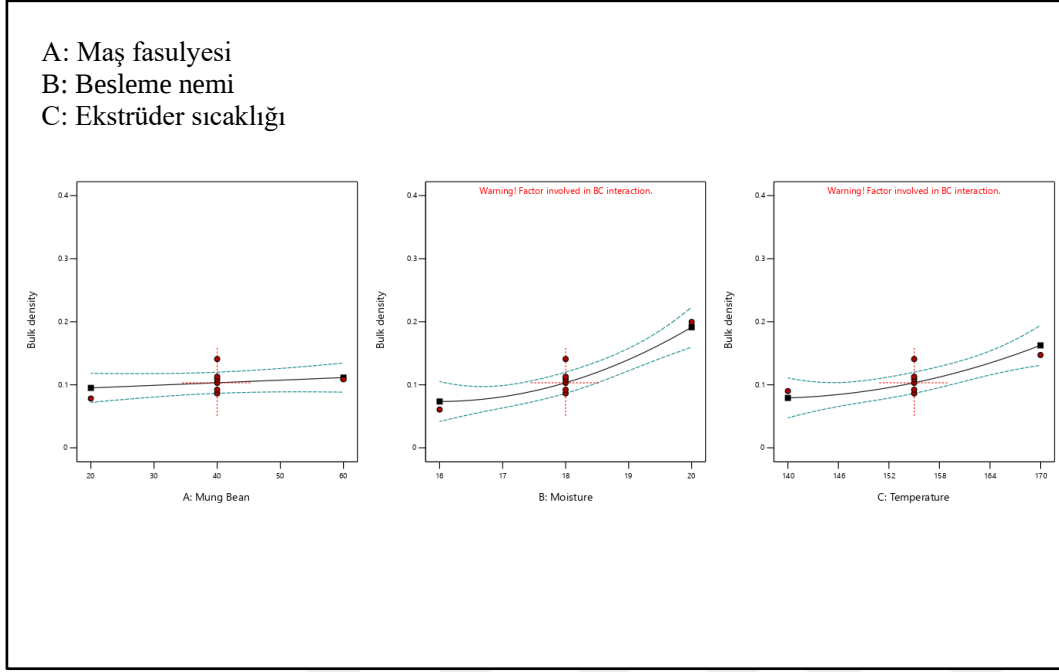
Gevreklik: Azı dişleri ile ısırma sırasında çıkan sesin derecesi

Kırılabilirlik: Maddenin ufalanması, yarılmaması ve dağılması için gerekli kuvvet

Değerlendirme:

- 1: hiç beğenmemek
- 2: çok beğenmemek
- 3: orta derecede beğenmemek
- 4: az beğenmemek
- 5: ne beğenmek ne de beğenmemek
- 6: az beğenmek
- 7: orta derecede beğenmek
- 8: çok beğenmek
- 9: çok fazla beğenmek

Ek 4.1 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların yığın yoğunluğu değerlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.2 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların ER ve BD ANOVA tablosu

ANOVA

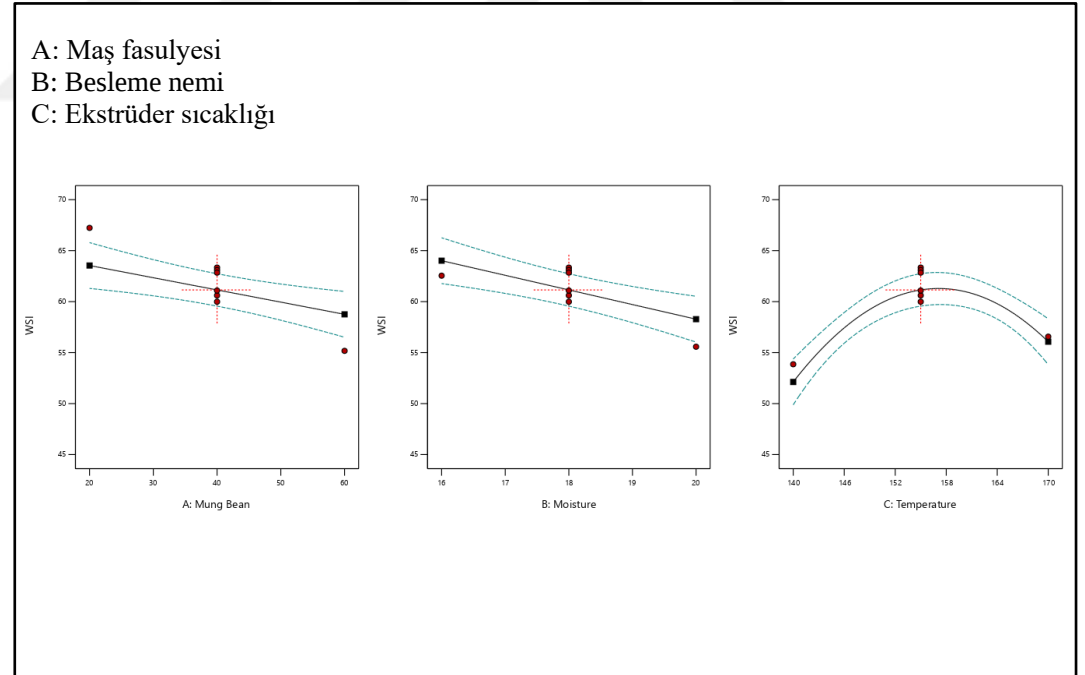
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ER_C	Between Groups	118.195	8	14.774	1436.490	.000
	Within Groups	1.090	106	.010		
	Total	119.286	114			
BD_C	Between Groups	.078	8	.010	375.117	.000
	Within Groups	.003	106	.000		
	Total	.081	114			

Ek 4.3 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların ER ve BD ANOVA tablosu

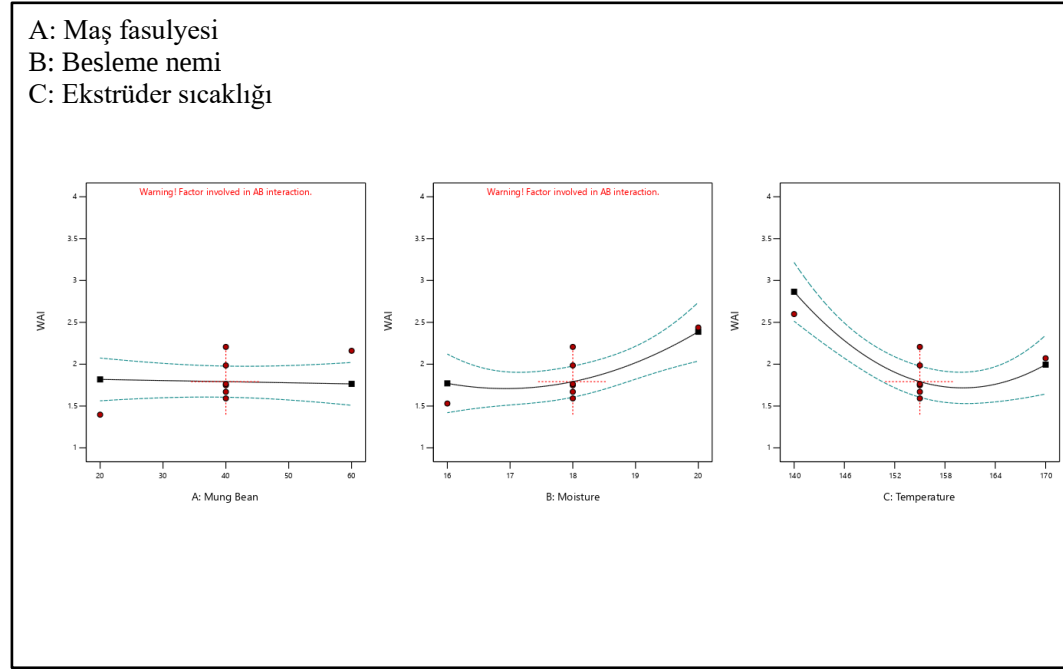
ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ER	Between Groups	187.769	14	13.412	813.164	.000
	Within Groups	3.002	182	.016		
	Total	190.771	196			
BD	Between Groups	.864	14	.062	204.906	.000
	Within Groups	.055	182	.000		
	Total	.919	196			

Ek 4.4 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların suda çözünürlük indeksi değerlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.5 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların su absorpsiyon indeksi değerlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.6 Maş fasuleysi içeren ekstrüde atıştırmalıkların WSI ve WAI ANOVA tablosu

ANOVA

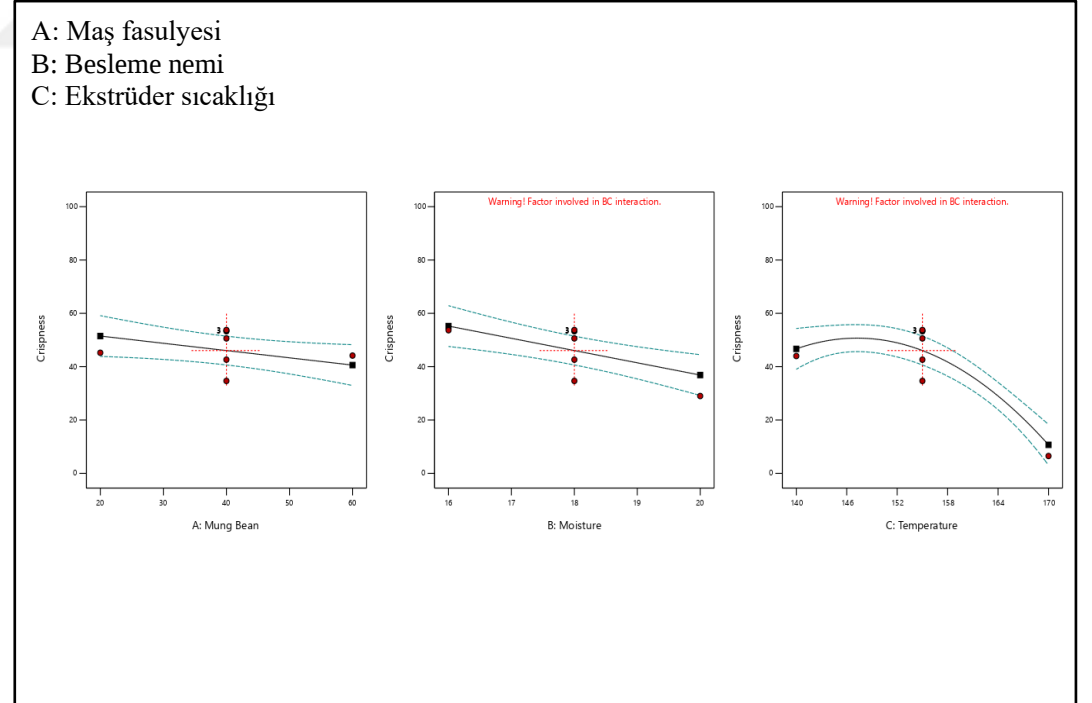
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
WSI	Between Groups	1114.681	15	74.312	27.719	.000
	Within Groups	64.342	24	2.681		
	Total	1179.023	39			
WAI	Between Groups	16.621	15	1.108	7.478	.000
	Within Groups	3.556	24	.148		
	Total	20.177	39			

Ek 4.7 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırma lıkların WAI ve WAI ANOVA tablosu

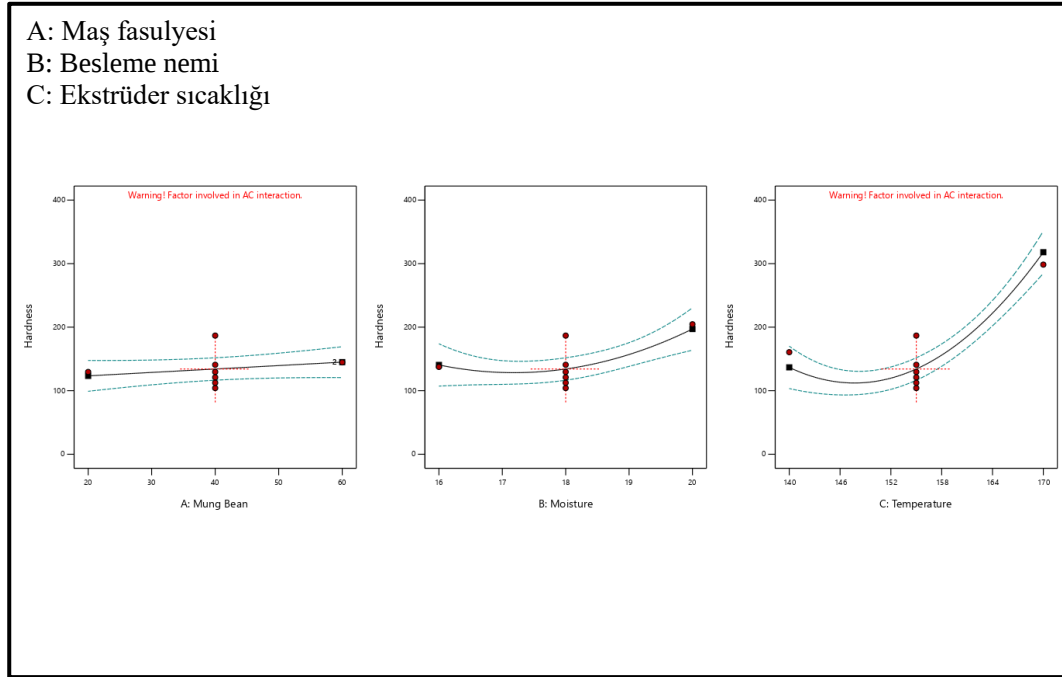
ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
WAI_C	Between Groups	14013.641	7	2001.949	86.955	.000
	Within Groups	345.342	15	23.023		
	Total	14358.982	22			
WSI_C	Between Groups	17943.289	7	2563.327	5325.003	.000
	Within Groups	7.221	15	.481		
	Total	17950.510	22			

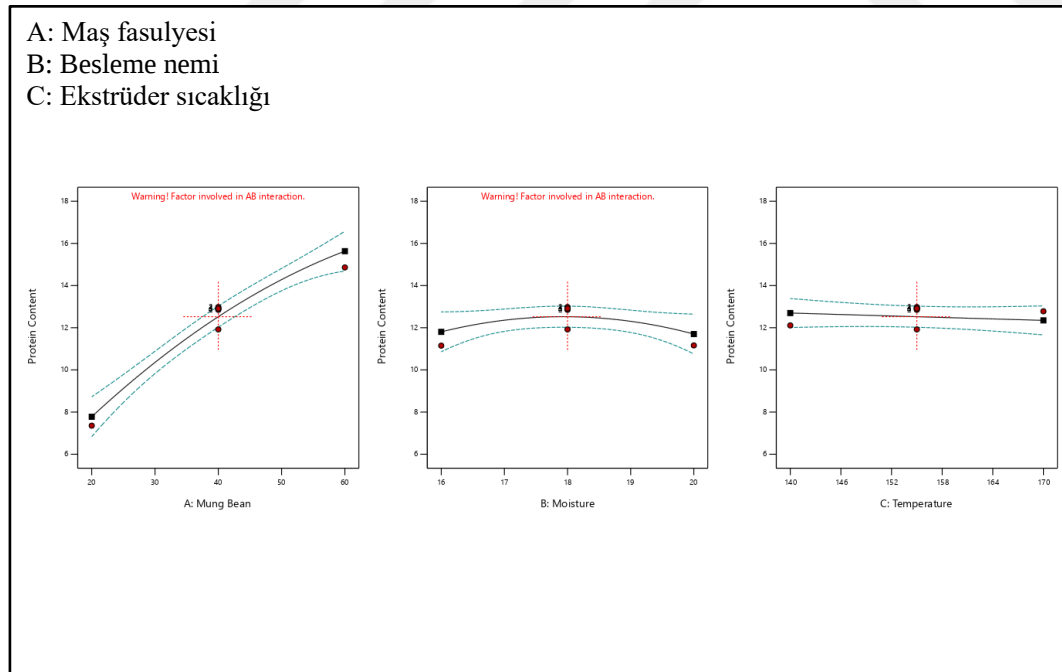
Ek 4.8 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırma lıkların gevreklik değ erlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.9 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların sertlik değerlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.10 Maş fasulyesi içeren ekstrüde atıştırmalıkların protein miktarı değerlerine ait tanılayıcı (diagnostik) grafikler



Ek 4.11 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların protein ve XRD ANOVA tablosu

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Protein_C	Between Groups	19.981	10	1.998	256.467	.000
	Within Groups	.086	11	.008		
	Total	20.067	21			
XRD_C	Between Groups	127.843	10	12.784	170.810	.000
	Within Groups	.823	11	.075		
	Total	128.666	21			

Ek 4.12 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların protein ve XRD ANOVA tablosu

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Protein	Between Groups	387.964	19	20.419	150.976	.000
	Within Groups	2.705	20	.135		
	Total	390.669	39			
XRD	Between Groups	98.791	19	5.200	100.148	.000
	Within Groups	1.038	20	.052		
	Total	99.829	39			

Ek 4.13 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların sertlik değerlerinin ANOVA tablosu

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	726504.145	10	72650.414	3.848	.000
Within Groups	1887970.946	100	18879.709		
Total	2614475.090	110			

Ek 4.14 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların sertlik değerlerinin ANOVA tablosu

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1377814.766	18	76545.265	645.552	.000
Within Groups	15058.821	127	118.573		
Total	1392873.587	145			

Ek 4.15 Maş fasulyesi unu içermeyen ekstrüde atıştırmalıkların gevreklik değerlerinin ANOVA tablosu

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	69987.443	10	6998.744	974.779	.000
Within Groups	560.027	78	7.180		
Total	70547.470	88			

Ek 4.16 Maş fasulyesi unu içeren ekstrüde atıştırmalıkların gevreklik değerlerinin ANOVA tablosu

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	53050.683	19	2792.141	356.035	.000
Within Groups	1058.714	135	7.842		
Total	54109.396	154			

Ek 4.17 Ekstrüde ürünlerin görüntüleri

