

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

FARKLI TAHİL UNLARINDAN GELİŞTİRİLEN EKSTRÜDE ÜRÜNLERİN
TEKNOLOJİK VE BAZI BESİNSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Arzu ÖZER

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2025

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI TAHIL UNLARINDAN GELİŞTİRİLEN EKSTRÜDE ÜRÜNLERİN TEKNOLOJİK VE BAZI BESİNSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Arzu ÖZER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Berrin ÖZKAYA

Bu çalışma kapsamında, çeşitli tahıllardan elde edilen tam tahıl unları kullanılarak daha besleyici, sağlıklı ve kabul edilebilir kalitede atıştırmalık gıda üretilmesi, ülkemizin tescilli tahıl çeşitleri olan kavuzsuz arpa (Yalın), siyah pirinç (Siyah 1) ile kavılca unu katkısının atıştırmalık mısır çerezinin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kontrol örneği olarak %100 mısır irmiğinden üretilmiş çerezler kullanılmış, diğer tahıllar tam un halinde iki farklı katma oranında (%30,100) mısır irmiğine katılarak paçallar hazırlanmış, iki farklı namlu sıcaklığı (120, 140°C) ve üç farklı besleme neminde (%14,16,18) üretimler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonunda elde edilen ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri incelendiğinde aynı sıcaklık ve farklı besleme nemi uygulamalarında besleme nemi arttıkça örneklerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ekstrüde ürünlerin renk değerleri incelendiğinde bütün katkılı örneklerde Maillard reaksiyonuna bağlı olarak kontrol örneğe kıyasla L* değerinde azalma gözlenmiş ve toplam renk değişimi (ΔE)'nin katma oranına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ekstrüde ürünlerin tekstür özelliklerinden olan sertlik değeri sonuçları incelendiğinde arpa unu katkısına bağlı olarak katma oranı arttıkça sertliğin arttığı, gevreklik değerinin ise düştüğü gözlemlenmiştir. Siyah pirinç ve kavılca unu katkılı örneklerde, her iki sıcaklıkta da besleme nemi artışıyla sertlik değerinde artma ve gevreklik değerinde azalma görülmüştür. Tam tahıl unu oranı arttıkça örneklerin toplam diyet lif ve toplam fenolik madde miktarı ile toplam antioksidan aktivite değerleri belirgin bir şekilde artmıştır. Ekstrüde ürünlerin mineral madde bileşimleri incelendiğinde ekstrüdatlardaki Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiştir. Örneklerin duyu özellikleri incelendiğinde tahıl unu katma oranının %30'un üzerinde olması genel kabul edilebilirliği düşürmüş, 120 °C sıcaklıkta, %14 besleme neminde üretim, en iyi duyu özellikleri sağlamıştır.

Mart 2025, 139 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ekstrüzyon pişirme, β -glukan, diyet lif, kavuzsuz arpa, kavılca, antioksidan, siyah pirinç

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL AND SOME NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF EXTRUDED PRODUCTS FORMULATED FROM VARIOUS CEREAL FLOURS

Arzu ÖZER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Berrin ÖZKAYA

Within the scope of this study, it was aimed to produce more nutritious, healthy and acceptable quality snack food by using whole grain flours obtained from various cereals, and to determine the effect of hullless barley (Yalın), black rice (Siyah 1) and kavlca flour, which are the registered cereal varieties of our country, on the functional properties of corn snacks. In the study, snacks produced from 100% corn semolina were used as a control sample, the other cereals were added to corn semolina in two different addition ratios (30,100%) as whole flour, and two different barrel temperatures (120, 140°C) and three different feeding moisture (14,16,18%) were used. When the expansion index and bulk density values of the products obtained at the end of the research were examined, it was observed that the expansion index and bulk density values of the samples decreased as the feed moisture increased at the same temperature and different feed moisture applications. When the color values of the extruded products were examined, a decrease in the L* value was observed in all additive samples compared to the control sample due to the Maillard reaction and it was determined that the total color change (ΔE) increased depending on the addition rate. When the results of the hardness value, which is one of the textural properties of the extruded products, were examined, it was observed that the hardness increased and the crispness value decreased as the addition rate increased due to the barley flour additive. In the samples supplemented with black rice and kavlca flour, hardness increased and crispness decreased with the increase in feed moisture at both temperatures. Total dietary fiber, total phenolic content and total antioxidant activity increased significantly with increasing whole grain flour content. When the mineral matter compositions of the extruded products were examined, the amounts of Mg, Al, K, K, Ca, Mn, Fe, Cu and Zn in the extrudates increased at all temperature values and feed moisture ratios depending on the whole grain flour addition rate. When the sensory properties of the samples were analyzed, cereal flour addition rate above 30% decreased the general acceptability, and production at 120 °C temperature and 14% feed moisture provided the best sensory properties.

March 2025, 139 pages

Key Words: Extrusion cooking, β -glucan, dietary fiber, hull-less barley, kavlca, antioxidant, black rice

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince güven ve anlayışla beni destekleyen, 2016 yılından beri en ufak bir anlaşmazlığa dahi düşmediğimiz sevgili danışmanım Sayın Prof. Dr. Berrin ÖZKAYA' ya (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), tez aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın hocalarım Prof. Dr. Aziz TEKİN (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Prof. Dr. Dilek SIVRİ ÖZAY' a (Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı), doktora tezimi vakit ayırıp değerlendiren ve bilgileriyle son halini vermeme yardımcı olan savunma jürisi üyeleri Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN (Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Prof. Dr. Hamit KÖKSEL'e (İstinye Üniversitesi Gıda Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı), ekstrüde ürün üretim aşamasında başından sonuna yanımda olan ve ekstrüzyon teknolojisini öğreten Recep YILDIRIM'a (Ry Teknoloji Makina Gıda SAN. TİC. LTD. ŞTİ.), üretim prosesi dahil birçok aşamada yardımcı olan ve bütün bildiklerini aktaran Dr. Oğuz ACAR'a (Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü), bütün çalışmalarımda büyük özveriyle bana eşlik eden ve büyük yardımları dokunan mesai arkadaşım Özcan SUÇIN'e, her zaman, her konuda desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Fatih Mehmet BÜLBÜL, Dr. Seda KÜLEN, Dr. Buket ÇETİNER, Dr. Asiye SEİS SUBAŞI, Dr. Nurel ARSLAN ÜNAL, Dr. Aliye PEHLİVAN, Emine KAYILI, Selahaddin ÖZARSLAN ve Mehmet TEMEL ile tüm bölüm personeline, her zorlukta koşulsuz fedakarlıklarını gördüğüm, hayatımın sonsuz güven ve huzur kaynakları annem Karanfil ÜNVER, babam Doğan ÜNVER ve canım kardeşim Aykut ÜNVER'e, hayatı birlikte yol alarak öğrendiğim ve her konuda desteğini hissettiğim değerli eşim Ahmet Can ÖZER ve doğduğu günden beri güneşi daha aydınlık, hayatı daha anlamlı ve yaşanılabilir kılan biricğim, gülen yüzüm, kızım Arya Nisan ÖZER'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından TAGEM/HSGYAD/A/22/A3/P6/5602 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Arzu ÖZER
Ankara, Mart 2025

Saygıdeğer hocam, rahmetli Doç. Dr. İlyas Çelik'e ithafen...

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Ekstrüzyon Teknolojisi.....	4
2.2 Ekstrüzyon Proses Parametreleri.....	7
2.3 Ekstrüde Ürünlerin Bazı Özellikleri	10
2.3.1 Fiziksel özellikler.....	10
2.3.2 Tekstür ve renk özellikleri.....	12
2.4 Tahılların Ekstrüzyonu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	13
2.5 Antik Buğday Grubu	19
2.5.1 Kavılca.....	21
2.6 Siyah Pirinç.....	23
2.7 Kavuzsuz Arpa	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1 Materyal.....	26
3.2 Yöntem	26
3.2.1 Ekstrüde ürünlerin üretimi	26
3.2.2 Tane analizleri	27
3.2.2.1 Bintane ağırlığı tayini	27
3.2.2.2 Hektolitreye ağırlığı tayini	28
3.2.2.3 Tane sertliği tayini.....	28
3.2.2.4 Tane iriliği (elek) tayini	28
3.2.3 Kimyasal analizler.....	28
3.2.3.1 Rutubet miktarı tayini	28
3.2.3.2 Kül miktarı tayini.....	28
3.2.3.3 Protein miktarı tayini	29
3.2.4 Fiziksel analizler.....	29
3.2.4.1 Genişleme indeksi tayini.....	29
3.2.4.2 Yığın yoğunluğu tayini.....	29
3.2.5 Renk analizi	30
3.2.6 Tekstür analizi.....	30
3.2.7 Besinsel analizler	31

3.2.7.1 Fitik asit ve fitat fosforu miktarı tayini.....	31
3.2.7.2 Toplam diyet lif miktarı tayini.....	31
3.2.7.3 Toplam fenolik madde miktarı tayini	32
3.2.7.4 Toplam antioksidan aktivite tayini.....	32
3.2.7.5 β -glukan miktarı tayini.....	32
3.2.7.6 Mineral madde tayini.....	32
3.2.7.7 <i>In vitro</i> mineral madde biyoyararlanım oranı.....	32
3.2.8 Duyusal analiz	33
3.2.9 İstatistik analiz	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
4.1 Kavuzsuz Arpa ve Siyah Pirinç Tanelerinin Bazı Özellikleri.....	34
4.2 Tahıl Unlarının Kimyasal ve Fonksiyonel Özellikleri	34
4.3 Ekstrüde Ürünlerin Fiziksel Kalite Özellikleri	36
4.3.1 Ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri	36
4.3.2 Ekstrüde ürünlerin renk değerleri	42
4.3.3 Ekstrüde ürünlerin tekstür özellikleri	47
4.4 Ekstrüde Ürünlerin Kimyasal Özellikleri.....	52
4.5 Ekstrüde Ürünlerin Fonksiyonel Özellikleri	57
4.5.1 Ekstrüde ürünlerin β -glukan, toplam diyet lif, toplam fenolik madde miktarları ve toplam antioksidan aktivite değerleri.....	57
4.5.2 Ekstrüde ürünlerin fitik asit ve fitat fosforu miktarları.....	66
4.5.3 Ekstrüde ürünlerin mineral madde miktarları.....	73
4.5.4 Ekstrüde ürünlerin <i>in vitro</i> mineral biyoyararlanım oranları.....	84
4.6 Ekstrüde Ürünlerin Duyusal Özellikleri.....	91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	110
KAYNAKLAR	113
EKLER.....	131
EK 1 Ekstrüde Ürün Görselleri	132
EK 2 Gallik Asit ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi	136
EK 3 Trolox ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi	136
EK 4 Trolox İnhibisyon Eğrisi	137
EK 5 Glikoz ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi	137
ÖZGEÇMİŞ.....	138

SİMGELER DİZİNİ

ΔE^*	Renk farklılığı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
μ	Mikron
a^*	Kırmızılık derecesi
b^*	Sarılık derecesi
dk	Dakika
g	Gram
hl	Hektolitire
J	Joule
kg	Kilogram
L^*	Parlaklık (açıklık)
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Newton
nm	Nanometre
s	Saniye
α	Alfa
β	Beta
Mg	Magnezyum
Al	Alüminyum
P	Fosfor
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Mn	Manganez
Fe	Demir
Cu	Bakır
Zn	Çinko
Se	Selenyum

Kısaltmalar

AACCI	Uluslararası Amerikan Hububat Kimyacıları Birliği
AOAC	Resmi Analitik Kimyacılar Birliği
CE	Kateşin Eşdeğeri
DPPH	2,2–difenil-1-pikrilhidrazil
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
FAE	Ferulik Asit Eşdeğeri
FDA	Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
GI	Glisemik İndeks
GOPOD	Glikoz oksidaz-peroksidaz
ICC	Uluslararası Hububat Bilimi ve Teknolojisi Birliği
KM	Kuru madde
P	Olasılık(Probability); İstatiktiksel Anlamlılık
pH	power of Hydrogen
PSI	Partikül İriliği İndeksi
TE	Troloks Eşdeğeri
SKCS	Single Kernel Characterization System
GI	Genişleme İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Prototip ekstrüde tahıl ürünleri	6
Şekil 2.2 Ekstrüzyon işleme sisteminin genel şeması.....	9
Şekil 2.3 Ekstrüde tam tahıl ürünleri ve sağlık üzerine yararları.....	19
Şekil 2.4 Kavılca (gernik) buğdayı ve yan ürünleri	22
Şekil 2.5 Siyah pirinç (Siyah 1)	23
Şekil 2.6 Kavuzsuz arpa (Yalın)	25
Şekil 3.1 Çift vidalı ekstrüder	27
Şekil 3.2 Çap ölçümü	29
Şekil 3.3 Hacim ölçümü.....	30
Şekil 3.4 Tekstür profili analizi.....	31
Şekil 4.1 120°C de, %14 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği	99
Şekil 4.2 120°C de, %16 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği ..	101
Şekil 4.3 120°C de, %18 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği ..	103
Şekil 4.4 140°C de, %14 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği ..	105
Şekil 4.5 140°C de, %16 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği ..	107
Şekil 4.6 140°C de, %18 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği ..	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Üretimde kullanılan ekstrüzyon sistem parametreleri	26
Çizelge 4.1 Arpa ve siyah pirinç örneklerinin fiziksel özellikleri	34
Çizelge 4.2 Mısır irmiği ve tahıl unlarının kimyasal ve fonksiyonel özellikleri	35
Çizelge 4.3 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri	37
Çizelge 4.4 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri	39
Çizelge 4.5 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri	41
Çizelge 4.6 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri	43
Çizelge 4.7 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri	45
Çizelge 4.8 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri	46
Çizelge 4.9 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri	48
Çizelge 4.10 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri	49
Çizelge 4.11 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri	51
Çizelge 4.12 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri	52
Çizelge 4.13 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri	55
Çizelge 4.14 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri	56
Çizelge 4.15 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin β -glukan, toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri	58
Çizelge 4.16 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri.....	63
Çizelge 4.17 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri.....	65

Çizelge 4.18 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit ve fitat fosforu içerikleri.....	67
Çizelge 4.19 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit ve fitat fosforu içerikleri.....	70
Çizelge 4.20 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit ve fitat fosforu içerikleri.....	72
Çizelge 4.21 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri.....	74
Çizelge 4.22 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri.....	75
Çizelge 4.23 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri.....	79
Çizelge 4.24 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri.....	80
Çizelge 4.25 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri.....	82
Çizelge 4.26 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri.....	83
Çizelge 4.27 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin <i>in vitro</i> mineral biyoyararlanım oranları	85
Çizelge 4.28 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin <i>in vitro</i> mineral biyoyararlanım oranları	88
Çizelge 4.29 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin <i>in vitro</i> mineral biyoyararlanım oranları	90
Çizelge 4.30 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri	92
Çizelge 4.31 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri	95
Çizelge 4.32 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri	97

1. GİRİŞ

Günümüzde aperatif veya atıştırılabilir gıda (snack food) endüstrisinde oldukça dikkat çekici bir büyüme ve genişleme potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca son yıllarda insan sağlığına katkıda bulunan gıda ürünlerinin geliştirilmesi konusu önem kazanmıştır. Ekstrüde tahıl bazlı atıştırılabilirler popüler ürünlerdir, ancak piyasadaki birçok atıştırılabilir şu anda yüksek tuz, yağ ve şeker içermekte olup, genel olarak düşük besin değerine sahiptir. Tüketiciler, gıdalarda artık sadece duyuşal olarak kabul edilebilirliği yeterli bulmayıp sağlık açısından da beklentiği yükseltirken, üreticiler de ham maddeleri değerlendireceği çok yönlü, düşük maliyetli ve çevre dostu olan üretim teknikleri arayışı içerisinde oldukları ve bu nedenle, 20. yüzyılın ortalarından itibaren gıda üretiminde tercih edilen yöntemlerden birisi de ekstrüzyon pişirmedir.

Ekstrüzyon pişirme, hammaddelerin ürüne dönüştürülmesinde kullanılmakta olan koşullar dikkate alındığında, gıda ve yem işleme yöntemleri arasında farklı bir işleme şeklidir. Gıda hammaddelerine farklı fiziksel ve kimyasal işlevsellik kazandırmak için tasarlanmış sürekli bir pişirme ve şekillendirme tekniğidir.

Gıda endüstrisinde nişastaları jelatinize etmek için ekonomik bir yöntem olarak geliştirilen ekstrüzyon pişiricileri özellikle son 30 yılda diğer endüstriyel pişirme metotlarının tersine; azalan üretim maliyetlerinin yanında kapasite artışı ile birlikte geniş bir gıda grubunu işlemek için geliştirilmektedir (Yıldırım ve Ercan 1996).

Ekstrüzyonla işleme yöntemi ile günümüzün yemek hazırlamak için zamanı çok kısıtlı olan tüketiciler için hızlı pişen veya hazır, besleyici değeri yüksek karışımlar, çok çeşitli gıda maddeleri üretilebilmektedir (Özer 2007).

İnsanlarda, yanlış beslenmeye bağlı olarak obezite, kolon kanseri, hemoroid, divertiküloz gibi bazı gastro intestinal veya kardio vasküler hastalıkların artması, bu hastalıklara yakalanmayı önleyen veya geciktiren ürünlere talebi artırmış, bunun sonucunda diyet lif başta olmak üzere bazı biyoaktif bileşiklerce zengin ürünlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar, tahılların önemli birer diyet lif

kaynağı olmaları yanında bazılarının, diğer fonksiyonel bileşiklerce de zengin olduklarını göstermiştir. Örneğin kavuzsuz arpa ve yulafın yüksek oranda β -glukan içerdiği, siyah pirinç ve diğer tahılların kabuk kısımlarının fenolik maddeler ve antioksidanlar bakımından zengin oldukları bilinmektedir (Lattimer ve Haub 2010, Laokuldilok vd. 2011, Ahmad vd. 2012, Blandino vd. 2015). Bu durum tahıl kepeklerinin ekmek başta olmak üzere bir takım unlu gıdalara katılarak değerlendirilme olanaklarını gündeme getirmiştir. Ancak tahıl kepeklerinin bu gibi gıdalarda bazı kalite sorunları meydana getirmeleri, bunların çerez gıdalar gibi başka alanlarda değerlendirilme çalışmalarını başlatmıştır.

Günümüzde çerez gıda, aperatif veya atıştırılabilirlik (snack food) denilen ürünlerin gıda sanayi içerisinde dikkat çekici bir büyüme içerisinde oldukları görülmektedir. Bunlar içerisinde de ekstrüde ürünler oldukça geniş yer tutmaktadır. Ekstrüde ürünler, uygun nem içeriği ve partikül boyutuna getirilmiş nişasta ve protein içeren materyalin, silindirik bir kanal içerisinde dönen sonsuz vida yardımıyla dar bir aralıktan çıkmaya zorlanması, bu esnada oluşan yüksek basınç ve sıcaklıkla şekil verilmesi ve aynı zamanda pişirilmesiyle elde edilen ürünlerdir (Thakur vd. 2000). Ekstrüde ürünlerin farklı şekillerde üretilebilmeleri, şekillendirilirken aynı zamanda pişirilmeleri, hızlı bir şekilde ve oldukça ekonomik olarak üretilebilmeleri, özel bir tekstür ve tada sahip olmaları, uygulama sırasında mikroorganizma faaliyeti durup enzimler inaktif olduğundan oldukça dayanıklı olmaları (Cheftel 1986, Tahvonen vd. 1998) ve fazla yağ içermemeleri gibi birçok avantajları vardır.

Gelişmiş toplumlarda obezite, kolon kanseri, hemoroid, divertiküloz, diyabet gibi hastalıkları önlemede diyet lifçe zengin gıdalara olan tüketici farkındalığı gün geçtikçe artmakta ve lif kaynağı olarak da tahıllar kullanılmaktadır. Değişik tahıllar arasında özellikle kavuzsuz arpanın önemli bir yeri olduğu bilinmektedir. Kavuzsuz arpa, bağışıklık sistemini güçlendirici etkisi klinik çalışmalarca kanıtlanmış β -glukan'ı yüksek oranda içerir ve diyet lif bakımından oldukça zengindir.

Antik buğday çeşitlerinden olan kavılca buğdayı ise kavuzlu buğday sınıfında yer almaktadır ve son yıllarda tüketicilerdeki bilinçlenme ve gelişen gıda endüstrisi ile

birlikte daha sağlıklı ve fonksiyonel ürünlerin tüketim alışkanlıklarında yerini almaya başlaması, bu buğday üzerine yapılan çalışmaları artırmıştır. En son tüketici beklentilerine ve gıda endüstrisinin çok sayıda fonksiyonel faydaya sahip unlu mamuller elde etmek için buğday dışı tahılları sunma eğilimine göre de arpa ve kavuzlu buğday çeşitlerinin kullanımı küresel olarak artmaktadır. Siyah pirinç de yine benzer şekilde içerdğı biyoaktif bileşenler bakımından son yıllarda dikkat çekmeye başlamıştır ve önemi giderek artmaktadır.

Çalışmada kullanılan kavuzsuz arpa, kavılca ve siyah pirinç unları özellikle tam tahıl olarak kullanıldığı durumlarda sahip olduğu vitamin, mineral, diyet lifleri ve bazı fito-kimyasal maddeler nedeniyle sağlık açısından olumlu etkilere sahiptir.

Bu çalışmada, ekstrüde mısır çerezi yapımında, çeşitli tahıllardan elden edilen tam tahıl unları katılarak daha besleyici, sağlıklı ve kabul edilebilir kalitede atıştırmalık gıda üretilmesi, ülkemizin tescilli tahıl çeşitleri olan Yalın (kavuzsuz arpa), Siyah 1 (siyah pirinç) ile kavılca unu katkısının atıştırmalık mısır çerezinin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, araştırmada kullanılan çeşitli tahıllardan elde edilmiş unlar ile bu unlardan üretilmiş ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, β -glukan, fitik asit, mineral, fenolik madde, antioksidan aktivite değerleri belirlenerek besinsel özellikleri tanımlanmış ve çeşitli tahılların ekstrüde ürün üretimindeki potansiyelinin araştırılarak atıştırmalık gıda pazarına alternatif fonksiyonel ürünler kazandırılması hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Ekstrüzyon Teknolojisi

Ekstrüzyon teknolojisi, karıştırma, şekillendirme, doku oluşturma ve pişirme yöntemlerini kullanarak yeni bir gıda ürünü geliştiren ve küresel tarım-gıda işleme endüstrisinde giderek daha fazla popülerlik kazanmakta olan bir teknolojidir. Ekstrüzyon pişirme, enzimleri inaktive eden ve mikrobiyal kontaminasyonu azaltan yüksek sıcaklıkta kısa süreli bir işlemdir. Ekstrüzyon pişirme, geleneksel pişirmeye kıyasla yüksek verimlilik ve önemli besin maddesi koruma sağladığı için genellikle tercih edilmektedir. Ekstrüzyon teknolojisi, diğer işleme yöntemlerine göre birçok avantajı ile gıda işleme endüstrilerinde önemli bir teknik haline gelmiştir. Bu yöntem maliyet etkin yöntemlerden biri olup farklı gıda gruplarından çeşitli ürünlerin işlenmesi için küçük veya büyük bileşenleri ve işleme koşullarını değiştirerek bir model sunmaktadır. Ekstrüzyon teknolojisi, gıda işleme endüstrisinde çeşitli atıştırmalıklar, makarna, kahvaltılık gevrekler, evcil hayvan mamaları, takviye gıdalar ve diğer dokulu gıdaların geliştirilmesi için uygulanmaktadır. Gıda işleme yan ürünlerini ve kalıntılarını gıda akışına geri entegre etmek için ekonomik bir teknolojidir. Ekstrüzyon teknolojisinin çok yönlülüğü, besin açısından zengin fortifiye ürünlerin ve farklı ucuz hammaddelerin kombinasyonu ile katma değerli ürünlerin geliştirilmesini kolaylaştırır. Ekstrüde ürünlerin nem içeriği daha düşük, raf ömrü daha uzun ve mikrobiyolojik olarak güvenlidir. Ürünün çeşitliliği ve yüksek kalitesi, yeni gıdaların verimliliği ve minimal işleme süresi bu teknolojinin avantajlarıdır (Choton vd. 2000).

Nesil değiştikçe, yaşam tarzındaki değişiklikler ve sınırlı boş zaman, yiyecekler konusunda birçok davranış değişikliği getirmiştir. Günümüzde tüketiciler, besin açısından zengin ve terapötik faydaları olan, pratik hazır yemek ve pişirmeye hazır yiyecekleri tercih etmektedir. Bu nedenle, tüketici talebini karşılamak için ekstrüzyon teknolojisi kullanılmaktadır. Ekstrüzyon teknolojisi, maliyeti düşük yöntemlerden biri olduğu için gıda işleme endüstrilerinde önemli bir teknik haline gelmiştir. Ekstrüzyon teknolojisi, nemlendirilmiş, nişastalı ve proteinli maddelerin işlendiği süreç olarak tanımlanır (Choton vd. 2000).

Ekstrüzyon ile pişirmede; uygun nem içeriği ve partikül boyutuna getirilmiş nişasta ve protein içeren karışımlara, silindir bir kanal içerisinde dönen sonsuz vida yardımıyla mekanik kayma gerilimi, yüksek basınç ve sıcaklık altında şekil verilmektedir. Bunun sonucunda nişasta granülleri su absorblayarak jelatinize olurken proteinler denatüre olmakta ve maddenin yapısı tamamen değişmektedir (Thakur ve Saxena 2000). Ayrıca, kullanılan kısa süreli-yüksek sıcaklık mikrobiyal kontaminasyonu azaltırken, enzimleri inaktive etmekte ve besin öğelerinin kaybını en aza indirmektedir (Tahvonen vd. 1998). Isıl işlemin faydalarının yanı sıra, ekstrüzyon gıda ingrediyenlerinin fonksiyonel özelliklerini çeşitlendirmekte ve/veya tekstür kazandırmaktadır (Cheftel 1986).

Ekstrüzyon, bir plastiğin veya hamurumsu materyalin yüksek sıcaklık ve/veya basınçta istenen şekli vermek için kuvvet uygulanarak kalıptan geçirme işlemi olarak tanımlanabilir. Kovan içinde, materyal kalıba yaklaştığında ekstrüde ürünü kalıp içinden dışarı doğru itmeye yetecek sıcaklık ve basınç artışı olur (Rokey 2000).

Kısacası, ekstrüzyonla pişirme tekniği nişastalı ve proteinli materyali yüksek sıcaklık ve kısa süre içinde patlamış çerez olarak yemeye hazır ürüne dönüştüren yöntem olarak da tanımlanabilir (Choudhury vd. 2014). Ekstrüzyon teknolojisi, atıştırmalık çerezler ve kahvaltılık gevrekler de dahil olmak üzere çok çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılır (Bailey vd. 1991, Wang vd. 2012).

Gıda endüstrisinde nişastaları jelatinize etmek için ekonomik bir yöntem olarak geliştirilen ekstrüzyon pişiricileri özellikle son 30 yılda diğer endüstriyel pişirme metotlarının tersine; azalan üretim maliyetlerinin yanında kapasite artışı ile birlikte geniş bir gıda grubunu işlemek için geliştirilmektedir (Yıldırım ve Ercan 1996). Ekstrüzyon süreci çok yönlü, yüksek verimli, düşük maliyetli, enerji açısından verimli ve atık su içermemektedir (Maskan ve Altan 2016). Ekstrüde ürünler arasında erişte ve makarna gibi gıda ürünleri, kahvaltılık tahıllar, bebek mamaları ve atıştırmalık yiyecekler bulunmaktadır (Bouvier ve Campanella 2014). Şekil 2.1’de ekstrüzyon işlemiyle üretilen bazı yaygın ekstrüde tahıl ürünleri görülmektedir.



Şekil 2.1 Prototip ekstrüde tahıl ürünleri

Ekstrüderler, 1870'lerde sosis üretimi için geliştirilmiştir. Tek vidalı ekstrüder, 1930'larda ve makarna ürünleri yapmak için irmik unu ve suyu karıştırmak amacıyla kullanılmaktaydı. Ayrıca, tek vidalı ekstrüder sıcak ve önceden pişirilmiş hamuru şekillendirmek için hazır yemeklik tahılların yapım sürecinde de kullanıldı. İkili vida ekstrüzyon teknolojisinin bir uygulaması üzerine ilk patent, 1950'lerin ortalarında alınmıştır. O zamandan beri, gıda işleme alanında ekstrüzyon teknolojisinin uygulanması ilerlemiş, genişlemiş ve hızlı bir şekilde büyümüştür (Rao ve Thejaswini 2015).

Bir gıda ekstrüderi, gıda ingrediyanleri için şekillendirme ve yeniden yapılandırma prosesini sağlayan cihazdır. Gıda ekstrüderleri, kesme kuvveti altında yüksek sıcaklık ve kısa sürede, düşük nem içeriklerinde gıda karışımlarını işleyen sürekli kimyasal reaktörler olarak görülür (Cheftel 1986). Ticari gıda üretiminde sıklıkla kullanılan ekstrüder çeşitleri tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderlerdir. Çift vidalı ekstrüderler aynı kovana yerleştirilmiş eş uzunluğa sahip iki vidadan oluşmaktadır. Bu tipteki ekstrüderler esnek konfigürasyon tasarımına imkân sağlamasından, çok yönlülüğünden ve daha iyi proses kontrolü sağlamasından dolayı gıda endüstrisinde daha geniş uygulama alanına sahiptir (Ainsworth vd. 1997).

Eğer gıda 100°C'nin üzerinde ısıtılırsa bu işlem ekstrüzyon pişirme (veya sıcak ekstrüzyon) olarak bilinir. Burada sürtünme ısısı ve kullanılan herhangi bir ek ısıtma, sıcaklığın hızla yükselmesine neden olur. Gıda daha sonra varilin en küçük kanatlara sahip bölümüne geçirilir ve burada basınç ve kesme daha da artırılır. Son olarak, gıda

kalıptan basınç altında çıkarken varilin boşaltma ucundaki bir veya daha fazla kısıtlı açıklıktan (kalıp) geçmeye zorlanır, nihai şekle doğru genişler ve nem buhar olarak dışarı atılırken hızla soğur. Çubuklar, küreler, çörekler, tüpler, şeritler, girdaplar veya kabuklar dahil olmak üzere çeşitli şekiller oluşturulabilir. Tipik ürünler arasında çok çeşitli düşük yoğunluklu, genişletilmiş atıştırılabilir gıdalar ve yemeye hazır şişirilmiş tahıllar bulunur. Gıdanın sıcaklığının ortam sıcaklığında kaldığı soğuk ekstrüzyon, makarna ve et ürünleri gibi gıdaları karıştırmak ve şekillendirmek için kullanılır. Düşük basınçlı ekstrüzyon, 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda, örneğin meyan kökü, balık ezmeleri, surimi ve evcil hayvan gıdaları üretmek için kullanılır (Bordoloi ve Ganguly 2014).

Ekstrüzyon ile pişirme teknolojisi, diğer geleneksel gıda üretim yöntemleriyle karşılaştırılınca birçok avantaja sahip olmasından dolayı özellikle tahıl içerikli çerez tipi veya benzeri gıdaların üretiminde uzun süreden beri popülerliğini korumaktadır. Ekstrüderlerin ürünleri olan tahıllar, nişasta bakımından zengindir. Son üründe arzu edilen genleşmiş yapı ve tekstürün sağlanmasında ana madde olan nişastanın rolü önemli bulunmaktadır (Moore 1999). Nişasta oranları fazla olan tahıllar, ekstrüde çerez tipi gıdaların üretiminde başlıca hammadde olarak kullanılmaktadır (İbanoğlu vd. 2006).

2.2 Ekstrüzyon Proses Parametreleri

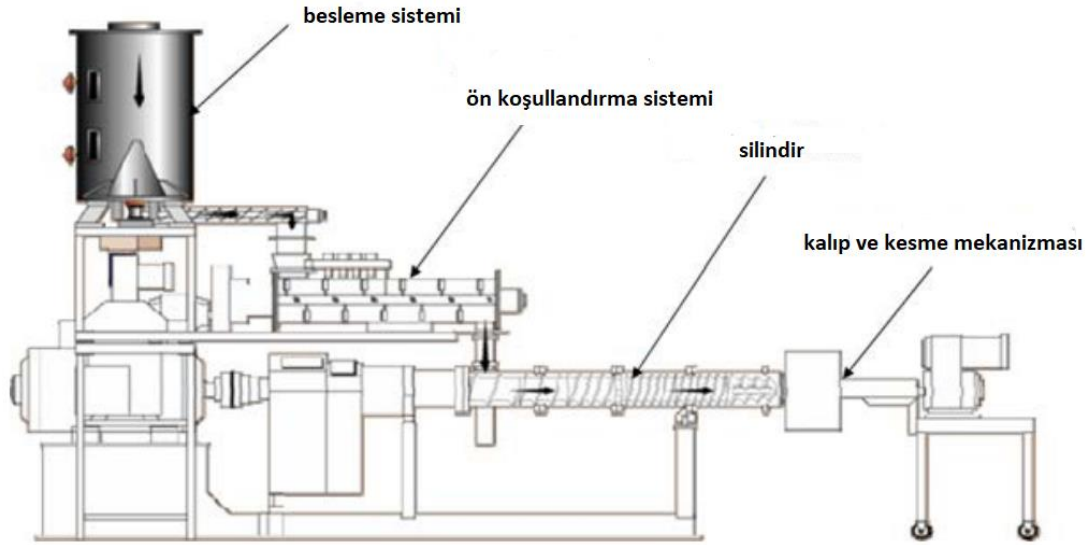
Ekstrüzyon, birçok birim operasyonunu tek bir işlemde birleştiren çok yönlü bir işleme teknolojisidir. Sürekli bir işleme sistemidir ve gıda maddelerini işleme sırasında iletme, karıştırma, kesme ve pişirme (dönüştürme) yeteneğine sahiptir. Ekstrüzyon, çeşitli birim operasyonlarını tek bir sistemde birleştirdiği için "entegrasyonlu işleme teknolojisi" olarak adlandırılabilir e eşsiz bir teknolojidir (Ek ve Ganjyal 2020).

Besleme malzemeleri tipik olarak yüksek basınç koşulları altında yüksek kesme ve yüksek sıcaklık nedeniyle fazlarını bir köpük benzeri kıvamlı bir yapı (melt) formuna dönüştürür. Bu yapı son olarak kalıp içerisinden itilir. Kalıptan çıkarken atmosferik koşullara maruz kalır. Bu noktada, ani basınç düşüşü ve üfleme maddelerinin (örneğin su) buharlaşması nedeniyle yapı genişler (Moraru ve Kokini 2003). Buharlaşmaya ek olarak, malzemelerin kalıp genişlemesi özellikleri de genişleme sürecinde rol oynar

(Launay ve Lisch 1983; Kokini vd. 1992; Moraru ve Kokini, 2003; Kristiawan vd. 2016). Malzemenin kalıptan çıktığı andaki bu genleşme süreci “doğrudan genleşme” süreci olarak adlandırılır.

Araştırmalar, mekanik geçmişi ve malzemenin ekstrüderde kalma süresini kontrol eden değişkenlerin (vida hızı, ilerleme hızı ve kalıp geometrisi) önemi konusunda artan bir farkındalığa yol açmıştır (Owusu-Ansah vd. 1983). Bitmiş ürünlerin kalitesi için çeşitli ekstrüzyon işleme koşulları hesaba katılmaktadır. İlerleme hızı, vida hızı, kovan sıcaklığı ve kovan basıncının kontrolü, yukarıda belirtilen kritik parametrelerle birlikte, ürünün başarısını etkileyecek gevreklik, sertlik ve diğer çeşitli özellikleri belirlemektedir (Harper 1981). Ekstrüzyon sırasında yüksek sıcaklık ve büyük kesme kuvvetleri biyopolimerlerin dördüncül ve üçüncül yapılarının bozulmasına neden olur ve gıda bileşenleri arasındaki etkileşimleri destekler. Artan nem, kesme yükünü azaltarak ekstrüderdeki gıda materyalinin reolojik davranışını etkiler (Harper 1988). Düşük nemli ekstrüzyon, ekstrüdatın genleşmesini artırır (Davidson vd. 1984; Miller 1985). Tahıl nişastalarından elde edilen ekstrüdatların yapısal karakterizasyonu, bu malzemelerin makromoleküler bozulmaya uğradığını (Colonna ve Mercier 1983), akışkanlaşmış madde reolojisinde (Vergnes ve Villemare 1987) ve suda çözünürlük (Fitton 1986), su emilimi ve dağılma viskozitesi (Doublier vd. 1986) gibi ürün fonksiyonel özelliklerinde değişiklikler olarak yansıdığını göstermiştir.

Ekstrüderler beş ana parçadan oluşur: (i) ön koşullandırma sistemi; (ii) besleme sistemi; (iii) vida; (iv) silindir; (v) kalıp ve kesme mekanizması Şekil 2.2’de görülmektedir. Vida, silindir ve kalıp konfigürasyonuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu maddelerin her birinin seçimi, kullanılan hammaddeye ve istenen nihai ürüne göre değişmektedir (Riaz 2000).



Şekil 2.2 Ekstrüzyon işleme sisteminin genel şeması

Ekstrüderin her bir bileşeni, sistemin düzgün çalışmasına katkıda bulunmaktadır. Yeni nesil ekstrüderler, genellikle yüksek sıcaklık ve kısa süreli pişirme sistemleri olup, doku, besin maddelerinin korunması, nişasta ve protein sindirilebilirliğinin iyileştirilmesi, antinutrientlerin azaltılması ve işlevselliğin artırılması gibi geniş bir ürün kalitesi yelpazesi sunmaktadır (Ek ve Ganjyal 2020).

En önemli ekstrüzyon proses parametreleri besleme formülasyonu, besleme nem içeriği, besleme oranı, vida hızı, namlu sıcaklığı, vida konfigürasyonu ve namlu çıkış kalıbı geometrisidir. Çoğu ekstrüder uygulamaları için, genellikle basınç, sıcaklık ve motor torku dolaylı olarak ürün kalitesini izlemek amacıyla ölçülen proses çıktıları olarak kullanılmaktadır (Guy 2001).

Ekstrüzyon namlu sıcaklığı, ekstrüde ürünün kalitesini belirleyen diğer önemli parametrelerden biridir. Mahungu vd. (1999) mısır/soya karışımında izoflavon profilinin büyük ölçüde ekstrüzyon namlu sıcaklığından etkilendiğini, bunu izoflavon içeriğindeki küçük değişikliklerle nem içeriğinin izlediğini gözlemlemiştir.

Besleme hammadde bileşimi, ara proses değişkenlerini etkileyen baskın bir parametredir. Ekstrüzyon koşulları, nişasta granülünün özellikleri, protein, lifler ve

şekerler gibi diğer bileşenlerin varlığı dönüşüm derecesini doğrudan etkiler (Chanvrier vd. 2007). Matz (1993), şişirilmiş atıştırmalıkların ekstrüzyonla pişirilmesi sırasında malzemenin partikül boyutunun önemini bildirmiştir. Huber ve Rokey (1990), ince granülasyonun yumuşak dokulu bir ürüne, kaba unun ise daha gevrek bir ürüne yol açtığını ifade etmişlerdir.

2.3 Ekstrüde Ürünlerin Bazı Özellikleri

2.3.1 Fiziksel özellikler

Ekstrüde gıdaların genleşmesi, özellikle atıştırmalık gıda ve tüketime hazır tahıl endüstrilerinin ilgi alanına girmektedir. Bununla birlikte, nişasta bazlı ekstrüdatların hem radyal hem de boylamsal genleşmeleri ekstrüzyon pişirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bir gıda ekstrüzyon pişirme prosesinde, ürün genleşmesi, yani ekstrüdat genleşmesi, ürün kalitesini tanımlayan ve pişirme derecesiyle doğrudan ilişkili olan temelde önemli bir özelliktir. Ekstrüdat genleşmesini tanımlamak için birçok teori ve model önerilmiştir (Alvarez-Martinez vd. 1988; Tayeb vd. 1992; Bruin ve Jongen 2003; Moraru ve Kokini 2003). Bazı araştırmacılar ekstrüdat genleşmesini açıklamak için proses operasyon parametreleri ve hammadde bileşimleri üzerinden ampirik regresyonlar kullanmaktadır (Cai ve Diosady 1993; Ding vd. 2006).

Besleme malzemesinin nem içeriği arttığında, mısır tanelerinin ekstrüzyonu sırasında özgül mekanik enerji (SME), görünür viskozite ve genişleme indeksinde azalma olur. Parsons vd. (1996), ekstrüzyon nem içeriği %19.5'ten %21.5'e (w/w) çıkarıldığında mısır ununun genişleme indeksinde bir düşüş olduğunu bildirmiştir. Kokini vd. (1992) ve Della Valle vd. (1997), nem içeriğinin artmasıyla hacimsel genleşmedeki keskin düşüşü, maksimum genleşmeden sonra ekstrüdatın büzülmesi ve çökmesi ile açıklamıştır. Çoğu çalışma, jelatinleştirilmiş nişastanın ekstrüde eriyiğine gaz tutma kapasitesi sağlayarak genleşmede önemli bir rol oynadığını, proteinler, şekerler, yağlar ve lif gibi diğer bileşenlerin ise nişastalı matrisin gerilebilirliğini azaltan seyrelticiler veya dağınık faz dolgu maddeleri olarak hareket ettiğini kabul etmektedir. Conway (1971) iyi bir genleşme için nişasta içeriğinin alt sınırının %60-70 olduğunu bildirmiştir.

Besleme malzemesinin nem içeriği azaldıkça, vidanın dönme hızı, genleşme oranı ve kovan sıcaklığı artar. Ekstrüde gıda ürününün genleşme oranı, besleme nemi arttığında keskin bir şekilde azalır (Pathania vd. 2013). Nem içeriği ile birlikte kovan sıcaklığı, vida hızı yaklaşık tüm ekstrüde ürünlerin genleşme oranını etkilemektedir. Girdilerin daha yüksek nem içeriği, genleşme oranında önemli bir düşüşe neden olmaktadır (Oke vd. 2013). Vida dönüş hızındaki ve kovan sıcaklığındaki artışın, nem içeriğindeki artışa bağlı olarak yüksek genleşme ve düşük genleşme ile sonuçlandığı bildirilmiştir (Kothakota vd. 2013).

Yoğunluk, ekstrüdatın genel bir özelliğidir ve malzeme parametrelerinin yanı sıra işlemenin etkisi olarak ekstrüdatta gelişen hücre yapısındaki, gözeneklerdeki ve boşluklardaki genel genişlemeyi ve değişiklikleri gösterir. Ekstrüdatların yoğunlukları çeşitli araştırmacılar tarafından farklı tanımlamalarla ölçülmüş ve tanımlanmıştır (Patil vd. 2005). Ekstrüdatların yoğunluk özelliklerini ölçmenin en basit yöntemi Balandran-Quintana vd. (1998) tarafından belirtilmiştir. Bu ölçüm için 40-60 mesh toz ekstrüdat, hacmi bilinen silindirik bir kaba dökülmüştür. Fazlalıklar kazandıktan sonra miktar tartılmış ve yoğunluk, birim hacim başına toz ağırlığı olarak ifade edilmiştir. Abdel vd. 1992, Guha vd. 1997 ve Carrillo vd. 2000 benzer bir yaklaşım izlemişlerdir. Tartılan 5 ila 8 cm uzunluğundaki ekstrüdat parçalarının titreşimli bir besleyicinin tabanına sıkıca tutturulmuş darası alınmış 250 mL'lik dereceli bir silindire yerleştirildiği bir başka yöntem Edwards vd. 1994 ve Liu vd. 2000 tarafından rapor edilmiştir. Silindir titreştirilirken, yoğunluğu bilinen kuru kum, bir dakika içinde tam olarak dolacak şekilde eşit oranda eklenmiştir. Ekstrüdat tarafından işgal edilen hacim, yer değiştiren kumun ağırlığından ve yığın yoğunluğu da hacim ve ürünün ağırlığından hesaplanmıştır. Yığın yoğunluğu aynı numuneden alınan iki alikot üzerinde ölçülmüş ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

Bazı araştırmalarda kum yerine çapı ve yoğunluğu bilinen cam boncuklar kullanılmıştır. Ali vd. (1996) ile Sokhey ve Hanna (1997) tarafından Hwang ve Hayakawa (1980) tarafından verilen yöntem temel alınarak cam boncuklarla basitleştirilmiş bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde dolgu maddesi olarak çapları 1.00 mm ila 1.05 mm arasında

değişen cam boncuklar (Braun Malsungen AG, Almanya) kullanılmış, ancak titreşime gerek duyulmamıştır. Her biri 2.5 cm uzunluğunda on iki parça ekstrüdat alınmış ve üç parça 500 ml'lik paslanmaz çelik bir silindire (7.4 cm çapında ve 11.8 cm yüksekliğinde) yerleştirilmiş ve ekstrüdat parçalarının üzerini örtecek kadar cam boncuk dökülmüştür. İçindekiler ahşap bir masaya 12 kez hafifçe vurulmuştur. Üç parça daha silindire yavaşça yerleştirilmiş, daha fazla cam boncukla kaplanmış ve tekrar 12 kez vurulmuştur. Bu prosedür 12 ekstrüdat parçasının tamamı kullanılana ve silindire toplam 60 kez vurulana kadar tekrarlanmış ve silindirin içine taşana kadar tekrar cam boncuklar dökülmüştür.

Ekstrüde gıda ürününün yoğunluğu nem içeriği, sıcaklık ve vida hızı gibi serbest faktörlerden etkilenir ve bu da genleşme oranıyla ters orantılıdır. Vida dönüş hızındaki ve kovan sıcaklığındaki artış, ekstrüde gıda ürününün yığın yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadır. Ekstrüde gıda ürününün yüksek nem içeriği de ekstrüde ürünün yığın yoğunluğunu etkilemiştir. Ekstrüde pirincin yığın yoğunluğu değerinin, nişastanın jelaletleşmesi ve 20.1 ila 32.6 rpm arasındaki düşük vida dönüş hızı nedeniyle arttığı bildirilmiştir (Hagenimana vd. 2006). Sahagun ve Harper (1980) da mısır ve soya fasulyesi üzerinde yaptıkları araştırmada aynı sonucu gözlemlemişler ve besleme sıcaklığı ile birlikte vida hızının ekstrüde ürünün yığın yoğunluğu üzerinde etkisi olacağını rapor etmişlerdir.

2.3.2 Tekstür ve renk özellikleri

Ekstrüdatın tekstürü, yemeye hazır atıştırmalık ürünler için çok önemli bir fiziksel özelliktir ve büyük ölçüde ekstrüzyon için kullanılan karışımın hammaddesinin bileşimine bağlıdır. Karışımın içerik bileşimi ve nem içeriği, nihai ekstrüdatın dokusunu etkileyen ana faktörlerdir. Ekstrüde malzemeler yüksek oranda higroskopiktir ve bu nedenle nemli atmosfere maruz kaldıklarında dokuları etkilenir. Bu özellik, proses parametrelerinin etkisini ayırt etmek için önemlidir. Gıdaların tekstürel özellikleri, Instron Sıkıştırma Testi ve Tekstür Analizörü gibi kuvvet deformasyon ölçüm cihazları ile ölçülür. Sertlik, bir maddeyi azı dişleri arasında (katılar için) veya dil ile damak arasında (yarı katılar için) sıkıştırmak için gereken kuvvet olarak tanımlanır (Bourne 1982). Madde belirli bir deformasyona veya penetrasyona kadar sıkıştırılır ve bu da

yumuşak, sert veya katı olarak belirlenir. Bu test özellikle çıtırılığın arzu edilen bir özellik olduğu atıştırmalık gıdalar için önemlidir.

Protein, tuz, şeker, sıvı ve katı yağlar, vitamin ve mineraller, emülgatörler ve bazı lif kaynakları gibi ingrediyepler, ekstrüzyon pişirme teknolojisinde nihai ürünün fiziksel, duyuşal ve besinsel özelliklerini değiştirmek/iyileştirmek amacıyla formülasyonlara ilave edilmektedir. Nişasta, ekstrüzyon ürünlerinin genişleme oranları, gözenek yapıları ve gözenek iriliği dağılımı ile tekstürel özelliklerinde önemli rol oynamaktadır (Chinnaswamy ve Hanna 1988).

Tahılların sertliği, her ekstrüzyon sıcaklığı için nem içeriğiyle birlikte artmaktadır. Genel olarak, ekstrüde tahılın sertliği, sertliğin sıkıştırma modülü ve ezilme gerilimi gibi enstrümental olarak ölçülen mekanik özelliklerle temsil edildiği ekstrüde ürünlerle ilgili çeşitli çalışmalarda gözlemlendiği gibi, ekstrüde genişmesi ile ters bir ilişki sergilediği bildirilmiştir. Sertlik, ekstrüdatların genişmesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. (Aguilar-Palazuelos vd. 2006).

Ekstrüdatın rengi, ekstrüzyon malzemesi olarak kullanılan bileşenlerdeki değişikliklere ve prosesin yüksek pişirme sıcaklığı sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara göre değişir. Renk, gıda ürünlerinin kabul edilebilirliği ile doğrudan ilişkili önemli bir kalite faktörü olduğundan, renk ölçümü ekstrüde ürünler için raporlanması gereken önemli bir fiziksel özelliktir. Birçok araştırmacı Minolta CR-210 Chroma Meter kullanarak öğütölmüş ekstrüdatların rengini rapor etmiştir (Jin vd. 1994; Matthey ve Hanna, 1997; Lemuz vd. 2002). L, a, b değerleri standart olarak beyaz bir plaka ile kaydedilmiştir. Renk ölçümü için genellikle 2-10 ölçüm yapılmıştır (Jin vd., 1994; Li ve Lee, 1996; Thiebaud vd., 1996).

2.4 Tahılların Ekstrüzyonu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Döngüsel ekonomi bağlamında, işleme tekniklerindeki son teknolojik gelişmeler sayesinde, gıda işleme yan ürünlerini yararlı içerik maddelerine dönüştürme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Ekstrüde edilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklar popüler ürünlerdir, ancak

piyasadaki birçok atıştırılmalık şu anda tuz, yağ ve şeker içeriği bakımından yüksektir ve genel olarak düşük besin değerine sahiptir. Son yıllarda sağlıklı ve sürdürülebilir diyetlerin büyümesi ve tüketicilerin diyet, sağlık ve çevre arasındaki bağlantıları daha iyi anlamasıyla, yeni, sağlıklı ve çevre dostu ekstrüde atıştırılmalıkların geliştirilmesi çalışmaları hızlanmıştır (Grasso 2020).

Cipsler ve çıtır atıştırılmalıklar, sık sık ve öğle yemeğinin bir parçası olarak yenen ve hane halkının % 90' ının tükettiği Birleşik Krallık temel gıdaları arasındadır (Mintel 2018b). Birleşik Krallık' ta yapılan yakın tarihli bir ankete göre (Mintel 2018a), insanların %96' sı (16 yaş üstü 2000 internet kullanıcısına göre) atıştırılmalık tüketmektedir ve bu insanların da % 69' u günde bu atıştırılmalıklardan en az bir kez atıştırmaktadır.

Halkın sağlık bilincindeki son yıllardaki artışla birlikte, halk sağlığı kampanyaları geliştirilmiş ve beslenme kılavuzlarıyla da desteklenmiştir. 2015 yılında, Beslenme Bilimsel Danışma Komitesi önerilen günlük lif alımını 30 g' a çıkarmıştır. Ancak yetişkinlerdeki ortalama alım miktarı günlük yaklaşık 18 gramdır (SACN, 2015). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) sırasıyla en az %3 veya en az %6 lif içeren gıdalar için ambalaja “lif kaynağı” ve “yüksek lif” içeren gıda yazılmasına izin vermektedir (EFSA 2012). Tüm bu nedenlerden ötürü, pazardaki atıştırılmalıkların beslenme kalitesini iyileştirmeye yönelik artan bir ilgi vardır ve endüstri, tadı kabul edilebilir seviyede, daha sağlıklı ve kalorisi azaltılmış atıştırılmalıklar geliştirmeye çalışmaktadır. Bu bağlamda, ekstrüde atıştırılmalıkların beslenme kalitesinde iyileştirmeler, kalorisi düşük ancak zengin antioksidan, diyet lifleri, mineraller ve esansiyel yağ asitleri kaynakları olan tahıl unları ve gıda endüstrisi yan ürünleri kullanılarak sağlanabilmektedir (Maskan ve Altan 2016).

2014 yılında yapılan bir araştırmada, mısır ununa %15, 30 ve 45 oranlarında rafine kavuzsuz arpa unu ilave edilerek yapılan ekstrüde ürünlerin β -glukan içerikleri ve fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonunda en yüksek β -glukan içerikleri %45 arpa unu katkılı örneklerde tespit edilmiştir (%2.87-3.28) ve ekstrüdatların β -glukan içeriklerinin, ekstrüzyon-piştirme yöntemleri ve sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenmediği rapor edilmiştir (Masatçıoğlu vd. 2014).

Kumari vd. (2018) tarafından yapılan bir araştırmada, önceden optimize edilmiş koşullar altında tek vidalı ekstrüder kullanarak pirinç ununa farklı oranlarda kavuzlu ve kavuzsuz arpa ekleyerek ekstrüde atıştırmalıklar geliştirilmiştir. Hazırlanan ürünler besinsel, fonksiyonel, kolorimetrik ve tektürel özellikleri açısından analiz edilmiştir. Çalışma sonunda ekstrüde atıştırmalıkların renginin katma oranına bağlı olarak arpa unu eklendikçe koyulaştığı, hammaddenin nem içeriğinin artmasıyla su absorpsiyonu ve suda çözünürlük indeksinin arttığı, arpa unu katkılı atıştırmalıkların, yalnızca pirinçten hazırlanan atıştırmalıklara kıyasla daha iyi bir beslenme profili gösterdiği ifade edilmiştir.

Yang vd. tarafından 2020 yılında yapılan bir çalışmada, hiperglisemi hastası kişiler için uygun duyuşal çekiciliğe sahip yavaş sindirilebilir bir atıştırmalık üretmeye yeni bir yaklaşım sağlamak amacıyla kavuzsuz arpadan, düşük sıcaklıkta ekstrüzyon teknolojisi kullanılarak ekstrüde ürünler elde edilmiştir. Bu çalışmada ekstrüzyon sıcaklığının ($E_t = 65-85^{\circ}\text{C}$), besleme neminin ($F_m = \% 25-35$) ve vida hızının ($S_s = 60-80\text{ rpm}$) etkileri sistemik olarak çalışılmıştır ve glisemik indeksi en aza indirmek amaçlanmıştır. Çalışma sonunda en iyi ürünlerin 74.24°C sıcaklık, $\%35$ besleme nemi ve 80 rpm 'lik vida hızı ile elde edildiği görülmüştür. Bu koşullar altında ekstrüde edilen arpa, diğer ekstrüdatlara kıyasla daha düşük derecede jelatinleşme ($\%70.17$), daha düşük glisemik indeks (29.37), daha yüksek radikal temizleme oranı ($\%53.66$) ve daha yüksek duyuşal değerlendirme puanı göstermiştir. Bu çalışmayla, düşük sıcaklıkta ekstrüzyon yönteminin, yüksek radikal temizleme oranına, yavaş sindirim özelliklerine ve yüksek pazar kabulüne sahip atıştırmalıkların etkili bir şekilde üretilebileceği önerilmektedir.

Sandrin vd. (2018) tarafından yapılan araştırmada, yüksek oranda lif içeren yulaf unu, pirinç unu ile karıştırılarak un karışımı hazırlanmış ve bu karışımdan elde edilen ekstrüdatların besin özellikleri üzerine ekstrüzyon sıcaklığının ve vida hızının etkisi değerlendirilmiştir. Toplam, çözünür, çözünmez diyet lifi, beta-glukan, dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerinin enzimatik analizlerle belirlendiği çalışma sonunda işleme parametrelerinin, beta-glukan dışında, un karışımının tüm bileşenlerinin içeriğini etkilediği bildirilmiştir. Toplam nişasta içeriği, çözünmeyen diyet lifi ve dirençli nişastanın artan sıcaklık ve vida hızı ile önemli ölçüde azaldığı; ekstrüzyon parametrelerinin, hammadde yani yulaf ve pirinç harmanı ile karşılaştırıldığında toplam

diyet lifi içeriği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu (bu parametreyi %29'a kadar yükseltmiştir) ve çözünmeyen diyet liflerden çözünebilir liflere doğru değişikliklere neden olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca elektron mikroskopik analizinde, tüm ekstrüdatların yapısının homojen olduğu görülmüştür.

Sayanjali vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, yüksek seviyelerde β -glukan içeren yulaf lifi preparatları, yüksek nem (50 g/100 g veya 60 g/100 g) ve iki vida hızı (200 rpm veya 300 rpm) olan bir besleme kullanılarak ekstrüde edilmiştir. Mevcut çalışmada uygulanan ekstrüzyon koşulları, önemli moleküler parçalanmaya neden olmamış ve moleküler ağırlık ve termal özellikler dahil olmak üzere birçok fizikokimyasal özellik korunmuştur. Bu veriler ışığında, yüksek nem koşulları altında ekstrüzyonun (50- 60 g/100 g) yulaf lifinin fiziko-kimyasal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ve sonuç olarak, bu tür ekstrüzyon koşullarının, yüksek β -glukanın varlığından dolayı gelişmiş sağlık yararları olan ekstrüde edilmiş ürünler üretmek için uygulanabileceği rapor edilmiştir.

Makowska vd. (2015), %20 ve %40 oranında yulaf, buğday veya çavdar kepeği kullanarak ekstrüde mısır atıştırmalıkları geliştirmişlerdir. Tüm ürünlerin toplam lif içeriğinin %6' nın üzerinde olduğu bildirilmiştir. Eğitimli on üyeli bir panel, tüm örneklerin gözeneklilik, gevreklik, renk, tat ve ayrıca ürünlerin genel olarak kabul edilebilirliğini değerlendirmek için dokuz puanlık ölçek kullanarak duyu analizi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, %20 katma oranında yulaf kepeğinin en çok istenen ekstrüdat olduğu (7.3) bildirilmiştir.

Dar vd. (2016), pirinç ununa %10, 20 ve 30 oranında takviye ile buğday, pirinç ve yulaf kepeklerini ayrı ayrı ve kombinasyon halinde kullanarak ekstrüde atıştırmalıklar geliştirmişlerdir. Altı aylık raf ömrü çalışması sonunda, toplam fenolik içerikte ve antioksidan aktivitede bir azalma ve nem içeriği, su aktivitesi ve serbest yağ asidinde bir artış olduğu bildirilmiştir.

Artık yulaf unu, yulaf aleuron parçacıklarının mikronizasyonu ve hava ayrımı ile kimyasallar olmadan elde edilen beta-glukan konsantresi üretiminde bir yan üründür.

Gumul vd. (2015), %5–20 atık yulaf unu içeren mısır bazlı atıştırma ürünleri geliştirmişlerdir. Tüm örnekler üzerinde, "yerleşik duyu duyarlılığı" sahip olarak tanımlanan on iki panelist tarafından şekil ve görünüm, tutarlılık, yapı ve lezzeti değerlendirmek için 1-5 ölçek kullanılarak duyu analiz gerçekleştirilmiştir. %10 atık yulaf unu içeren ekstrüdatların en yüksek puanları aldığı bildirilmiştir.

Rafe vd. (2017), ekstrüzyon yoluyla stabilizasyonun pirinç kepeği üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve ekstrüzyonun protein ve E vitamini içeriğini düşürdüğünü, ancak rengi iyileştirdiği, diyet lifi artırdığı ve fitik asit içeriğini düşürdüğünü bildirmişlerdir. Bu, ekstrüde edilmiş pirinç kepeğinin çeşitli gıda formülasyonlarında bir bileşen olarak başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Wang vd. (1993), yaptıkları bir çalışmada, farklı vida hızlarındaki ekstrüzyon koşullarının (200-300-400 rpm) tam buğday unu ve buğday kepeği üzerine etkisini incelemişlerdir. Ekstrüzyon koşullarının toplam besinsel lif ve çözünmez besinsel lif miktarını azalttığı öte yandan çözünür lif miktarında artış gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Buğday kepeğinden üretilen ekstrüdatların, en yüksek çözünür lif artışının yüksek vida hızında (400 rpm) gerçekleştiği rapor edilmiştir.

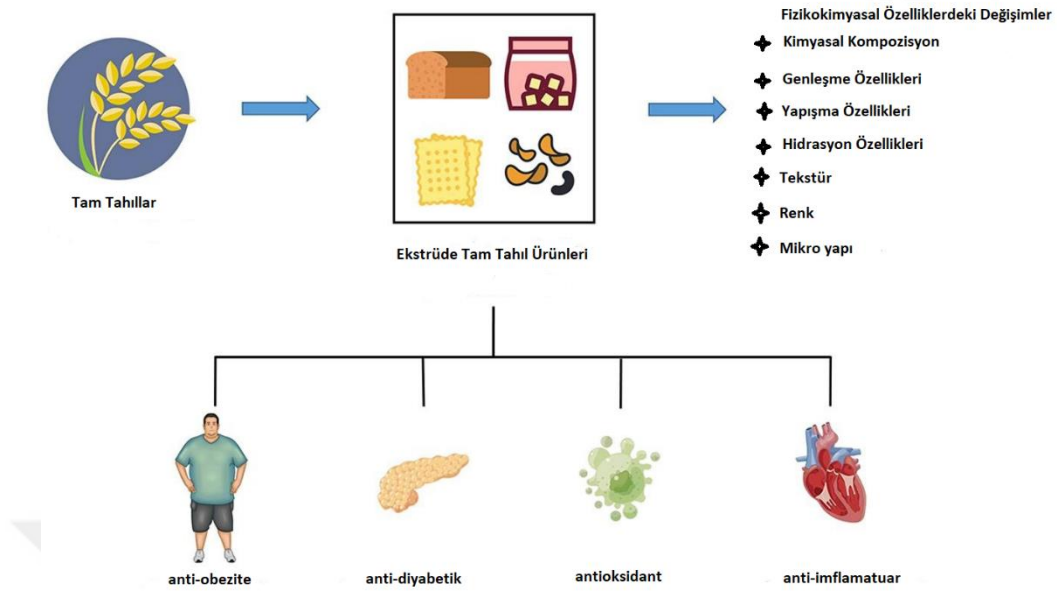
Ilo vd. (1996) tarafından yapılan bir araştırmada, tam öğütölmüş mısır ununun farklı besleme hızlarında (47-60 kg/h), farklı besleme nem içeriklerinde (13-17 g/100g) ve farklı namlu sıcaklıklarında (150-160°C) ürettikleri ekstrüdatların radyal genişleme oranı ve yığın yoğunluğu üzerine etkisini araştırmışlardır. Genişleme indeksinin en çok besleme nem içeriğine bağlı olduğunu saptamışlardır. Besleme nem içeriğinin radyal genişleme üzerine önemli etkisi olduğu bulunmuştur. Artan besleme nem içeriği ile radyal genişlemenin azaldığını belirtmişlerdir. Yığın yoğunluğunun en fazla besleme nem içeriğine bağlı olduğunu ve artan besleme nem içeriğinin, yığın yoğunluğu değerlerinde artışa yol açtığını bildirmişlerdir.

Oliveira vd. (2015) yaptıkları bir araştırmada, mısır ununa ilave edilen tam tahıl buğday ununun ve ekstrüzyon proses parametrelerinin kahvaltılık gevreklerin besinsel ve kalite özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Çift vidalı ekstrüderde, farklı oranda tam tahıl

buğday unu ilaveli (%0-100), farklı besleme neminde (%14-24) ve farklı namlu sıcaklıklarında (76-143°C) üretim gerçekleştirmişlerdir. Tam tahıl buğday unu ilave edilmesi ile birlikte ekstrüdatların besinsel lif ve dirençli nişasta miktarlarında dikkate değer bir artış olduğu belirtilmiştir. Tam tahıl buğday unu miktarının artmasıyla toplam ve sindirilebilir nişasta içeriğinde düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir. Ekstrüdatların hücre yapısının, besleme nem miktarına ve tam tahıl buğday unu ilave oranına bağlı olduğu saptanmış ve en uygun koşulların %50 tam tahıl buğday unu ilaveli örneklerde, %17-21 besleme neminde, yaklaşık 110°C namlu sıcaklığında tavsiye edilebilir olduğu belirlenmiştir.

Kaur vd. (2015), ekstrüzyon koşullarının (namlu sıcaklığı, besleme nem içeriği) tahıl kepeklerinde bulunan antibesinsel bileşenler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Hammadde olarak buğday, pirinç, arpa ve yulaf kepeklerini kullanmışlardır. Ekstrüzyon koşullarını; besleme nem içeriğini %14, %17 ve %20, namlu çıkış sıcaklığını 115°C, 140°C ve 165°C ve vida hızını sabit 400 rpm olarak ayarlamışlardır. Buğday, pirinç, arpa ve yulaf kepeklerinde bulunan fitik asit içeriğini sırasıyla 41.74, 42.82, 40.30, 27.69 mg/g olarak kaydetmişlerdir. Ekstrüzyon sonrası tüm örneklerde fitik asit içeriğinin azaldığı rapor edilmiştir. Fitik asit içeriğinde en çok azalma buğday kepeğinde belirlenmiş, ekstrüzyon koşullarını ise 115°C namlu çıkış sıcaklığı ve %20 besleme nem içeriği olarak kaydetmişlerdir. 115°C namlu sıcaklığında ve %20 besleme nem içeriğinde uygulanan ekstrüzyon işlemi ile fitik asit değerleri en fazla buğday kepeğinde %64.40'a, arpa kepeğinde %63.55 ve yulaf kepeğinde %26.47'ye kadar azaltılmasında etkili olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte, pirinç kepeğinde en yüksek düşüşün (%55.83), %20 nem içeriğinde 140°C namlu sıcaklığında gözlemlendiği bildirilmiştir.

Devi vd. (2013) tarafından yapılan bir araştırmada, iki sorgum unu ve mısır unu karışımlarından (6: 1 ve 5: 2 oranlarında) sorgum bazlı ekstrüde ürünler geliştirilmiş ve sorgum unu, mısır unu ve farklı protein kaynağı karışımlarının ekstrüzyonla pişirilmesiyle iyi kalitede kabul edilebilir, yenmeye hazır atıştırılabilir ürünlerin geliştirilebileceği rapor edilmiştir. Tam tahıllardan elde edilen ekstrüde ürünlerde meydana gelen değişimler ve sağlık üzerine yararları Şekil 2.3' te verilmiştir.



Şekil 2.3 Ekstrüde tam tahıl ürünleri ve sağlık üzerine yararları

2.5 Antik Buğday Grubu

Buğday, birçok diyetle başlıca temel gıdadır. Dünya çapında diyetle ilişkili kronik hastalıklara bağlı ölüm oranındaki artışa bağlı olarak, daha fazla sağlık potansiyeline sahip buğday türlerinin, daha spesifik olarak gelişmiş anti-oksidan ve antiinflammatuar özelliklerinin belirlenmesine yönelik ilgi artmaktadır. Özellikle, eski çeşitler (son yüz yıl boyunca değişmeden kalan türler olarak tanımlanır), modern buğdaylardan daha sağlıklı bir beslenme profili sunduklarını öne süren çeşitli çalışmalar nedeniyle ilgi çekmektedir (Dinu vd. 2018).

Milyarlarca insan tarafından tüketilen buğday (*Triticum* spp.), günlük enerji alımının büyük bir kısmını sağlayan, birçok diyetin temel besin maddesidir. Aslen Levant bölgesinden elde edilen bir tahıl tanesidir, ancak şu anda dünya çapında yetiştirilmektedir. Üretilen buğdayın yaklaşık %95'i, genellikle “yaygın”, “ekmeklik” veya “yumuşak” buğday olarak adlandırılan heksaploid bir tür olan *Triticum aestivum*'dur (Mayer 2014). Geri kalanı ise ağırlıklı olarak makarna yapımında kullanılan tetraploid bir tür olan *Triticum durum* veya “durum” buğdayından oluşmaktadır. Dengeli bir beslenme bağlamında buğday, özellikle tam tahıl olarak tüketildiğinde, çok sayıda besin, diyet lif

ve biyoaktif bileşiklerin sağlıklı bir kaynağını temsil eder. Düzenli tam tahıl tüketimi, toplam ve LDL-kolesterol, trigliseritler, kan şekeri, kan basıncı ve vücut kitle indeksi gibi kardiyo-metabolik hastalıklar için en önemli risk faktörlerinin azaltılmış seviyeleri ile kapsamlı bir şekilde ilişkilendirilmiştir (Kelly vd. 2007).

Buğdayın insan sağlığı üzerinde koruyucu etkiler yarattığı mekanizmalar, tahılların fiziksel özelliklerine ve yapısına (irmiğin tanecik boyutu, lif miktarı ve türü, fitokimyasalların miktarı ve kalitesi, amiloz ve amilopektin içeriği) bağlanmaktadır (Gil vd. 2011). Besin veya diyetle ilişkili kronik hastalıklara bağlı olarak dünya çapında artan ölüm oranı göz önüne alındığında, son yıllarda sağlık potansiyelini iyileştirmek için buğdayın geliştirilmesine büyük bir ilgi vardır (Cooper 2015). Özellikle eski buğday türleri, daha fazla vitamin, mineral ve nutrasötik bileşik sağlayarak modern buğdaylardan daha sağlıklı ve daha iyi bir beslenme profili sunabilecekleri öne sürüldüğünden beri artan bir ilgi görmektedir (Kohajdova ve Karovicova 2008; Bordonni vd. 2016).

Kesin bir tanımı olmamakla birlikte, genel olarak antik buğdayın son yüz yıl boyunca değişmeden kaldığı kabul edilmektedir. Buna karşılık, modern türler yaygın olarak “Yeşil Devrim” olarak adlandırılan süreçte kapsamlı bir şekilde değiştirilmiş ve melezlemeye tabi tutulmuştur. Bu terim, 1930'lar ile 1960'ların sonları arasında gerçekleşen bir dizi araştırma ve teknoloji transferi girişimine atıfta bulunmak için geliştirilmiştir. Yeşil Devrim, Avrupa'da ve dünyada Mendel yasalarını pas direnci, erken çiçeklenme ve olgunluk ve kısa saman gibi özelliklere sistematik olarak uygulayan ilk kişilerden biri olan Strampelli tarafından başlatılmıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, Strampelli'nin bazı buğday çeşitleri, Norman Borlaug'un Yeşil Devrimi olarak tanımlanan Yeşil Devrim'in bir aşamasında birçok ülkede ıslah programlarında ebeveyn olarak kullanıldı. Bu aşama, yüksek verimli çeşitlerin geliştirilmesinde etkili olmuştur (Salvi vd. 2013).

Daha sonra, 1960'larda, araştırmalar depolama protein kalitesini iyileştirmeye ve böylece teknolojik özellikleri artırmaya odaklanmıştır. Tarım uzmanları, diğer çeşitlere göre daha yüksek azot emme kapasitesine dayanan ve genellikle “yüksek verimli çeşitler” olarak adlandırılan mısır, buğday ve pirinç çeşitleri yetiştirmiştir. Topraktaki yüksek azot seviyeleri buğdayın hasattan önce yatmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, hem yatmayı

hem de olgunlaşma döngüsünü azaltmak için yarı bodurlaştırıcı genler geliştirilmiştir. Bu devrimin temel sonuçları, daha yüksek verim, hastalıklara ve böceklerle karşı daha az duyarlılık, çevresel streslere karşı daha fazla tolerans, homojen bir olgunlaşma (hasadı optimize etmek için) ve daha yüksek gluten içeriği (ekmek ve makarna kalitesini artırmak için) ile karakterize edilen modern çeşitlerin geliştirilmesi idi. Bu yoğun ıslah programları üretimin ve teknolojik kalitenin artmasına yardımcı olurken, genetik değişkenlikte eş zamanlı bir azalma ve buğdayın besleyici ve nutrasötik özelliklerinde kademeli bir fakirleşme meydana gelmiş, bu da esas olarak eski yerel ırkların modern çeşitlerle tamamen değiştirilmesiyle belirlenmiştir (Dinu vd. 2018).

Ticari olarak temin edilebilen en yaygın eski buğday türleri siyez (*Triticum monococcum*), emmer (*Triticum dicoccum*), horasan (*Triticum turgidum ssp. Turanicum*) ve kavuzlu buğdaydır (*Triticum spelta*). Ayrıca, hem *Triticum aestivum* hem de *Triticum durum*' un yıllar boyunca değişmeden kalan Russello, Senatore Cappelli, Timilia veya Tumminia ve Urria (*Triticum durum*) ile Autonomia B, Frassineto, Gentil Rosso, Inallettibile, Maiorca, Sieve, Solina ve Verna (*Triticum aestivum*) gibi birkaç miras çeşidi bulunmaktadır (Dinu vd. 2018).

2.5.1 Kavılca

Milattan önce 5000 yıllarında ekiminin yapıldığı bilinen kavılca çeşidi buğdayların günümüzde hala tarımı devam etmektedir. İçermiş olduğu yüksek besin değerleriyle kavılca buğdayı son yıllarda araştırmacıların ilgi alanına girmiş ve birçok gıda ürününde kullanılmıştır (Zielijski vd. 2008, Coda vd. 2010). Sahip olduğu yüksek protein, lif ve fitokimyasallar ile kavılca buğdayının, başta ekmek olmak üzere birçok fırıncılık ürününde kullanılabileceği ve beslenme içerikleri zenginleştirilmiş gıdalar üretilebileceği görülmektedir.

Antik buğday türlerinden biri olan emmer (*T. dicoccum*), kavuzlu bir buğdaydır. Türkiye'de halk arasında farklı bölgelerde “gernik, gacer, kavılca” olarak adlandırılmaktadır (Atak 2017; Bulut 2022). Emmer buğdayı dayanıklı kavuza, kırılğan ve ince saplara sahiptir. Hasattan sonra dane üzerindeki kavuz mekanik işleme

ayrılmaktadır. Hasat sonrası elde edilen saman ve kavuz gibi yan ürünler hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Emmer, yüksek adaptasyon kabiliyeti nedeniyle Kastamonu ve Sinop gibi deniz seviyesinden 1000-2000 metre yükseklikteki alanlarda yetiştirilebilmektedir (Köksel ve Çetiner 2015). Çankırı, Kars, Kayseri gibi illerin kırsal kesimlerinde de yetiştirilmekte ve hem insan hem de hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (Gürçan vd. 2017). Bazı kaynaklarda emmer buğdayının dünyadaki toplam buğday üretim alanının %1'ini oluşturduğu belirtilmektedir (Bilalis vd. 2017).



Şekil 2.4 Kavılca (gernik) buğdayı ve yan ürünleri (Sırakaya 2023).

A-Sap, B-Kavuz, C-Kavuzlu gernik, D-Kavuzsuz gernik, E-Kavılca unu, F-Kavılca başağı

Emmer, sağlıklı bir gıda olması açısından son yıllarda popülerlik kazanmış ve dünyanın birçok yerinde emmer ile hazırlanan geleneksel gıda ürünleri tercih edilmektedir. Emmer buğdayının besin içeriği çeşitli ortamlara bağlı olarak farklılık gösterse de, zengin bir biyoaktif ve daha yavaş sindirilebilir nişasta içeriğine sahiptir (Dhanavath ve Prasada Rao 2017; Lachman vd. 2012). Emmer buğdayı protein (%18-23), mineraller ve lif bakımından zengindir. Yapılan çalışmalar sağlıklı bir tahıl olarak yüksek kan kolesterolü, kolit ve alerji gibi hastalıkları olan kişilerin diyetleri için uygun olduğunu göstermiştir

(Marino vd. 2011). Emmer, bitki hastalıklarına, zararlılara, biyotik ve abiyotik strese karşı dirençlidir ve ayrıca yüksek protein kalitesine ve tohumunun zengin mikro besin (Zn, Mn, Fe, vb.) konsantrasyonuna sahiptir (Zaharieva vd. 2010).

2.6 Siyah Pirinç

Pirinç (*Oryza sativa* L.) dünyanın neredeyse yarısı tarafından tüketilen temel bir besindir. Dünya genelinde beyaz pirinç tüketilirken, Asya ülkeleri siyah pirinç, mor pirinç, kırmızı pirinç ve kahverengi pirinç gibi pigmentli pirinç çeşitlerini de tüketmektedir (Kushwaha 2016). Son zamanlarda siyah pirinç, tokoferoller, orizanoller, polifenoller, B vitaminleri ve lifler gibi biyoaktif bileşiklerdeki yüksek konsantrasyonu nedeniyle oldukça dikkat çekmiştir (Şekil 2.5). Ayrıca siyah pirinç, yaban mersini, frenk üzümü ve böğürtlen gibi meyvelerde de bulunan ve renklerine katkıda bulunan antioksidan özelliklere sahip suda çözünür bir flavonoid sınıfı olan antosiyaninler açısından da özellikle zengindir. Bazı derlemelerde siyah pirincin ve ekstraktlarının (Deng vd. 2013) ve biyoaktif bileşiklerinin (Shao ve Bao 2015; Samyor vd. 2017) sağlığa yararlı etkileri tartışılmış ve siyah pirincin antiobezite ve antidiyabetik özelliklerinin yanı sıra siyah pirinçten elde edilen yeni biyoaktif bileşiklerin araştırılması konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu bildirilmiştir.



Şekil 2.5 Siyah pirinç (Siyah 1)

Yeşil Devrim'den önce, pigmentli pirinç çeşitleri Hindistan insanları tarafından ve dünyanın pirinç tüketen hemen hemen tüm bölgelerinde potansiyel bir gıda kaynağı olarak kullanılıyordu. Bu pirinç çeşitleri daha fazla miktarda mikro, makro besin ve

ikincil metabolit içermektedir. Adlarını pirinç kepeğinde bulunan pigmentlerden almaktadırlar. Yüksek sekonder metabolit içeriği ve yüksek antioksidan aktivitesi nedeniyle ticari sağlıklı gıda takviyelerinin üretiminde birçok pigmentli pirinç çeşidi kullanılmıştır (Phonsakhan ve Ngern 2015). Daha yüksek besin içeriği ve metabolitler nedeniyle diyetisyenler, diyabet hastaları da dahil olmak üzere metabolik bozuklukları olan kişiler için pigmentli pirinci şiddetle tavsiye etmektedirler (Prasad vd. 2019).

Siyah pirinç; mor pirinç, yasak pirinç, cennet pirinci, imparatorluk pirinci, kralın pirinci ve ödüllü pirinç olarak da bilinir (Kushwaha 2016).

Siyah pirinç, geniş bir tarihsel geçmişe sahip çok sayıda pirinç çeşidinden oluşur. Çin, Hindistan ve Tayland gibi Güneydoğu Asya ülkelerinde ekimi yapılmaktadır (Kong vd. 2008). Çin ve Hindistan siyah pirincin başlıca üreticileridir ve onu Tayland, Bangladeş, Vietnam ve Endonezya takip etmektedir. Antosiyanin (siyanidin-3-glukozit) pirincin rengini siyaha çevirir ve bu nedenle siyah pirinç olarak adlandırılmaktadır (Escribano – Bailón vd. 2004; Lee 2010).

Siyah pirincin farmakolojik özellikleri ve ayrıca içindeki aminoasit sayesinde tam bir beslenme sağlar. Halkın siyah pirinç tüketimine yönelik farkındalığı, daha sağlıklı bir yaşamın önünü açacaktır (Prasad vd. 2019).

2.7 Kavuzsuz Arpa

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), dünya çapında farklı koşullarda yetiştiriciliğe en iyi adapte olmuş ürünlerden biridir (Chalak vd. 2015). Dünyada arpa önemli bir tahıldır ve çoğunlukla yemlik ve malt için kullanılır. Arpa çeşitleri, kavuzun tanelere sıkıca yapışıp yapışmamasına göre kavuzlu veya kavuzsuz olarak sınıflandırılır. Kavuzsuz çeşitler insan beslenmesine daha uygundur (Şekil 2.6), çünkü kavuzlar harman sırasında kolayca çıkarılabilir ve pearling işlemini kolaylaştırır (Gaines vd. 1985; Yalcin vd. 2007; Barabaschi vd. 2012).

Kavuzsuz arpa tanelerinin çözünmeyen ve çözünen diyet lifi fraksiyonları ve insan sağlığı üzerinde faydalı etkiler yaratan diğer biyoaktif bileşikler içerdiği raporlanmıştır. Gıda üretimi sırasında tahılın minimum düzeyde işlenmesi, besleyici kepek tabakasının bozulmadan kalması nedeniyle tam tahıldan tam fayda sağlanmasını mümkün kılmaktadır (Liu 2007).

Birçok çalışmada, kavuzsuz tahılların kavuzlu tahıllara kıyasla daha yüksek sindirilebilir enerji seviyelerine ve daha yüksek protein içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Ehrenbergerová vd. 2003). Kavuzsuz arpa yüksek oranda diyet lifleri (özellikle β -glukanlar), temel vitaminler ve mineraller de ihtiva etmektedir (Ames vd. 2006, Alminger ve Eklund-Jonsson 2008). Ayrıca, kavuzsuz arpa taneleri düşük glisemik (GI) indekse sahip olup kan şekeri ve insülin seviyesini dengeler, bu da özellikle diyabetik kişiler için önemlidir (Wood 2007).

Tüm bu olumlu özellikler ve bileşenler, gelecekte kavuzsuz arpa kullanımının artacağını göstermektedir (Bhatty 1996; Arendt ve Zannini 2013). Ehrenbergerová vd. (1997), ekim sisteminin kavuzsuz arpa çeşitlerinin protein içeriği, yağ, β -glukanlar ve toplam amino asit içeriğini önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir.



Şekil 2.6 Kavuzsuz arpa (Yalın)

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırmada materyal olarak kullanılan kavuzsuz arpa (Yalın) Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden, siyah pirinç (Siyah 1) Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden, kavılca unu Kars ilinde üretim yapan bir üreticiden, mısır irmiği ise piyasadan temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ekstrüde ürünlerin üretimi

Örnekler temizlenip yabancı maddelerinden ayrıldıktan sonra siyah pirinç örnekleri Codema laboratuvar tipi kavuz soyma cihazından (Minnesota, Amerika Birleşik Devletleri) geçirilerek kavuzlarından ayrılmış, ardından tüm tahıllar ultra santrifüj öğütücüde öğütülüp (Retsch ZM 200, Almanya) 500 µm delik açıklığındaki elekten elenerek tam tane unu elde edilmiştir. Bu unların, mısır irmiğine farklı oranlarda (%0, %30, %100) katılarak elde edilen karışımları, üç farklı besleme neminde (%14, %16, %18) ve iki farklı namlu sıcaklığındaki (120°C, 140°C) çift vidalı (twin-screw) ekstrüzyon aletinde (Feza Makine, İstanbul, Türkiye) ekstrüde edilmiştir (Şekil 3.1). Ekstrüzyon parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Üretimde kullanılan ekstrüzyon sistem parametreleri

Parametre	Parametre değeri
Namlu Sıcaklığı (°C)	120-140
Besleme Nemi (%)	14-16-18
Katma Oranı (%)	0-30-100
Besleme Hızı (kg/saat)	4
Vida Hızı (rpm)	200
Namlu Çıkış Kalıp Çapı (mm)	2
Vida Uzunluğu-Çap Oranı (L/D)	25:1



Şekil 3.1 Çift vidalı ekstrüder

Ekstrüdatlar etüvde 50°C de 16 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen ürünler soğutulduktan sonra analizlere kadar ağzı kapalı plastik saklama kaplarında muhafaza edilmiştir. Fiziksel analizler tamamlandıktan sonra su soğutmalı laboratuvar tipi bıçaklı değirmende (KN 295 Knifetec, FOSS Analytical) öğütülerek kilitli poşetlerde muhafaza edilmiştir.

3.2.2 Tane analizleri

3.2.2.1 Bin tane ağırlığı tayini

Kavuzsuz arpa ve siyah pirinç örneklerinin bin tane ağırlığı, tane sayıcı cihazında (Numigral II, Fransa) Özkaya ve Özkaya' ya (2005) göre belirlenmiş ve sonuçlar gram cinsinden verilmiştir.

3.2.2.2 Hektolitre ağırlığı tayini

Kavuzsuz arpa ve siyah pirinç örneklerinin hektolitre değerleri, hektolitre ölçüm cihazı (Ohaus, Chicago, ABD) kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar kilogram/hektolitre (kg/hl) cinsinden verilmiştir (Özkaya ve Özkaya 2005).

3.2.2.3 Tane sertliği tayini

Tane sertliği indeksi, International Approved Methods of American Association of Cereal Chemists (AACCI) Standart Metot No:55-31'e göre Tek Tane Karakterizasyon Sistemi (SKCS) 4100 cihazı (Perten Instruments, Springfield, IL) kullanılarak belirlenmiştir (Anonymous 2010).

3.2.2.4 Tane iriliği (elek) tayini

Tane iriliği dağılımı; 2.8 mm, 2.5 mm ve 2.2 mm delik açıklıklarına sahip eleklerden oluşan eleme cihazı (Sortimat Pfueller Mess-und Prüfgerate, Almanya) kullanılarak 100 g örnekte hesaplanmış ve elek üstünde kalan miktarlar % cinsinden verilmiştir (Özkaya ve Özkaya 2005).

3.2.3 Kimyasal analizler

3.2.3.1 Rutubet miktarı tayini

Örneklerin rutubet miktarları AACCI Standart Metot No: 44-15A'ya (Anonymous 2010) göre tayin edilmiştir.

3.2.3.2 Kül miktarı tayini

Örneklerin kül miktarları, AACCI Standart Metot No: 08-01'e (Anonymous 2010) göre belirlenmiştir.

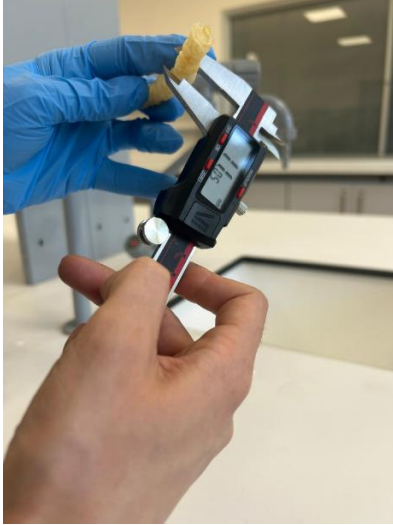
3.2.3.3 Protein miktarı tayini

Örneklerin protein miktarları Dumas yöntemiyle, azot tayin cihazı (Leco FP828 Nitrogen analyzer, LECO Corporation, MI, ABD) ile AACCI Standart Metot No:46–30'a göre belirlenmiştir (Anonymous 2010).

3.2.4 Fiziksel analizler

3.2.4.1 Genişleme indeksi tayini

Ekstrüzyon ürünlerinin çap ölçümleri, kumpas kullanılarak 0,01 mm hassasiyetle yapılmıştır. Bulunan değerler namlu çıkış kalıbı çapına bölünerek genişleme indeksi değerleri elde edilmiştir (Masatçıoğlu vd. 2014).



Şekil 3.2 Çap ölçümü

3.2.4.2 Yığın yoğunluğu tayini

Yığın yoğunluğu değerleri, ölçülen hacim değerlerinin (cm^3) ekstrüde ürün ağırlıklarına (g) bölünmesiyle hesaplanmıştır (Ryu ve Ng 2001). Ekstrüde ürünlerin hacim ölçümleri, hacimsel yer değiştirme esasına dayanan metotla kolza tohumuyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Hacim ölçümü

3.2.5 Renk analizi

Ürünlerin renk değerleri, renk ölçüm cihazı (Hunterlab MiniScan XE Plus, ABD) kullanılarak L* değeri [(0) siyah-(100) beyaz], a* değeri [(+) kırmızı- (-) yeşil] ve b* değeri [(+) sarı- (-) mavi] olarak belirlenmiştir. Tam tahıl unu katkılı ekstrüde ürünlerin L*, a* ve b* değerleri kontrol örneklerden (%100 mısır irmiği) elde edilen L*, a* ve b* değerlerinden çıkarılarak toplam renk değişikliği (ΔE^*), aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır (Peressini ve Sensidoni 2009).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_{katkı} - L^*_{kontrol})^2 + (a^*_{katkı} - a^*_{kontrol})^2 + (b^*_{katkı} - b^*_{kontrol})^2}$$

3.2.6 Tekstür analizi

Örneklerin tekstürel özellikleri (sertlik ve gevreklik), tekstür analiz cihazında (TA-Xt plus, Stable Micro Systems, Büyük Britanya) belirlenmiştir. Prob olarak maket bıçağı (extended craft knife) şeklinde olan aparat kullanılarak örnekler kesilmiştir. Analizde 5 kg'lık yük hücresi kullanılmıştır. Prob test başlangıç yüksekliği 35 mm, test öncesi hız 10 mm/sn, test hızı ise 2 mm/sn olacak şekilde çalışılmıştır.



Şekil 3.4 Tekstür profili analizi

3.2.7 Besinsel analizler

3.2.7.1 Fitik asit ve fitat fosforu miktarı tayini

Fitik asit ve fitat fosforu miktarları, Tangkongchtr vd. (1981) ile Haug ve Lantzsche (1983) göre belirlenmiştir. Örneklerdeki fitik asit, demir III çözeltisi ile çöktürüldükten sonra, serum kısmında kalan demir miktarının 519 nm dalga boyunda spektrofotometrik yolla ölçülmesiyle tespit edilmiştir.

3.2.7.2 Toplam diyet lif miktarı tayini

Örneklerin toplam diyet lif miktarları ANKOM firmasına ait toplam diyet lif tayin cihazı kullanılarak AOAC Metot No: 991.43'e (Anonymous 2000) tayin edilmiştir.

3.2.7.3 Toplam fenolik madde miktarı tayini

Örneklerdeki toplam fenolik madde miktarları Singleton ve Rossi (1965) ve Gao vd. (2002)'ye göre Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.7.4 Toplam antioksidan aktivitesi tayini

Örneklerin toplam antioksidan aktivitesi değerleri DPPH (2,2–difenil-1-pikrilhidrazil) radikali yakalama aktivitesi tespiti ile Brand-Williams vd.'ye (1995) göre tayin edilmiştir.

3.2.7.5 β -glukan miktarı tayini

Mısır irmiğinden üretilen şahit örnekler ile kavuzsuz arpa katkılı ekstrüde ürün örneklerinin β -glukan miktarları, Megazyme firmasına ait β -glukan test kiti kullanılarak McCleary ve Glennie-Holmes (1985), McCleary ve Codd (1991) ve McCleary ve Mugford (1992) tarafından geliştirilen yöntemlerin modifiye edilmiş şekline göre enzimatik olarak belirlenmiştir. Bu yöntem, örnekte bulunan β -glukanın glikoza dönüşmesi için likenaz ve β -glukozidazla muamele edilmesi ile oluşan glikoz birimlerinin, GOPOD (glikoz oksidaz-peroksidaz) reaktifi ile parçalanması sonucu ortaya çıkan boyar maddenin spektrofotometrede (HITACHI U-1800, Tokyo, Japonya), 510 nm dalga boyunda absorbansının ölçülmesine dayanmaktadır.

3.2.7.6 Mineral madde tayini

Örneklerin mineral madde miktarları Nordic Committee on Food Analysis (NMKL) 186, 2007'ye göre ve ICP-MS cihazı (Agilent 7850, Agilent Technologies) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.7.7 *In vitro* mineral madde biyoyararlanım oranı

Örneklerin *in vitro* mineral madde biyoyararlanım oranları Brodorb vd.'ye (2019) göre enzimatik sindirimi yapılarak belirlenmiştir. Ekstrüde ürünlerin mineral madde biyoyararlanımı, sindirim sonrasında kalan mineral madde miktarının ekstrüde ürünündeki başlangıç mineral madde miktarına oranıdır.

Analiz için, 1 g örnek tartılarak içerisinde 10 mL deiyonize su eklenmiş ve vorteks ile karıştırılmıştır. 0.1 N HCl eklenerek pH değeri 2.0' ye ayarlanmıştır. Pepsin enzim solüsyonu eklenerek örnekler 37°C'de çalkalamalı su banyosunda 2 saat süre boyunca inkübe edilmiştir. Ardından NaHCO₃ (%6) ile pH 6.8 – 7.0 değer aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Pankreatin enzim solüsyonu ilave edilerek 37 °C'de çalkalamalı su banyosunda 4 saat süre ile inkübe edilmiştir. Örnekler, 20 dakika santrifüj edilmiş (10000 rpm) ve sonrasında süpernatant kısmı alınıp ayrı bir tüpe aktarılmıştır. Bu örneklerin mineral madde içerikleri tespit edilmiştir.

3.2.8 Duyusal analiz

Bisküvi örneklerinin duyusal analizleri, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü araştırmacılarından oluşan 10 panelist tarafından uygun olarak ışıklandırılmış duyusal analiz laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirmeden önce panelistler konu hakkında kısa bir eğitime tabi tutulmuştur. Her bir örneğe rastgele harf ve rakamlardan oluşan üç haneli kod verilmiş, panelistlerin örnekleri renk/görünüm, tat/koku, sertlik/çiğnenebilirlik, gevreklik, kırılganlık, gözenek yapısı, genel kabul edilebilirlik açısından puanlamaları istenmiştir (Genç 2021). Değerlendirmede 5 (mükemmel), 4 (çok iyi), 3 (orta), 2 (kötü) ve 1 (çok kötü) arasında değişen 5 dereceli hedonik skala kullanılmıştır. Puanlanan her bir kriter için verilen puanların ortalaması alınmış ve sonuçlar Microsoft Excel programında (Microsoft, ABD) oluşturulan polar koordinat grafiği şeklinde verilmiştir.

3.2.9 İstatistik analiz

Çalışmada yer alan analizlerin hepsi en az iki tekrarlı olarak yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Analizler sonucu elde edilen veriler JMP®13 (SAS Institute Inc) Software paket programı kullanılarak One-Way ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ile incelenmiş ve örnek ortalamaları arasındaki farklar $p < 0.05$ önem seviyesinde değerlendirilmiştir. Farklar önemli bulunduğunda ($p < 0.05$), ortalamalar LSD testi ve t testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Kavuzsuz Arpa ve Siyah Pirinç Tanelerinin Bazı Özellikleri

Çalışmada tane olarak Yalın kavuzsuz arpa çeşidi ile Siyah 1 siyah pirinç çeşitleri kullanılmıştır. Bu çeşitlere ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde, Yalın ve Siyah 1 tahıllarının hektolitre ve bin tane ağırlıkları sırasıyla 80.0-45.9 g ve 50.5-21.7 g olarak bulunmuş olup bu değerlerin Yalında daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1 Kavuzsuz arpa ve siyah pirinç örneklerinin fiziksel özellikleri

Özellikler	Kavuzsuz arpa (Yalın)	Siyah pirinç (Siyah 1)
Hektolitre Ağırlığı (kg/hl)	80.0±0.21	50.5±0.30
1000 Tane Ağırlığı* (g)	45.9±0.01	21.7±0.05
Sertlik SKCS	53.1±0.12	73.1±0.16
Tane İriliği		
2.8 mm elek üstü (%)	4.50±0.02	0.11±0.01
2.5 mm elek üstü (%)	50.66±0.51	0.25±0.01
2.2 mm elek üstü (%)	39.88±0.13	98.86±0.10

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Tanelerin SKCS sertlik sonuçları incelendiğinde Siyah 1 çeşidinin Yalın çeşidinden daha sert olduğu gözlemlenmiştir. Ermişer (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Özen kavuzsuz arpa çeşidinin SKCS sertlik değeri incelenmiş ve çeşidin sertlik skalasına göre orta yumuşak sınıfta yer aldığı bildirilmiştir.

4.2 Tahıl Unlarının Kimyasal ve Fonksiyonel Özellikleri

Çalışmada kullanılan mısır irmiği ve tahıl unlarının kimyasal ve fonksiyonel özellikleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi Yalın ve Kavılca unlarına ait protein miktarları birbirine yakın bulunmuştur ve bunların hammaddeler arasında protein açısından en yüksek değerlere sahip oldukları görülmüştür. Kül değeri ise en düşük mısır

irmiğinde tespit edilirken diğer tahıl unlarında daha yüksek ve birbirine yakın değerler bulunmuştur.

Çizelge 4.2 Mısır irmiği ve tahıl unlarının kimyasal ve fonksiyonel özellikleri

Özellikler	Mısır irmiği	Kavuzsuz arpa unu	Siyah pirinç unu	Kavılca unu
Rutubet Miktarı (%)	11.40±0.02	11.60±0.02	12.90±0.03	12.51±0.08
Kül Miktarı* (%)	0.52±0.01	1.57±0.01	1.42±0.02	1.52±0.02
Protein Miktarı* (% , Nx6.25)	7.98±0.03	17.40±0.15	14.04±0.06	17.28±0.21
Toplam Diyet Lif Miktarı* (%)	11.9±0.1	21.3±0.2	17.8±0.05	9.6±0.1
Toplam Fenolik Madde Miktarı* (mgGAE/kg)	1209.23±18.7	1998.85±21.3	1378.46±7.9	1686.15±8.4
Toplam Antioksidan Aktivite* (μmolTE/100g)	407.30±12.5	930.45±17.8	681.60±6.3	691.77±5.8
Fitik Asit Miktarı* (mg/100g)	754.30±2.27	942.96±12.44	1012.95±16.5	983.39±22.7
Fitat Fosforu Miktarı* (mg/100g)	224.23±3.65	287.35±7.6	327.05±4.7	285.91±8.48
Toplam Fosfor Miktarı* (ppm)	4061.78±65.7	4118.0±18.9	6573.35±72.9	3631.1±7.9
Mg Miktarı* (ppm)	492.76±7.2	1227.9±13.2	1507.2±13.6	1293.5±4.8
K Miktarı* (ppm)	2192.59±78.9	4404.17±10.2	3055.9±13.5	4193.13±11.6
Ca Miktarı* (ppm)	28.6±1.5	479.85±3.56	143.71±1.7	388.5±1.3
Al Miktarı* (ppb)	1250.8±8.4	4818.7±4.6	3395.9±5.6	1431.6±49.5
Mn Miktarı* (ppm)	1.92±0.32	17.87±0.2	33.52±0.51	29.3±1.5
Fe Miktarı* (ppm)	9.15±0.25	34.79±0.5	73.33±1.7	54.29±2.7
Cu Miktarı* (ppm)	1.61±0.1	6.91±0.1	17.08±0.71	5.84±0.36
Zn Miktarı* (ppm)	9.47±0.5	31.64±0.0	27.8±0.31	37.26±2.5
Se Miktarı* (ppb)	56.6±0.2	2.7±5.3	50.09±2.8	58.89±2.8

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Toplam fenolik madde içeriği bakımından en yüksek değer kavuzsuz arpa ununda (1998.85 mgGAE/kg), en düşük değer ise mısır irmiğinde (1209.23 mgGAE/kg) gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, toplam antioksidan aktivite kavuzsuz arpa ununda daha yüksek (930.45 μmolTE/100g) iken, mısır irmiğinde daha düşüktür (407.30 μmolTE/100g). Bu veriler, fenolik bileşiklerin özellikle tam tahıllı ürünlerde yüksek seviyelerde bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Fitik asit miktarı siyah pirinç ununda en yüksek (1012.95 mg/100g), mısır irmiğinde ise en düşük (754.30 mg/100g) olarak belirlenmiştir. Fitik asidin eşlik ettiği fitat fosforu ve toplam fosfor miktarları da bu eğilimle paralellik göstermektedir.

Kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), potasyum (K), demir (Fe), çinko (Zn) ve selenyum (Se) gibi önemli minerallerin düzeyleri tahıllar arasında farklılık göstermektedir. Özellikle kavuzsuz arpa unu ve kavlca unu mineral içeriği bakımından zengin kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, kavlca unu 388.5 ppm ile en yüksek kalsiyum içeriğine sahiptir. Selenyum açısından ise kavlca unu (58.89 ppb) ve mısır irmiği (56.6 ppb) dikkat çekmektedir.

4.3 Ekstrüde Ürünlerin Fiziksel Kalite Özellikleri

4.3.1 Ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Ekstrüzyon tekniğiyle üretilen ekstrüde atıştırılabilir ürünlerin genişleme özellikleri tüketiciler için daha kabul edilebilir hale getirilmesi açısından önemlidir.

Çizelge 4.3'e bakıldığında üretilen ekstrüde ürünlerin ortalama genişleme indeksi (Gİ) değerleri 2.91-6.26 arasında, yığın yoğunluğu değerleri ise 0.04- 0.61 g/cm³ arasında bulunmuştur. Genişleme indeksi değerleri aynı sıcaklık ve besleme neminde uygulanan katma oranları için, %30 katma oranında şahit örneğe kıyasla artmış, %100 arpa unundan üretilen örnekte ise azalmıştır (p <0.05). En düşük genişleme indeksi değerleri %100 kavuzsuz tam arpa unundan üretilen ekstrüde ürünlerde bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Genişleme İndeksi	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)
120	14	0	4.88±0.02 ^{bA}	0.16±0.01 ^{bA}
		30	5.86±0.04 ^{aA}	0.39±0.01 ^{aA}
		100	4.42±0.07 ^{cA}	0.14±0.01 ^{bA}
	16	0	4.57±0.01 ^{bA}	0.11±0.01 ^{bA}
		30	5.26±0.06 ^{aA}	0.20±0.01 ^{aA}
		100	3.32±0.01 ^{cA}	0.05±0.01 ^{cA}
	18	0	4.39±0.11 ^{aA}	0.04±0.01 ^{bA}
		30	4.57±0.07 ^{aA}	0.09±0.01 ^{aA}
		100	2.92±0.02 ^{bA}	0.09±0.01 ^{aA}
	14	0	5.22±0.02 ^{bB}	0.18±0.02 ^{bA}
		30	6.26±0.04 ^{aB}	0.61±0.01 ^{aB}
		100	3.11±0.01 ^{cB}	0.06±0.01 ^{cB}
140	16	0	5.04±0.01 ^{bB}	0.07±0.01 ^{bB}
		30	6.08±0.01 ^{aB}	0.47±0.01 ^{aB}
		100	3.47±0.01 ^{cB}	0.09±0.02 ^{bA}
	18	0	4.92±0.01 ^{bB}	0.17±0.01 ^{bB}
		30	5.64±0.01 ^{aB}	0.33±0.01 ^{aB}
		100	2.91±0.07 ^{cA}	0.05±0.01 ^{cA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05). Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Gupta vd. (2008) tarafından yapılan bir araştırmada pirinç ununa farklı oranlarda arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerde %30 katma oranında ürünlerin genişleme indeksinde keskin bir artış gözlemlendiği bildirilmiştir.

Besleme nemindeki artış muhtemelen ekstrüzyon haznesindeki materyalin akışkanlığını arttırmış, daha sonra torku ve spesifik mekanik enerjiyi düşürmüştür. Buna bağlı olarak aynı sıcaklıkta farklı besleme nemi uygulamalarında besleme nemi arttıkça genişleme ve yığın yoğunluğu değerleri azalmıştır.

%18 nemde genleşme indeksindeki azalma ekstrüder kanalı içindeki yüksek kesme oranından kaynaklı amilopektin yapısındaki moleküler bozulmadan kaynaklanmış olabilir (Baik vd. 2004).

Genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri birbiriyle ters orantılıdır. daha düşük yığın yoğunluğu değerleri şişkinlik/genişlemenin daha fazla meydana geldiğini göstermektedir (Altan vd. 2008).

Her yöne genişlemeyi dikkate alan yığın yoğunluğu, genleşme derecesinin bir göstergesidir. Besleme nem içeriğinin ekstrüdatların yığın yoğunluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Aynı katma oranı farklı besleme neminde üretilen ekstrüde ürünlerde %100 arpa unu katma oranı hariç diğer oranlarda sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Köksel vd. (2004), yüksek sıcaklığın kalıptan çıkarken ekstrüdatlardan yüksek sıcaklıkta ısıtılmış suyun ani buharlaşması için daha fazla enerji sağlayarak genleşmeyi artırdığını ve yığın yoğunluğunu düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, daha önce Ding vd. (2006) tarafından bildirilen ekstrüdatların yığın yoğunluğunun büyük ölçüde besleme nemine bağlı olduğu ve ekstrüzyon sıcaklığının da önemli bir rol oynadığı yönündeki sonuçlarla uyumludur. Baik vd. (2004) farklı arpa ekstrüdatları için yığın yoğunluğunun 0.16 ila 0.28 g/mL arasında değiştiğini ve ekstrüzyon sıcaklığındaki artışın yığın yoğunluğunu azalttığını bildirmiştir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Genişleme İndeksi	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)
120	14	0	4.88±0.02 ^{cA}	0.16±0.01 ^{cA}
		30	5.42±0.04 ^{bA}	0.30±0.01 ^{bA}
		100	5.83±0.02 ^{aA}	0.36±0.03 ^{aA}
	16	0	4.57±0.01 ^{cA}	0.11±0.01 ^{bA}
		30	5.00±0.02 ^{bA}	0.16±0.06 ^{aA}
		100	5.24±0.02 ^{aA}	0.19±0.02 ^{aA}
	18	0	4.39±0.11 ^{cA}	0.04±0.01 ^{bA}
		30	4.83±0.05 ^{bA}	0.08±0.02 ^{bA}
		100	5.22±0.01 ^{aA}	0.12±0.02 ^{aA}
140	14	0	5.22±0.02 ^{cB}	0.18±0.08 ^{cA}
		30	6.16±0.07 ^{aB}	0.35±0.06 ^{bB}
		100	5.99±0.09 ^{bB}	0.42±0.03 ^{aB}
	16	0	5.04±0.01 ^{cB}	0.07±0.01 ^{bB}
		30	6.08±0.03 ^{bB}	0.35±0.04 ^{aB}
		100	6.21±0.06 ^{aB}	0.37±0.05 ^{aA}
	18	0	4.92±0.01 ^{bB}	0.17±0.01 ^{cB}
		30	5.86±0.04 ^{aB}	0.35±0.04 ^{bB}
		100	5.95±0.20 ^{aA}	0.37±0.13 ^{aB}

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Ekstrüde atıştırmalıkların genişleme özellikleri tüketici tarafından kabul edilebilirlikle doğrudan ilişkili olduğu için önemlidir. Çünkü ekstrüde ürünlerin hafif kabarcık bir yapıya sahip olması beklenir (Ainsworth vd. 2007). Ekstrüzyonla pişirilen akışkanlaşmış madde kalıptan çıktığında, atmosferik basınç ekstrüzyon kovani basıncına kıyasla daha düşüktür; bu nedenle, basınçtaki ani bir düşüş iç nemin parlayarak ürünü genişletmesine neden olur (Altan vd. 2008).

Artan sıcaklığın dekstrinizasyonu ve yapının zayıflamasını arttırdığı, bunun da daha düşük genişlemeye neden olduğu bildirilmiştir (Mendonca vd. 2000). Genleşme, erimiş malzeme kalıptan çıkarken basınçtaki ani düşüşten kaynaklanan su buharlaşması nedeniyle gerçekleşir. Bu nedenle su, ekstrüde edilen materyalde kabarcık oluşumuna neden olur ve materyali gözenekli hale getirir (Sawant vd. 2013). Leonel vd. (2009) da

düşük nem koşulları altında namlu sıcaklığındaki artışın daha fazla genleşmeye yol açtığını bildirmiştir.

Mevcut çalışmada mısır irmiğine farklı oranlarda siyah pirinç unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerde genişleme indeksi (Gİ) değerleri 4.39-6.21 arasında, yığın yoğunluğu değerleri ise 0.04-0.42 g/cm³ arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.4.'ten, yığın yoğunluğunun ekstrüderin kalıp çapının sıcaklık ve besleme nemi etkileşiminden önemli ölçüde etkilendiği açıkça görülebilmektedir ($p < 0.05$).

Siyah pirinç katma oranına bağlı olarak genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Bununla birlikte, daha yüksek besleme nemiyle, muhtemelen nişasta jelatinleşmesi azalmış ve gaz kabarcığı büyümesi geciktirilmiş, bu da yığın yoğunluğu daha fazla olan nihai ürünlerle sonuçlanmıştır. Gonza'lez vd. (2013), yüksek nem koşullarında, ürün kalıptan çıktığında genleşmenin meydana geldiğini, ancak yapının soğumadan önce çöktüğünü ve bunun da daha yoğun bir ürünle sonuçlandığını bildirmiştir.

Çalışmada siyah pirinç ununun aynı katma oranı ve besleme neminde, farklı sıcaklıktaki genişleme indeksi değerleri ortalamaları karşılaştırıldığında aralarındaki farklar %100 siyah pirinç unundan üretilen ekstrüdatlar hariç istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Genişleme indeksi, ekstrüde ürünün besleme koşulları ve işleme değişkenleri tarafından kontrol edilen önemli özelliklerinden biridir. Çalışmada mısır irmiğine farklı oranlarda kavılca unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerde genişleme indeksi (Gİ) değerleri 2.97-5.32 arasında, yığın yoğunluğu değerleri ise 0.02-0.45 g/cm³ arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Genişleme indeksi değerleri %100 mısır irmiğinden üretilen şahit ürünle kıyaslandığında %30 katma oranında artış göstermiş, %100 kavılca unu kullanıldığında ise azalmıştır ($p < 0.05$).

Çizelge 4.5 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Genişleme İndeksi	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)
120	14	0	4.88±0.02 ^{bA}	0.16±0.01 ^{bA}
		30	5.17±0.03 ^{aA}	0.31±0.07 ^{aA}
		100	4.05±0.06 ^{cA}	0.16±0.07 ^{bA}
	16	0	4.57±0.01 ^{bA}	0.11±0.01 ^{bA}
		30	4.93±0.03 ^{aA}	0.27±0.02 ^{aA}
		100	3.62±0.05 ^{cA}	0.10±0.11 ^{bA}
	18	0	4.39±0.11 ^{aA}	0.04±0.01 ^{bA}
		30	4.15±0.01 ^{aA}	0.14±0.05 ^{aA}
		100	2.97±0.11 ^{bA}	0.02±0.02 ^{bA}
140	14	0	5.22±0.02 ^{aB}	0.18±0.08 ^{bA}
		30	5.21±0.07 ^{aA}	0.41±0.11 ^{aB}
		100	3.18±0.02 ^{bB}	0.13±0.12 ^{cB}
	16	0	5.04±0.01 ^{bB}	0.07±0.01 ^{bB}
		30	5.32±0.04 ^{aB}	0.45±0.02 ^{aB}
		100	3.15±0.08 ^{cB}	0.05±0.14 ^{bA}
	18	0	4.92±0.01 ^{bB}	0.17±0.01 ^{bB}
		30	5.16±0.19 ^{aB}	0.32±0.21 ^{aB}
		100	3.07±0.02 ^{cA}	0.03±0.11 ^{cA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Ekstrüzyon sıcaklığı sabit tutulduğunda (120°C) ve besleme nem içeriği arttıkça genişleme indeksi değerleri tüm katma oranlarında azalmıştır. Ekstrüzyon sıcaklığı 140°C'de sabit tutulduğunda ise %30 kavılca unu katkılı %16 besleme neminde üretilen ürün hariç diğer katma oranlarının hepsinde besleme neminin artmasıyla genişleme indeksindeki azalış benzer şekilde gözlemlenmiştir.

Oliveira vd. (2017)'e göre, yüksek genişleme indeksi değerine sahip örnekler aynı zamanda yüksek spesifik hacim değerine sahiptir ve bu parametreler için besleme nemi, genleşme üzerinde sıcaklıktan daha büyük bir etki göstermektedir. Bu durum, çalışmada elde edilen ekstrüdatların, proseste kullanılan sıcaklıklardan bağımsız olarak, düşük besleme nemi nedeniyle daha yüksek genleşme oranları gösterdiğini gözlemlenmenin mümkün olduğu Çizelge 4.5'te görülebilir.

Ekstrüde ürünlerin yığın yoğunluğu değerleri incelendiğinde, genişleme indeksine paralel olarak, %100 mısır irmiğinden üretilen şahit ürünle kıyaslandığında %30 katma oranında artış göstermiş, %100 kavılca unu kullanıldığında ise artmıştır ($p < 0.05$). Tüm ekstrüde ürünler içerisinde en düşük genişleme indeksi (2.97) ve yığın yoğunluğu değerleri (0.02 g/cm^3) %100 kavılca unundan elde edilen ekstrüde ürünlerden elde edilmiştir.

Genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri üzerine sıcaklığın etkisi incelendiğinde, namlu çıkış sıcaklığının 120°C den 140°C ye çıkmasıyla birlikte, şahit örneğin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri artış eğilimi göstermiştir. %100 kavılca unundan elde edilen ekstrüde ürünlerde ise sıcaklığın artmasıyla genişleme indeksi %14 ve %16 besleme nemi içeriğinde azalmış, %18 besleme neminde ise artmıştır.

4.3.2 Ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Gıda ürünlerinin renginin tüketici algısını ve kabul edilebilirliğini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Çünkü renk, işleme ve depolama nedeniyle ürünlerin kalitesinde meydana gelen değişikliklerin bir göstergesi olarak algılanmaktadır (Lawless ve Heymann, 1999). Bu test işlenmiş arpa için önemlidir çünkü arpa ürünlerinin rengi işlendikten sonra kahverengileşme eğilimindedir ve kullanımını sınırlayıcı faktörler arasında olduğu bildirilmiştir (Lagassé vd. 2006).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) değerleri ve toplam renk farklılıkları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Ekstrüde ürünlerin L^* (parlaklık) değerleri 75.65-88.31, a^* (kırmızılık) değerleri 4.69-7.16, b^* (sarılık) değerleri ise 18.69-35.59 arasında değişmektedir. Ekstrüdat renk değişiminin derecesini ölçen ΔE , 140°C , %14 besleme neminde %30 arpa unu katılı ekstrüde üründe en düşük (5.60) ve 120°C , %18 besleme neminde %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen ekstrüde üründe en yüksek (20.99) bulunmuştur. Üç renk parametresi için de en yüksek değerler %100 mısır irmiğinden üretilmiş şahit örneklerde görülmüştür. Katma oranı arttıkça bütün parametrelerde azalma gözlenmiştir ($p < 0.05$).

%14 besleme nem içeriğinde sıcaklık 120°C' den 140°C'ye çıkarıldığında tüm renk parametreleri üzerindeki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). %16 besleme neminde ise %100 arpa unundan üretilen ekstrüde ürünlerde tüm renk parametreleri üzerine sıcaklık artışının önemli bir etkisi olmamıştır ($p > 0.05$).

En düşük L*parlaklık değeri 120°C sıcaklıkta, %18 besleme neminde %100 arpa unundan elde edilen ekstrüde üründe belirlenmiştir. En düşük kırmızılık ve sarılık değeri ise 140°C sıcaklıkta, %18 besleme neminde %100 arpa unundan elde edilen ekstrüde üründe gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	L*	a*	b*	ΔE^*
120	14	0	84.92±0.04 ^{aA}	6.09±0.08 ^{aA}	32.93±0.09 ^{aA}	
		30	82.95±0.12 ^{bA}	5.21±0.06 ^{bA}	26.06±0.04 ^{bA}	7.20
		100	77.91±0.53 ^{cA}	4.92±0.01 ^{cA}	18.99±0.05 ^{cA}	15.65
	16	0	85.53±0.09 ^{aA}	6.14±0.05 ^{aA}	35.23±0.06 ^{aA}	
		30	83.07±0.24 ^{bA}	5.78±0.04 ^{bA}	27.82±0.02 ^{bA}	7.82
		100	76.37±0.41 ^{cA}	5.06±0.13 ^{cA}	18.80±0.11 ^{cA}	18.84
	18	0	88.31±0.37 ^{aA}	5.03±0.23 ^{aA}	35.59±0.01 ^{aA}	
		30	81.80±0.11 ^{bA}	4.99±0.04 ^{aA}	28.69±0.13 ^{bA}	9.49
		100	75.65±0.05 ^{cA}	4.97±0.08 ^{aA}	18.85±0.16 ^{cA}	20.99
140	14	0	81.85±0.02 ^{aB}	7.16±0.03 ^{aB}	31.90±0.04 ^{aB}	
		30	79.97±0.01 ^{bB}	6.41±0.13 ^{bB}	26.68±0.15 ^{bB}	5.60
		100	75.99±0.36 ^{cB}	5.64±0.04 ^{cB}	20.05±0.10 ^{cB}	13.31
	16	0	84.65±0.04 ^{aB}	6.18±0.02 ^{aA}	32.50±0.06 ^{aB}	
		30	82.00±0.16 ^{bB}	5.19±0.15 ^{bB}	27.11±0.40 ^{bA}	6.09
		100	76.81±0.01 ^{cA}	5.17±0.04 ^{bA}	19.01±0.10 ^{cA}	15.64
	18	0	87.80±0.08 ^{aA}	5.45±0.01 ^{aA}	33.72±0.04 ^{aB}	
		30	82.65±0.17 ^{bB}	4.76±0.26 ^{bA}	27.94±0.31 ^{bA}	7.77
		100	76.31±0.04 ^{cB}	4.69±0.01 ^{bA}	18.69±0.06 ^{cA}	18.93

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir ($p < 0.05$).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir ($p < 0.05$).

L* değeriindeki azalma Maillard reaksiyonunun başlaması ve yayılmasıyla kahverengi pigmentlerin üretilmesinden kaynaklanıyor olabilir (Rufián-Henares ve Delgado-Andrade, 2009). L* değerinin artan namlu sıcaklığı ile azaldığı ve artan nem içeriği ile arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriği Maillard reaksiyonunu desteklemiştir (Gulzar vd. 2021). Maillard pigmentleri gıda ürünlerinin renk, aroma ve lezzetine katkıda bulunabilmektedir. Yapılan bir çalışmada, a* değerinin arpa çeşitleri arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiği ($p<0.05$) ve ekstrüzyondan sonra arttığı bildirilmiştir (Punia Bangar vd. 2022). Bu değerin 150 ve 180°C'de yapılan ekstrüzyon için sırasıyla 1.01 ila 1.79 ve 1.34 ila 2.03 arasında değiştiği bildirilmiştir. Kırmızılık ve sarılıktaki artış, sıcaklık, nem içeriği, reaktan konsantrasyonu ve reaksiyon süresinden etkilenen Maillard ürünlerine de atfedilebilir (Stojceska vd. 2009). Gupta vd. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, pirinç bazlı ekstrüde atıştırmalıkların geliştirilmesinde arpa ununun etkisi araştırılmış, besleme nemi içeriği arttıkça, yüksek L* değeri ve düşük a* değeri ile karakterize edilen ekstrüdatların renginin daha parlak olduğu bildirilmiştir. Reshi vd. (2020) tarafından yapılan, çift vidalı ekstrüder kullanılarak geliştirilen demir takviyeli, düşük glisemik indeksli (GI) arpa bazlı ekstrüde tüketime hazır atıştırmalıkların fizikokimyasal özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, en yüksek ekstrüzyon sıcaklığında (160°C) elde edilen ekstrüdatların en az parlaklık değeri gösterdiği ($L^* = 40$), ancak en düşük ekstrüzyon sıcaklığı olan 95°C'de elde edilen ekstrüdatların en parlak ($L^* = 62.98$) olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada genel olarak üç bağımsız değişkenden (besleme nemi (A), vida hızı (B) ve kovan sıcaklığı (C)), kovan sıcaklığının (B) renk koordinatları üzerindeki etkisinin en fazla olduğu ifade edilmiştir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç (Siyah 1) tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin L* (parlaklık), a* (kırmızılık), b* (sarılık) değerleri ve toplam renk farklılıkları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Renk, gıda ürünlerinin kabul edilebilirliğini belirleyen önemli bir kalite faktörüdür ve ekstrüde ürünler için önemli bir kalite parametresidir (Sihag vd. 2016). Siyah pirinç katkılı ekstrüde ürünlerin L* (parlaklık) değerleri 38.85-88.31, a* (kırmızılık) değerleri 5.03-7.90, b* (sarılık) değerleri ise 3.30-35.59 arasında değişmektedir. Ekstrüdat renk değişiminin derecesini ölçen ΔE , 140°C sıcaklıkta, %14 besleme neminde %30 siyah pirinç unu katkılı ekstrüde üründe en düşük (36.60) ve 120°C de, %18 besleme neminde %100 siyah pirinç unundan üretilen ekstrüde üründe en

yüksek (59.08) bulunmuştur. Her iki sıcaklık değeri için de besleme nemi içeriği arttıkça L* parlaklık değerinde azalma gözlenmiştir.

Çizelge 4.7 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	L*	a*	b*	ΔE*
120	14	0	84.92±0.04 ^{aA}	6.09±0.08 ^{cA}	32.93±0.09 ^{aA}	40.68
		30	51.89±0.23 ^{bA}	7.56±0.05 ^{aA}	9.23±0.06 ^{bA}	
		100	41.71±0.29 ^{cA}	6.83±0.01 ^{bA}	3.91±0.01 ^{cA}	
	16	0	85.53±0.09 ^{aA}	6.14±0.05 ^{cA}	35.23±0.06 ^{aA}	43.34
		30	51.01±0.07 ^{bA}	7.45±0.02 ^{aA}	9.06±0.02 ^{bA}	
		100	39.62±0.11 ^{cA}	6.47±0.13 ^{bA}	3.57±0.06 ^{cA}	
	18	0	88.31±0.37 ^{aA}	5.03±0.23 ^{cA}	35.59±0.01 ^{aA}	44.20
		30	53.07±0.38 ^{bA}	6.74±0.04 ^{aA}	8.96±0.07 ^{bA}	
		100	38.85±0.46 ^{cA}	6.16±0.11 ^{bA}	3.30±0.18 ^{cA}	
140	14	0	81.85±0.02 ^{aB}	7.16±0.03 ^{cB}	31.90±0.04 ^{aB}	36.60
		30	52.41±0.23 ^{bA}	7.90±0.71 ^{aB}	10.17±0.07 ^{bB}	
		100	40.98±0.13 ^{cA}	7.61±0.08 ^{bB}	4.49±0.08 ^{cB}	
	16	0	84.65±0.04 ^{aB}	6.18±0.02 ^{cA}	32.50±0.06 ^{aB}	38.45
		30	53.88±0.26 ^{bB}	7.54±0.07 ^{aA}	9.49±0.08 ^{bB}	
		100	39.40±0.47 ^{cA}	7.21±0.04 ^{bB}	3.88±0.02 ^{cB}	
	18	0	87.80±0.08 ^{aA}	5.45±0.01 ^{cA}	33.72±0.04 ^{aB}	42.68
		30	52.93±0.12 ^{bA}	7.25±0.10 ^{aB}	9.18±0.08 ^{bB}	
		100	39.00±0.32 ^{cA}	6.74±0.15 ^{bB}	3.55±0.05 ^{cB}	

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Renkli pirinç çeşitleri, belirli fenolik bileşiklerin varlığı nedeniyle karakteristik bir tane rengi sunar. Siyah pirinçteki antosiyaninler tanelere tipik rengini veren ana bileşiklerdir (Shao vd. 2018). Çalışmadaki ekstrüzyon koşulları ekstrüdatların rengini değiştirmiştir. Ekstrüde ürünlerin L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerleri hem besleme neminden hem de sıcaklıktan etkilenmiştir (p <0.05). Siyah pirinç katkılı unlarda ekstrüzyon işlemiyle daha koyu renkte ekstrüde ürünler elde edilmiştir. Ekstrüde ürünlerin renkleri, hammaddelerdeki doğal pigmentlerin varlığının bir sonucudur ve koyulaşma, ekstrüzyon işlemi sırasında meydana gelen Maillard ve karamelizasyon gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile açıklanabilir. Ayrıca, pigmentlerin

bozunması da gerçekleşebilir ve ekstrüde ürünlerdeki renk değişimine katkıda bulunabilir. Yapılan çalışmalarda, ekstrüzyon koşullarının ekstrüde ürünlerin koyulaşma derecesini etkilediği bildirilmiştir (Oliveira vd. 2017; Dalbhagat vd. 2019). Hussain vd. (2015) tarafından ekstrüzyon teknolojisi ile yeniden üretilmiş pirinç üzerine bir çalışma yürütürken benzer bir eğilim rapor edilmiştir. Termoplastik ekstrüzyonda normalde kullanılan proses koşullarının (yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriği) indirgen şekerler ve amino asitler arasındaki reaksiyonu (Maillard reaksiyonu) desteklediği ve bunun da renk bozulması veya renk bileşiklerinin oluşumuyla sonuçlandığı ifade edilmektedir (Mercier vd. 2001). Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin L* (parlaklık), a* (kırmızılık), b* (sarılık) değerleri ve toplam renk farklılıkları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin renk değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	L*	a*	b*	ΔE*
120	14	0	84.92±0.04 ^{aA}	6.09±0.08 ^{aA}	32.93±0.09 ^{aA}	
		30	80.15±0.23 ^{bA}	5.58±0.24 ^{aA}	29.42±0.05 ^{bA}	5.94
		100	75.55±0.13 ^{cA}	5.93±0.07 ^{aA}	17.18±0.09 ^{cA}	18.33
	16	0	85.53±0.09 ^{aA}	6.14±0.05 ^{bA}	35.23±0.06 ^{aA}	
		30	79.92±0.19 ^{bA}	5.56±0.21 ^{cA}	30.97±0.11 ^{bA}	7.07
		100	74.27±0.09 ^{cA}	6.52±0.13 ^{aA}	17.47±0.14 ^{cA}	21.03
	18	0	88.31±0.37 ^{aA}	5.03±0.23 ^{bA}	35.59±0.01 ^{aA}	
		30	80.06±0.28 ^{bA}	5.34±0.28 ^{bA}	31.10±0.19 ^{bA}	9.40
		100	72.49±0.16 ^{cA}	6.99±0.19 ^{aA}	17.90±0.18 ^{cA}	23.81
140	14	0	81.85±0.02 ^{aB}	7.16±0.03 ^{aB}	31.90±0.04 ^{aB}	
		30	79.60±0.08 ^{bA}	6.52±0.13 ^{bA}	25.02±0.14 ^{bB}	7.27
		100	75.49±0.05 ^{cA}	5.78±0.15 ^{cA}	17.50±0.08 ^{cB}	15.80
	16	0	84.65±0.04 ^{aB}	6.18±0.02 ^{aA}	32.50±0.06 ^{aB}	
		30	82.46±0.18 ^{bB}	5.22±0.04 ^{bB}	24.82±0.13 ^{bB}	8.04
		100	73.04±0.23 ^{cB}	6.55±0.30 ^{aA}	18.10±0.18 ^{cA}	18.50
	18	0	87.80±0.08 ^{aA}	5.45±0.01 ^{bA}	33.72±0.04 ^{aB}	
		30	82.28±0.28 ^{bB}	5.08±0.27 ^{bA}	25.27±0.63 ^{bB}	10.10
		100	72.24±0.12 ^{cA}	6.65±0.15 ^{aB}	17.49±0.14 ^{cA}	22.52

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin L* (parlaklık) değerleri 72.24-88.31, a* (kırmızılık) değerleri 5.03-7.16, b* (sarılık) değerleri ise 17.18-35.59 arasında değişmektedir. Ekstrüdat renk değişiminin derecesini ölçen ΔE , 120°C'de, %14 besleme neminde %30 kavılca unu katkılı ekstrüde üründe en düşük (5.94) ve 120°C'de, %18 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen ekstrüde üründe en yüksek (23.81) bulunmuştur. Her iki sıcaklık değeri için de besleme nemi içeriği arttıkça L* değerinde azalma gözlenmiştir.

Toplam renk değişimleri kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılca tahıllarının hepsinde en fazla 120°C namlu sıcaklığı ve %18 besleme neminde gözlenmiştir. Ekstrüdatların a* kırmızılık değerleri incelendiğinde her iki namlu sıcaklığında da, besleme nemindeki artışla birlikte şahit örneklerde ve %30 kavılca unu katkılı örneklerde azalma, %100 kavılca unundan üretilen örneklerde ise artış gözlenmiştir. Sıcaklık artışının b* sarılık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, ortalamalar arasındaki farklılıklar %100 kavılca unundan üretilen örnekler hariç tüm katma oranı ve besleme nemi içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

4.3.3 Ekstrüde ürünlerin tekstür özellikleri

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin sertlik değerleri 753.28-2581.27 g ve gevreklik (pik sayısı) değerleri 4.40-20.15 arasında değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sertlik değerinde, %14 ve %18 besleme nemindeki bütün katma oranlarındaki ortalamalar arasında bulunan farklar istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Sıcaklığın artması ile gevreklik değerinde ise %16 besleme nemindeki bütün katma oranlarındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Çizelge 4.9 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Sertlik (g)	Gevreklik (pik sayısı)
120	14	0	894.84±2.12 ^{aA}	18.80±0.28 ^{aA}
		30	930.16±12.26 ^{aA}	19.40±0.14 ^{aA}
		100	956.77±59.42 ^{aA}	15.15±0.49 ^{bA}
	16	0	998.28±61.96 ^{bA}	11.00±0.42 ^{bA}
		30	1121.62±47.21 ^{bA}	13.50±0.71 ^{aA}
		100	1741.89±77.05 ^{aA}	4.40±0.14 ^{cA}
	18	0	1140.45±26.08 ^{bA}	5.50±0.71 ^{bA}
		30	2379.58±117.84 ^{aA}	11.85±0.21 ^{aA}
		100	2581.27±107.86 ^{aA}	6.80±0.85 ^{bA}
140	14	0	753.28±24.89 ^{cB}	17.35±0.21 ^{bB}
		30	876.17±17.84 ^{bB}	20.10±0.57 ^{aA}
		100	1223.43±18.62 ^{aB}	12.30±0.28 ^{cB}
	16	0	822.10±25.74 ^{bA}	16.25±0.35 ^{bB}
		30	870.63±8.74 ^{bB}	20.15±0.07 ^{aB}
		100	1489.49±11.46 ^{aA}	10.15±0.21 ^{cB}
	18	0	982.27±14.45 ^{bB}	14.95±0.35 ^{bB}
		30	1053.34±93.64 ^{bB}	19.50±0.71 ^{aB}
		100	1736.35±55.45 ^{aB}	8.85±0.21 ^{cA}

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

120 °C namlu sıcaklığı %14 besleme nemi uygulamasında, katma oranı arttıkça sertlik değerinde artış gözlenmiş, fakat bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p >0.05). Her iki sıcaklıkta da besleme nemi artışıyla sertlik değerinde artma ve gevreklik değerinde azalma gözlenmiştir. Bunun başlıca nedeni, akışkanlaşmış maddenin kalıptan çıkarken buhar kabarcıklarının oluşumunda önemli bir rol oynayan besleme materyali içeriğinin formülasyonudur (Kokini vd. 1992). Lotfi Shirazi vd. (2020) de arpa unu ve havuç posasından ekstrüde edilmiş çerezin sertliğinin nem içeriğindeki artışla birlikte arttığını bildirmiştir. Çizelge 4.9’da, %100 arpa unundan üretilen ekstrüdatlarda her iki sıcaklıkta besleme nemi artışıyla sertliğin arttığı, ancak gevrekliğin azaldığı görülmektedir. Çünkü daha yüksek bir arpa yüzdesi, genleşme için mevcut olan toplam nişastayı seyreltmekte, böylece genleşme süreci yavaşlamakta ve ürünü daha sert ve yoğun hale getirmektedir (Naveena ve Singh 2022).

Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi, ekstrüdatların sertliği namlu sıcaklığındaki artışla azalmıştır. Artan namlu sıcaklığı akışkanlaşmış maddenin viskozitesini düşürmekte, bu da kabarcık büyümesini teşvik etmekte, ekstrüzyon sırasında hücre duvarı kalınlığını azaltmakta ve sertliği düşürmektedir (Altan vd. 2008). Bu sonuçlar Yovchev vd. (2017)’nin bulgularıyla da uyumludur.

Sertlik tüketiciler için önemli bir kriterdir ve bu da ürünün genleşmesi ve yapısıyla ilişkili olabilir (Al-Rabadi vd. 2011). Önceki çalışmalarda ekstrüdatların dokusunun büyük ölçüde genleşme derecesine bağlı olduğu bildirilmiştir. Daha düşük radyal genleşme oranlarına sahip ekstrüdatların daha yüksek sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Chou ve Hsu 2021). Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç (Siyah 1) tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Sertlik (g)	Gevreklik (pik sayısı)
120	14	0	894.84±2.12 ^{aA}	18.80±0.28 ^{bA}
		30	473.62±10.43 ^{cA}	21.00±0.10 ^{aA}
		100	538.49±26.59 ^{bA}	21.50±0.71 ^{aA}
	16	0	998.28±61.96 ^{bA}	11.00±0.42 ^{aA}
		30	884.47±18.83 ^{bA}	11.50±0.71 ^{aA}
		100	1330.77±36.19 ^{aB}	11.35±0.49 ^{aB}
	18	0	1140.45±26.08 ^{bA}	5.50±0.71 ^{bA}
		30	955.18±60.26 ^{bA}	9.55±0.64 ^{aA}
		100	2032.40±104.76 ^{aA}	4.25±0.35 ^{bA}
140	14	0	753.28±24.98 ^{bB}	17.35±0.21 ^{cB}
		30	408.37±8.74 ^{cB}	27.60±0.57 ^{aB}
		100	888.40±14.44 ^{aB}	23.65±0.92 ^{bA}
	16	0	822.10±25.74 ^{aA}	16.25±0.35 ^{cB}
		30	416.85±2.11 ^{bB}	24.75±0.35 ^{aB}
		100	817.71±5.21 ^{aB}	22.00±0.21 ^{bB}
	18	0	982.27±14.45 ^{aB}	14.95±0.35 ^{aB}
		30	491.19±12.35 ^{bB}	13.00±0.18 ^{bB}
		100	1044.97±102.7 ^{aB}	12.55±0.78 ^{bB}

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin sertlik değerleri 408.37-2032.4 g ve gevreklik (pik sayısı) değerleri 4.25-27.6 arasında değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sertlik değerinde, %18 besleme nemindeki bütün katma oranlarındaki ortalamalar arasında bulunan farklar istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Gevreklik değerinde ise %16 ve %18 besleme nemindeki bütün katma oranlarındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Her iki sıcaklıkta da besleme nemi artışıyla sertlik değerinde artma ve gevreklik değerinde azalma gözlenmiş ve bu artma ve azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Namlu sıcaklığının 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla %100 siyah pirinç unundan elde edilen ekstrüdatların sertlik değeri yaklaşık iki kat azalmış, gevreklik değeri ise üç katına çıkmıştır (Çizelge 4.10). Benzer bir çalışmada da sıcaklık arttıkça gevreklik değerinin arttığı bildirilmiştir (Brennan vd. 2011).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin sertlik ve gevreklik değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Sertlik (g)	Gevreklik (pik sayısı)
120	14	0	894.84±2.12 ^{aA}	18.80±0.28 ^{aA}
		30	615.90±12.74 ^{bA}	16.50±0.71 ^{abA}
		100	947.16±26.98 ^{aA}	14.20±1.13 ^{bA}
	16	0	998.28±61.96 ^{bA}	11.00±0.42 ^{aA}
		30	829.79±10.50 ^{cA}	12.50±0.71 ^{aA}
		100	1323.20±32.56 ^{aA}	9.40±0.14 ^{bA}
	18	0	1140.45±26.08 ^{bA}	5.50±0.71 ^{bA}
		30	867.43±24.34 ^{cA}	9.00±0.43 ^{aA}
		100	1950.62±66.55 ^{aA}	5.30±0.14 ^{bA}
140	14	0	753.28±24.98 ^{aB}	17.35±0.21 ^{cB}
		30	475.27±34.55 ^{bB}	19.00±0.23 ^{aA}
		100	824.79±23.43 ^{aB}	18.10±0.14 ^{bA}
	16	0	822.10±25.74 ^{bA}	16.25±0.35 ^{bB}
		30	558.85±22.51 ^{cB}	20.50±0.71 ^{aB}
		100	1240.99±50.42 ^{aA}	15.55±0.78 ^{bB}
	18	0	982.27±14.45 ^{bB}	14.95±0.35 ^{aB}
		30	614.44±15.40 ^{cB}	15.50±0.71 ^{aB}
		100	1386.54±55.15 ^{aB}	11.00±0.29 ^{bB}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin sertlik değerleri 475.27-1950.62 g ve gevreklik (pik sayısı) değerleri 5.3-20.5 arasında değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sertlik ve gevreklik değerlerinde, %18 besleme nemindeki bütün katma oranlarındaki ortalamalar arasında bulunan farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p <0.05). Her iki sıcaklıkta da besleme nemi artışıyla sertlik değerinde artma ve gevreklik değerinde azalma gözlenmiş ve bu artma ve azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p <0.05). Namlu sıcaklığının 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla %100 kavılca unundan elde edilen ekstrüdatların sertlik değerinde azalma, gevreklik değerlerinde artma gözlenmiştir (p <0.05). Yao vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada benzer şekilde, yüksek sıcaklıklardaki ekstrüzyon işlemi sonucunda daha düşük sertlik değerlerine sahip ekstrüzyon ürünleri üretildiği rapor edilmiştir. Artan namlu çıkış sıcaklığı ile sertlik değerlerinde gözlenen azalma, yığın yoğunluğu parametresinde artan namlu sıcaklığı ile birlikte gözlenen azalma ile paralellik göstermektedir. Düşük yığın yoğunluğu değerine

sahip ekstrüde ürünlerin daha düşük sertlik değerine sahip olduğu bildirilmiştir (Samray 2018).

4.4 Ekstrüde Ürünlerin Kimyasal Özellikleri

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin protein ve kül miktarları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Ekstrüde ürünlerin protein içeriğini artırmak ve esansiyel amino asit dengesini iyileştirmek için yüksek proteinli, yüksek lizinli tahıllarca zenginleştirilmesine geçmiş yıllardan beri büyük ilgi gösterilmiştir (Obatolu ve Cole, 2000).

Çizelge 4.12 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Protein Miktarı* (% , Nx 6.25)	Kül Miktarı* (%)
120	14	0	7.08±0.2 ^{cA}	0.71±0.07 ^{cA}
		30	9.70±0.1 ^{bA}	0.97±0.05 ^{bA}
		100	15.95±0.1 ^{aA}	1.70±0.03 ^{aA}
	16	0	7.11±0.3 ^{cA}	0.71±0.12 ^{cA}
		30	9.86±0.3 ^{bA}	0.99±0.11 ^{bA}
		100	16.18±0.42 ^{aA}	1.61±0.09 ^{aA}
	18	0	7.08±0.23 ^{cA}	0.72±0.14 ^{cA}
		30	9.74±0.21 ^{bA}	0.95±0.04 ^{bA}
		100	16.16±0.42 ^{aA}	1.71±0.01 ^{aA}
140	14	0	7.04±0.12 ^{cA}	0.69±0.03 ^{cA}
		30	9.87±0.24 ^{bA}	0.97±0.11 ^{bA}
		100	16.14±0.31 ^{aA}	1.78±0.13 ^{aA}
	16	0	7.09±0.15 ^{cA}	0.69±0.07 ^{cA}
		30	9.82±0.2 ^{bA}	0.97±0.02 ^{bA}
		100	16.37±0.27 ^{aA}	1.77±0.03 ^{aA}
	18	0	7.04±0.33 ^{cA}	0.69±0.05 ^{cA}
		30	9.59±0.4 ^{bA}	0.97±0.09 ^{bB}
		100	16.38±0.22 ^{aA}	1.76±0.19 ^{aA}

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Kavuzsuz arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin protein miktarları %7.08-16.38, kül miktarları ise %0.69-1.78 arasında değişmektedir. Namlu çıkış sıcaklığının 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla protein ve kül miktarında gözlenen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). En düşük protein ve kül içerikleri %100 mısır irmiğinden elde edilen ekstrüdatlarda bulunurken, en yüksek değerler %100 arpa unundan üretilen örneklerde gözlenmiştir. Her sıcaklık derecesi ve besleme nemi içeriklerinde katma oranına bağlı olarak protein ve kül miktarlarında artış gözlenmiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Hammadde bileşimine bağlı olarak ekstrüde ürün üretiminde tam arpa unu kullanımıyla protein ve kül değerleri %100 mısır irmiğinden üretilen şahit örneklerle nazaran iki kattan fazla artış göstermiştir.

120°C ve %14 nem koşulunda üretilen ürünlerde protein içeriği %7.08'den (%0) %15.95'e (%100) yükselmiştir. Benzer şekilde, 140°C ve %16 nemde şahit örnekte protein miktarı %7.09 iken, %100 arpa ununda üretilen örnekte %16.37'ye çıkmıştır. Bu durum, kavuzsuz arpa ununun doğal olarak mısıra göre daha yüksek protein içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Besleme neminin artışı protein içeriğini olumlu etkilemiştir. Özellikle %18 besleme neminde protein miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, muhtemelen ekstrüzyon sırasında suyun proteinlerin denatüre olma eğilimini azaltarak daha yüksek korunum sağlamasıyla ilişkilendirilebilir. Namlu çıkış sıcaklığının protein içeriği üzerindeki etkisi sınırlıdır. 120°C ve 140°C sıcaklık seviyelerinde benzer eğilimler gözlemlenmiştir. Ancak, 140°C sıcaklık seviyesinde protein miktarlarının genellikle biraz daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bu durum, ekstrüzyon sürecinde daha yüksek sıcaklığın proteinlerin daha iyi çözünmesini ve daha etkili denatüre olmasını sağlamasından kaynaklanabilir.

Kavuzsuz arpa unu katma oranı arttıkça kül miktarında da belirgin bir artış gözlemlenmiştir. 120°C ve %14 nemde şahit örneklerde kül içeriği %0.71 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %1.70'e çıkmıştır. Benzer şekilde, 140°C ve %18 nemde şahit örnekte kül içeriği %0.69 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %1.76'ya yükselmiştir. Besleme neminin kül miktarına etkisi protein içeriğine kıyasla daha azdır.

Kumari vd. (2018) tarafından yapılan bir araştırmada, ekstrüde örneklerle arpa unu ilavesinin protein içeriğinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir. Arpa unu içeren örneklerin, pirinç ekstrüde atıştırmalıklara kıyasla daha fazla protein içerdiği rapor edilmiştir. En yüksek protein içeriği %8.71 ile pirinç+%40 kavuzsuz arpa unu ekstrüde atıştırmalıklarda gözlenirken, en düşük protein içeriği %7.77 ile pirinç ekstrüde atıştırmalıklarda bulunduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada en yüksek kül içeriği %1.49 ile pirinç+%40 kavuzlu arpadan hazırlanan ekstrüde atıştırmalıklarda, en düşük kül içeriği ise sadece %0.56 ile pirinç unundan hazırlanan ekstrüde atıştırmalıklarda gözlenmiştir. Kavuzlu arpadan hazırlanan ekstrüde atıştırmalıklardaki kül içeriğinin kavuzsuz arpadan hazırlanan ekstrüde atıştırmalıklara kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, kavuzlu arpanın kavuzsuz arpaya kıyasla daha yüksek miktarda mineral içermesine bağlanabilir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin protein ve kül miktarları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin protein miktarları %7.08-13.32, kül miktarları ise %0.69-1.59 arasında değişmektedir. Namlu çıkış sıcaklığının 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla protein ve kül miktarında gözlenen değişimler %100 siyah pirinç unundan üretilen örnekler hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). En düşük protein ve kül içerikleri %100 mısır irmiğinden elde edilen ekstrüdatlarda bulunurken, en yüksek değerler %100 siyah pirinç unundan üretilen örneklerde gözlenmiştir. Her sıcaklık derecesi ve besleme nemi içeriklerinde katma oranına bağlı olarak protein ve kül miktarlarında artış gözlenmiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.13 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Protein Miktarı* (% , Nx6.25)	Kül Miktarı* (%)
120	14	0	7.08±0.2 ^{cA}	0.71±0.07 ^{cA}
		30	9.00±0.13 ^{bA}	0.96±0.06 ^{bA}
		100	13.16±0.11 ^{aA}	1.48±0.12 ^{aA}
	16	0	7.11±0.3 ^{cA}	0.71±0.12 ^{cA}
		30	9.01±0.05 ^{bA}	0.97±0.05 ^{bA}
		100	13.11±0.03 ^{aA}	1.57±0.1 ^{aA}
	18	0	7.08±0.23 ^{cA}	0.72±0.14 ^{cA}
		30	8.97±0.15 ^{bA}	0.94±0.19 ^{bA}
		100	13.28±0.27 ^{aA}	1.53±0.08 ^{aA}
140	14	0	7.04±0.12 ^{cA}	0.69±0.03 ^{cA}
		30	8.93±0.13 ^{bA}	0.94±0.02 ^{bA}
		100	13.23±0.09 ^{aB}	1.57±0.05 ^{aA}
	16	0	7.09±0.15 ^{cA}	0.69±0.07 ^{cA}
		30	8.94±0.08 ^{bA}	0.97±0.03 ^{bA}
		100	13.32±0.13 ^{aA}	1.59±0.18 ^{aA}
	18	0	7.04±0.33 ^{cA}	0.69±0.05 ^{cA}
		30	9.08±0.12 ^{bA}	0.97±0.13 ^{bA}
		100	13.16±0.16 ^{aA}	1.58±0.12 ^{aB}

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Singh vd. (2010) tarafından kırık pirinç ve buğday kepeği karışımlarından hazırlanan ekstrüde atıştırmalıkların %0.7 ile 5.1 arasında değişen bir kül içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir.

Bedier vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada siyah pirinç unundan noodle örnekleri üretilmiş, kontrol örneğinde sırasıyla %10.42 ve %0.57 olan protein ve lif içeriğinin siyah pirinç unu ilavesi arttıkça %5, 10, 15 ve 20 siyah pirinç unu içeren örneklerde arttığı bildirilmiştir. En yüksek değerler sırasıyla %12.56 ve %0.83 olan %20 siyah pirinç unu içeren örneklerde rapor edilmiş, %20 katma oranında kül içeriğinin de kontrol örneğine (%4.65) kıyasla önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin protein ve kül miktarları Çizelge 4.14' te verilmiştir.

Çizelge 4.14 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin protein ve kül içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Protein Miktarı* (%, Nx6.25)	Kül Miktarı* (%)
120	14	0	7.08±0.2 ^{cA}	0.71±0.07 ^{cA}
		30	9.92±0.24 ^{bA}	0.99±0.03 ^{bA}
		100	16.38±0.37 ^{aA}	1.72±0.11 ^{aA}
	16	0	7.11±0.3 ^{cA}	0.71±0.12 ^{cA}
		30	9.96±0.05 ^{bA}	1.02±0.09 ^{bA}
		100	16.30±0.44 ^{aA}	1.73±0.17 ^{aA}
	18	0	7.08±0.23 ^{cA}	0.72±0.14 ^{cA}
		30	9.87±0.28 ^{bA}	1.01±0.02 ^{bA}
		100	16.36±0.39 ^{aA}	1.68±0.05 ^{aA}
140	14	0	7.04±0.12 ^{cA}	0.69±0.03 ^{cA}
		30	9.96±0.15 ^{bA}	1.02±0.11 ^{bB}
		100	16.16±0.13 ^{aA}	1.58±0.12 ^{aA}
	16	0	7.09±0.15 ^{cA}	0.69±0.07 ^{cA}
		30	9.97±0.22 ^{bA}	1.00±0.24 ^{bA}
		100	16.16±0.40 ^{aA}	1.64±0.17 ^{aB}
	18	0	7.04±0.33 ^{cA}	0.69±0.05 ^{cA}
		30	9.90±0.13 ^{bA}	1.01±0.03 ^{bA}
		100	16.43±0.42 ^{aB}	1.63±0.19 ^{aA}

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin protein miktarları %7.08-16.43, kül miktarları ise %0.69-1.73 arasında değişmektedir. En düşük protein ve kül içerikleri %100 mısır irmiğinden elde edilen ekstrüdatlarda bulunurken, en yüksek değerler %100 kavılca unundan üretilen örneklerde gözlenmiştir. Her sıcaklık derecesi ve besleme nemi içeriklerinde katma oranına bağlı olarak protein ve kül miktarlarında artış gözlenmiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p <0.05).

Fleischman vd. (2016) tarafından kepek katkılı waxy buğday unu ekstrüzyon ürünlerinin çalışıldığı bir çalışmada, ekstrüde ürünlerin protein miktarlarının %8.83-18.77 arasında,

kül oranlarının ise %0.39-7.70 arasında değiştiği bildirilmiştir. Kül ve protein miktarlarının kepek katma oranına bağlı olarak artış gösterdiği rapor edilmiştir.

4.5 Ekstrüde Ürünlerin Fonksiyonel Özellikleri

4.5.1 Ekstrüde ürünlerin β -glukan, toplam diyet lif, toplam fenolik madde miktarları ve toplam antioksidan aktivite değerleri

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin β -glukan, toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Beta glukan, tahıl ürünlerinde, özellikle arpa, yulaf ve bazı mantarlarda bulunan değerli bir diyet lifi türüdür. β -glukanın, bağışıklık fonksiyonunu güçlendirdiği, kan kolesterolünü düşürdüğü ve potansiyel olarak gıdaların glisemik yükünü (GL) hafiflettiği bildirilmiştir (Shimizu vd. 2008).

Kavuzsuz arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin β -glukan miktarları %0.74-3.84 arasında değişmektedir. En düşük β -glukan içeriği şahit örnekte gözlemlenirken, en yüksek β -glukan değerleri %100 arpa unundan üretilen ekstrüde ürünlerden elde edilmiştir. Tüm sıcaklık ve besleme nemi parametrelerinde arpa unu katma oranına bağlı olarak β -glukan miktarında artış gözlenmiştir ve bu artma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Çizelge 4.15 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin β -glukan, toplam diyet lif miktarı, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	β -glukan Miktarı (%)	Toplam Diyet Lif Miktarı* (%)	Toplam Fenolik Madde Miktarı* (mgGAE/kg)	Toplam Antioksidan Aktivite Değeri* (μ molTE/100g)
120	14	0	0	0.79 $\pm$ 0.13 ^{cA}	6.55 $\pm$ 0.05 ^{cA}	1000.7 $\pm$ 20.1 ^{cA}	267.22 $\pm$ 5.1 ^{cA}
			30	1.15 $\pm$ 0.21 ^{bA}	12.16 $\pm$ 0.18 ^{bA}	1380.0 $\pm$ 23.7 ^{bA}	767.80 $\pm$ 11.3 ^{bA}
			100	3.26 $\pm$ 0.19 ^{aA}	16.69 $\pm$ 0.35 ^{aA}	1820.5 $\pm$ 24.9 ^{aA}	852.35 $\pm$ 7.8 ^{aA}
	16	0	0	0.80 $\pm$ 0.07 ^{cA}	8.45 $\pm$ 0.70 ^{cA}	900.5 $\pm$ 31.0 ^{cA}	246.73 $\pm$ 9.6 ^{cA}
			30	1.18 $\pm$ 0.08 ^{bA}	11.95 $\pm$ 0.65 ^{bA}	1420.3 $\pm$ 36.8 ^{bA}	792.68 $\pm$ 15.4 ^{bA}
			100	3.50 $\pm$ 0.11 ^{aA}	16.49 $\pm$ 0.56 ^{aA}	1860.8 $\pm$ 22.7 ^{aA}	876.40 $\pm$ 17.9 ^{aA}
	18	0	0	0.76 $\pm$ 0.15 ^{cA}	7.35 $\pm$ 0.12 ^{cA}	900.4 $\pm$ 30.2 ^{cA}	253.86 $\pm$ 10.0 ^{bA}
			30	1.08 $\pm$ 0.30 ^{bA}	11.05 $\pm$ 0.25 ^{bA}	1440.4 $\pm$ 32.5 ^{bA}	857.69 $\pm$ 18.3 ^{aA}
			100	3.02 $\pm$ 0.34 ^{aA}	16.24 $\pm$ 0.39 ^{aA}	2020.5 $\pm$ 43.6 ^{aA}	879.07 $\pm$ 16.5 ^{aA}
140	14	0	0	0.75 $\pm$ 0.07 ^{cA}	8.10 $\pm$ 0.23 ^{cB}	1040.1 $\pm$ 34.9 ^{cA}	268.11 $\pm$ 8.6 ^{cA}
			30	1.42 $\pm$ 0.10 ^{bB}	11.06 $\pm$ 0.09 ^{bB}	1320.3 $\pm$ 20.0 ^{bA}	600.31 $\pm$ 13.5 ^{bB}
			100	3.84 $\pm$ 0.02 ^{aB}	16.07 $\pm$ 0.36 ^{aB}	1980.2 $\pm$ 74.5 ^{aB}	585.45 $\pm$ 12.9 ^{aB}
	16	0	0	0.74 $\pm$ 0.06 ^{cB}	5.75 $\pm$ 0.24 ^{cB}	940.9 $\pm$ 34.8 ^{bA}	266.33 $\pm$ 9.0 ^{bB}
			30	1.33 $\pm$ 0.10 ^{bB}	11.45 $\pm$ 0.41 ^{bB}	1120.7 $\pm$ 41.0 ^{bA}	575.37 $\pm$ 12.0 ^{aB}
			100	3.26 $\pm$ 0.11 ^{aA}	16.31 $\pm$ 0.43 ^{aB}	2240.5 $\pm$ 100.3 ^{aA}	553.93 $\pm$ 11.7 ^{aB}
	18	0	0	0.75 $\pm$ 0.13 ^{cA}	6.35 $\pm$ 0.22 ^{cB}	860.8 $\pm$ 46.9 ^{bA}	260.98 $\pm$ 6.3 ^{bA}
			30	1.40 $\pm$ 0.14 ^{bB}	11.47 $\pm$ 0.17 ^{bB}	1220.0 $\pm$ 28.7 ^{bA}	567.35 $\pm$ 6.9 ^{aA}
			100	3.53 $\pm$ 0.09 ^{aA}	16.53 $\pm$ 0.33 ^{aA}	1860.5 $\pm$ 51.9 ^{aA}	582.49 $\pm$ 7.5 ^{aB}

*KM üzerinden verilmiştir.

GAE: Gallik asit eşdeğeri

TE: Troloks eşdeğeri

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Sıcaklık 120°C'den 140°C'ye çıkarıldığında, β -glukan miktarında meydana gelen değişimler %14 besleme neminde, %100 arpa unundan üretilen ekstrüdatlar hariç bütün örneklerde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Besleme nemi faktörünün örneklerin β -glukan miktarı üzerine önemli bir etkisi olmamıştır.

Ekstrüzyonla pişirmenin, ekstrüzyonla pişirilen ürünlerin toplam β -glukan içeriği üzerinde şahit örneklerle karşılaştırıldığında önemli bir etkisi olmadığı bildirilmiştir (Sharma vd. 2011). Fadel vd. (1988) tarafından yapılan bir çalışmada ekstrüzyonla pişirme uygulamasında β -glukan miktarında önemsiz bir artış olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Yao vd. (2006) ekstrüzyon koşullarının değiştirilmesinin yulaftaki toplam β -glukanı etkilemediğini bildirmiştir.

Yapılan bir çalışmada, sıcaklığın arpa unu ve arpa-üzüm posası ekstrüdatlarının β -glukan miktarları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, arpa-domates posası ekstrüdatlarının β -glukan miktarının sıcaklıktan önemli ölçüde ($p > 0.05$) etkilenmediği rapor edilmiştir. Ayrıca sıcaklık ve vida hızının etkileşimi arpa unu ekstrüdatları için önemli ($p<0.05$) bulunurken, domates prina karışımı ekstrüdatlarının β -glukan miktarının prina seviyesinden önemli ölçüde ($p<0.05$) etkilendiği ifade edilmiştir (Altan vd. 2009).

Kavuzsuz arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif miktarları %5.75-16.69, toplam fenolik madde miktarları 860.8-2240.5 mgGAE/kg, toplam antioksidan aktivite değerleri ise 246.73-879.07 $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ arasında değişmektedir (Çizelge 4.15).

En düşük toplam diyet lif miktarları %100 mısır irmiğinden üretilmiş şahit örneklerde, en yüksek değerler ise %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen örneklerden elde edilmiştir. Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak diyet lif miktarlarında artış gözlenmiş ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam diyet lif içeriği üzerine etkisi %18 besleme neminde %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen örnek hariç diğer tüm örneklerde istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Şahit örneklerde aynı namlu sıcaklık değerinde farklı besleme nemi uygulamalarında örneğin

toplam diyet lif içeriğinde anlamlı bir artış veya azalış gözlenmemiştir. Siljestrom vd. (1986) da daha hafif koşullar altında ekstrüzyonla pişirmenin buğdaydaki lif içeriğini etkilemediğini bildirmiştir. Vasanthan vd. (2002) arpanın ekstrüzyonu ile toplam diyet lifinde önemsiz bir artış gözlemlemiştir. Singh vd. (2007) orta dereceli ekstrüzyon koşullarının farklı tahılların diyet lifi profilini etkilemediğini bildirmiştir. Toplam fenolik madde içerikleri açısından, toplam diyet lif miktarlarına benzer şekilde en düşük değerler şahit örneklerden, en yüksek değerler ise %100 arpa unundan üretilmiş örneklerden elde edilmiştir. Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam fenolik madde miktarlarında artış gözlenmiş ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam fenolik madde içeriği üzerine etkisi %14 besleme neminde %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen örnek hariç diğer tüm örneklerde istatistiksel olarak önem arz etmemektedir ($p > 0.05$). Şahit örneklerde aynı namlu sıcaklık değerinde farklı besleme nemi uygulamalarında örneğin toplam fenolik madde içeriğinde anlamlı bir artış veya azalış gözlenmemiştir.

Tablo genel olarak değerlendirildiğinde, kavuzsuz arpa unu katma oranı arttıkça β -glukan içeriği önemli ölçüde yükselmiştir. Şahit örneklerde en düşük β -glukan içeriği gözlemlenirken, %100 arpa unundan üretilen örnekte en yüksek β -glukan değerine ulaşılmıştır. Örneğin, 120°C ve %14 besleme neminde şahit örnekte β -glukan içeriği %0.79 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %3.06'ya çıkmıştır. Benzer şekilde, 140°C ve %18 besleme neminde şahit örnekte β -glukan içeriği %0.75 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %3.53 olmuştur. Besleme neminin artışı β -glukan içeriği üzerinde hafif bir etkiye sahiptir. Genellikle %18 besleme nemi seviyesinde β -glukan değerlerinin bir miktar arttığı gözlemlenmektedir. Şahit örnekte en düşük lif içeriği gözlemlenirken, %100 arpa unundan üretilen örnekte en yüksek diyet lif miktarına ulaşılmıştır. Örneğin, 120°C ve %14 besleme neminde şahit örnekte toplam lif içeriği %6.55 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %16.06 olmuştur. Benzer şekilde, 140°C ve %18 besleme neminde şahit örnekte lif içeriği %7.35 iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte %16.53'e yükselmiştir. Kavuzsuz arpa unu oranının artışı, toplam fenolik madde içeriğini belirgin şekilde artırmıştır. Örneğin, 120°C ve %14 besleme neminde şahit örnekte toplam fenolik madde içeriği 1000.7 mg GAE/kg iken, %100 arpa unundan

üretileen örnekte 1920.5 mg GAE/kg seviyesine çıkmıştır. Benzer şekilde, 140°C ve %18 besleme neminde şahit örnekte toplam fenolik madde içeriğı 860.8 mg GAE/kg iken, %100 arpa unundan üretilen örnekte 1860.5 mg GAE/kg olmuştur. Besleme nemi toplam fenolik madde içeriğı üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Genellikle daha yüksek besleme nemi seviyelerinde fenolik madde içeriğı artmaktadır. Namlu çıkış sıcaklığı fenolik madde içeriğini belirli oranlarda etkilemektedir. 140°C sıcaklık seviyesinde, bazı durumlarda fenolik madde içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklığın fenolik bileşenlerde kısmi bir bozulmaya yol açabileceğini göstermektedir.

Antioksidan potansiyelinin değerlendirilmesi için, bileşiklerin hidrojen verme potansiyelini ölçen radikal 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme aktivitesi antioksidanları karşılaştırmak için kullanılmıştır. Örneklerin toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde de, en düşük antioksidan aktivite değerleri şahit örneklerden, en yüksek değerler ise %100 arpa unundan üretilen örneklerden elde edilmiştir. Toplam diyet lif ve fenolik madde miktarlarındaki artışa paralel olarak, örneklerin antioksidan aktivite değerleri de katma oranına bağlı olarak artmış ve bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam antioksidan aktivite değeri üzerine etkisi %14 ve %18 besleme nemlerindeki şahit örnekler ve %18 besleme nemi %30 kavuzsuz arpa unu katkılı örnek hariç diğer tüm örneklerde istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Ekstrüzyonla pişirmenin, işlenmemiş arpa ununa kıyasla tüm arpa ekstrüdat örneklerinde hem antioksidan aktiviteleri hem de toplam fenolikleri sırasıyla %60-68 ve %46-60 oranında önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Altan vd. 2009). Ekstrüzyon nedeniyle antioksidan aktivitelerde gözlemlenen azalmalar, Dlamini vd. (2007), Grela vd. (1999) ve Zielin'ski vd. (2001) tarafından bildirilenlerle uyumludur. Zadernowski vd. (1999) doğal antioksidanların dezavantajının yüksek sıcaklıklara karşı düşük direnç göstermeleri olduğunu, çünkü 80 °C nin üzerindeki ısıtmanın antioksidan özelliklerini yok ettiğini belirtmiştir. Hamama ve Nawar (1991) tarafından bildirildiğı üzere, antioksidanların kaybı hem buharlaşmaya hem de yüksek sıcaklıklarda ayrışmaya bağlanmıştır. Punia Bangar vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, ekstrüde edilmemiş arpa unlarındaki DPPH radikal süpürme aktivitesinin %18.3 ila 25.8 arasında değişmekte olduğu ve ekstrüzyon işleminin, ekstrüde edilmemiş muadillerine kıyasla tüm arpa unu

ekstrüdelelerinde DPPH'de önemli bir iyileşmeye yol açtığı bildirilmiştir. DPPH'deki artış, hücre duvarının kovalent bağının kırılarak fenolik içeriğin artması ve antioksidan aktivitenin yükselmesi (Taylor ve Duodu, 2015) veya Maillard reaksiyonu nedeniyle kahverengi pigmentlerin (özellikle melanoidinler) üretilmesinden kaynaklanıyor olabilir (Randhir vd. 2009). Kahverengileşme pigmentlerinin üretimi, DPPH radikal süpürme aktivitesinin artmasıyla rapor edilmiştir (Rufián-Henares ve Delgado-Andrade, 2009). Delgado-Nieblas vd. (2019) de kahvaltılık tahıllarda DPPH radikal süpürme aktivitesinin ekstrüzyon ile arttığını bildirmiştir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif miktarları %5.75-9.51, toplam fenolik madde miktarları 860.8-1170.8 mgGAE/kg, toplam antioksidan aktivite değerleri ise 246.73-526.39 $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ arasında değişmektedir (Çizelge 4.16).

Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam diyet lif içeriğinde artış meydana gelmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Sıcaklığın 120°C 'den 140°C 'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam diyet lif içeriği üzerine etkisi de istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam fenolik madde miktarlarında anlamlı bir değişme görülmemiştir ($p>0.05$). Sıcaklığın 120°C 'den 140°C 'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam fenolik madde içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.16 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Toplam Diyet Lif Miktarı* (%)	Toplam Fenolik Madde Miktarı* (mgGAE/kg)	Toplam Antioksidan Aktivite Değeri* (μmolTE/100g)
120	14	0	0	6.55±0.05 ^{cA}	1000.7±20.1 ^{aA}	267.22±5.1 ^{cA}
			30	8.75±0.03 ^{aA}	1020.2±21.7 ^{aA}	488.98±8.0 ^{aA}
			100	8.03±0.24 ^{bA}	1150.5±23.0 ^{aA}	404.37±7.3 ^{bA}
	16	0	0	8.45±0.70 ^{cA}	900.5±31.0 ^{aA}	246.73±9.6 ^{cA}
			30	8.78±0.11 ^{bA}	960.4±36.6 ^{aA}	512.14±9.1 ^{aA}
			100	9.18±0.25 ^{aA}	1060±17.8 ^{aA}	439.11±6.6 ^{bA}
140	18	0	0	7.35±0.12 ^{bA}	900.4±30.2 ^{bA}	253.86±10.0 ^{cA}
			30	9.34±0.22 ^{aA}	920.6±36.4 ^{bA}	510.50±12.5 ^{aA}
			100	9.51±0.36 ^{aA}	1100.0±40.5 ^{aA}	415.95±10.4 ^{bA}
	14	0	0	8.10±0.23 ^{cB}	1040.1±34.9 ^{aA}	268.11±8.6 ^{cA}
			30	8.93±0.05 ^{aB}	1020.8±26.7 ^{aA}	526.39±7.7 ^{aB}
			100	9.09±0.24 ^{aB}	1020.7±28.9 ^{aA}	424.17±7.9 ^{bA}
140	16	0	0	5.75±0.24 ^{cB}	940.9±34.8 ^{aA}	266.33±9.0 ^{cB}
			30	7.89±0.30 ^{bB}	980.0±24.5 ^{aA}	525.50±8.7 ^{aB}
			100	8.69±0.17 ^{aB}	1060.1±27.4 ^{aA}	409.72±6.3 ^{bA}
	18	0	0	6.35±0.22 ^{cB}	860.8±46.9 ^{aA}	260.98±6.3 ^{cA}
			30	7.56±0.16 ^{bB}	960.3±29.1 ^{aA}	501.45±9.2 ^{aA}
			100	8.62±0.29 ^{aB}	1170.8±21.0 ^{aA}	426.64±5.8 ^{bA}

*KM üzerinden verilmiştir.

GAE: Gallik asit eşdeğeri

TE: Troloks eşdeğeri

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Örneklerin toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde de, en düşük antioksidan aktivite değerleri şahit örneklerden, en yüksek değerler ise %30 siyah pirinç unu katkılı örneklerden elde edilmiştir. Örneklerin antioksidan aktivite değerleri katma oranına bağlı olarak %30 katma oranında artmış, %100 siyah pirinç kullanıldığında tekrar azalmıştır. Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam antioksidan aktivite değeri üzerine etkisi %14 besleme nemindeki %30 katkılı örnek, %16 besleme nemindeki şahit ve %30 siyah pirinç unu katkılı örnekler için istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$).

Ekstrüzyonla pişirmenin, pirinç kepeği veya kahverengi pirincin fenolik içeriğini artırabildiği ve bu durumun esas olarak bu fenoliklerin serbest formlardaki artışından kaynaklandığı bildirilmiştir (Zhang vd. 2018; Ti vd. 2015). Ayrıca, çözünür diyet lifi (SDF) ve TDF içeriğinin de ekstrüzyon pişirme işlemi ile arttığı bildirilmiştir (Liu vd. 2018).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif miktarları %5.75-11.89, toplam fenolik madde miktarları 820.8-1540.5 mgGAE/kg, toplam antioksidan aktivite değerleri ise 246.73-644.84 $\mu\text{molTE}/100\text{g}$ arasında değişmektedir. Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam diyet lif içeriğinde artış meydana gelmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam diyet lif içeriği üzerine etkisi %14 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen örnek ve %16 besleme neminde %30 kavılca unu katkılı örnek hariç diğer tüm örneklerde istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam fenolik madde miktarlarında artış görülmüştür ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam fenolik madde içeriği üzerine etkisi %14 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen örnek hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Çizelge 4.17 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, toplam fenolik madde içerikleri ve toplam antioksidan aktivite değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Toplam Diyet Lif Miktarı* (%)	Toplam Fenolik Madde Miktarı* (mgGAE/kg)	Toplam Antioksidan Aktivite Değeri* (µmolTE/100g)
120	14	0	6.55±0.05 ^{cA}	1000.7±20.1 ^{bA}	267.22±5.1 ^{cA}
		30	9.36±0.22 ^{bA}	1080.0±30.5 ^{bA}	644.84±10.7 ^{aA}
		100	11.25±0.33 ^{aA}	1540.5±31.2 ^{aA}	420.40±7.3 ^{bA}
	16	0	8.45±0.70 ^{cA}	900.5±31.0 ^{cA}	246.73±9.6 ^{cA}
		30	9.25±0.36 ^{bA}	1180.2±46.8 ^{bA}	582.49±8.6 ^{aA}
		100	10.9±0.42 ^{aA}	1440.7±51.7 ^{aA}	382.11±5.5 ^{bA}
140	18	0	7.35±0.12 ^{cA}	900.4±30.2 ^{bA}	253.86±10.0 ^{cA}
		30	8.64±0.50 ^{bA}	940.9±27.5 ^{bA}	576.26±17.9 ^{aA}
		100	11.89±0.46 ^{aA}	1200.5±24.7 ^{aA}	421.70±6.4 ^{bA}
	14	0	8.10±0.23 ^{cB}	1040.1±34.9 ^{bA}	268.11±8.6 ^{cA}
		30	9.65±0.14 ^{bB}	1040.3±28.7 ^{bA}	595.60±8.3 ^{aB}
		100	11.22±0.18 ^{aA}	1240.3±33.4 ^{aB}	423.97 ^{bA}
140	16	0	5.75±0.24 ^{cB}	940.9±34.8 ^{bA}	266.33±9.0 ^{cB}
		30	9.41±0.34 ^{bA}	1140.7±53.8 ^{bA}	568.73±9.4 ^{aA}
		100	11.38±0.19 ^{aB}	1420.6±29.8 ^{aA}	419.51±9.7 ^{bA}
	18	0	6.35±0.22 ^{cB}	860.8±46.9 ^{bA}	260.98±6.3 ^{cA}
		30	9.06±0.26 ^{bB}	820.8±36.5 ^{bA}	567.35±8.6 ^{aA}
		100	11.12±0.42 ^{aB}	1000.6±40.3 ^{aA}	456.03±6.7 ^{bA}

*KM üzerinden verilmiştir.

GAE: Gallik asit eşdeğeri

TE: Troloks eşdeğeri

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Örneklerin toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde de, en düşük antioksidan aktivite değerleri şahit örneklerden, en yüksek değerler ise %30 kavılca unu katkılı örneklerden elde edilmiştir. Örneklerin antioksidan aktivite değerleri katma oranına bağlı olarak %30 katma oranında artmış, %100 kavılca unu kullanıldığında tekrar azalmıştır. Sıcaklığın 120°C'den 140 °C'ye çıkmasıyla, sıcaklık artışının ekstrüde ürünün toplam antioksidan aktivite değeri üzerine etkisi %14 besleme nemindeki %30 katkılı örnek ve %16 besleme nemindeki şahit örnekler için istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$).

Bununla birlikte, Ramos-Enríquez vd. (2018), %30 nem içeriğinde 140 ve 180°C'de ekstrüzyon işleminin buğday kepeği üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve bağlı fenolik madde içeriğinde bir artış gözlemlemiştir. Ekstrüzyon işlemi, ya ısıya dayanıklı fenolik bileşiklerin moleküler yapısının bozulmasına ve yok olmasına neden olmakta ya da hücre duvarı matrisini parçalayarak fenoliklerin kovalent bağını kırmakta ve fenolik bileşiklerin gelişmesini sağlamaktadır (Brennan vd. 2011; Mitrea vd. 2017). Ayrıca, nem içeriği de fenolik içeriği etkiler; düşük nem içeriğinde kesme kuvveti daha yüksek olmakta, bu da fenoliklerin termal bozulmaya daha yatkın olmasına neden olmaktadır (Ortiz-Cruz vd. 2020). Özer vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, vida hızı, besleme hızı ve ekstrüdere gelen beslemenin nem içeriğindeki değişikliklerin örneklerdeki toplam fenolik bileşiklerin içeriği üzerinde bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Toplam fenolik bileşiklerin konsantrasyonunun 0.15 ile 0.18 mm gallik asit g^{-1} km arasında değiştiği ve istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı rapor edilmiştir ($p > 0.05$).

4.5.2 Ekstrüde ürünlerin fitik asit ve fitat fosforu miktarları

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri Çizelge 4.18' de verilmiştir.

Çizelge 4.18 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Fitik Asit Miktarı* (mg/100g)	Fitat Fosforu Miktarı* (mg/100g)	Toplam Fosfor Miktarı* (ppm)	Toplam Fosforun %'si olarak Fitat Fosforu (%)
120	14	0	691.95±30.5 ^{ca}	194.83±10.3 ^{ca}	4083.6±57.8 ^{ca}	47,7
		30	763.47±22.5 ^{ba}	214.96±7.2 ^{ba}	3787.6±62.4 ^{ca}	56,8
		100	889.73±30.2 ^{ca}	250.52±8.5 ^{ca}	4038.0±77.8 ^{ca}	62,0
	16	0	715.00±32.1 ^{ca}	201.32±8.9 ^{ca}	3230.5±67.8 ^{ca}	62,3
		30	805.19±37.6 ^{ba}	226.71±8.0 ^{ba}	3776.1±65.3 ^{ba}	60,0
		100	910.17±41.8 ^{ca}	256.27±6.9 ^{ca}	4172.3±64.4 ^{ca}	61,4
140	18	0	707.27±41.6 ^{ba}	199.14±10.2 ^{ba}	2059.8±49.5 ^{ca}	96,7
		30	799.47±35.7 ^{abA}	225.10±7.6 ^{abA}	3657.7±51.2 ^{ca}	61,5
		100	873.91±56.19 ^{ca}	246.06±7.4 ^{ca}	4353.3±55.5 ^{ca}	56,5
	14	0	690.82±20.6 ^{ca}	194.51±8.4 ^{ca}	3556.9±77.6 ^{ca}	54,7
		30	789.00±23.7 ^{ba}	222.15±8.7 ^{ba}	3437.5±63.2 ^{ca}	64,6
		100	933.12±40.3 ^{ca}	262.73±6.9 ^{ca}	4214.8±62.8 ^{ab}	62,3
140	16	0	724.58±12.1 ^{ba}	204.01±10.4 ^{ba}	3379.5±49.8 ^{ba}	60,4
		30	752.26±42.7 ^{ba}	211.81±4.8 ^{ba}	3804.4±59.7 ^{ca}	55,7
		100	912.00±39.8 ^B	256.79±6.6 ^{ca}	4070.0±56.7 ^{ca}	63,1
	18	0	737.40±23.5 ^{bb}	207.62±7.6 ^{ba}	3391.7±63.8 ^{ba}	61,2
		30	771.92±29.4 ^{ba}	217.34±7.3 ^{ba}	3838.6±53.6 ^{ca}	56,6
		100	911.19±17.9 ^{ca}	256.56±7.9 ^{ca}	3989.9±55.4 ^{ca}	64,3

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Fitat (miyo-inositol hekzafosfat) tahıllarda, yağlı tohumlarda ve kabuklu yemişlerde doğal olarak bulunan (ağırlıkça %0.4 ile %6.4 arasında değişen) bir bileşiktir. Pirinç ve buğdayın tek çenekli tohumlarında fitat aleuron veya kepek tabakasında bulunur ve bu nedenle tohumların dış tabakasının (kepek ve tohum kabuğu dahil) çıkarılmasıyla öğütme işlemi sırasında kolayca azaltılabilir. Öğütme derecesine ve tohumlardaki fitatın dağılım şekline bağlı olarak, farklı oranlarda fitat içeren nihai un ürünleri elde edilebilir (Bora, 2014).

Fitik asitin, antikanser aktivitesi ve antioksidatif etkisi nedeniyle diyabet, kalp hastalığı ve böbrek taşının önlenmesi gibi sağlığı geliştirici birçok faydalı özellik sağladığı bildirilmiştir (Greiner vd. 2006). Bununla birlikte, altı reaktif fosfat grubuna sahip fitat doğada güçlü bir şelatlama maddesidir. Katyonun türüne bağlı olarak, bir fitat bir veya daha fazla fosfat grubuyla bağlanabilir veya iki veya daha fazla fitat molekülü ile köprü kurabilir (Raes vd. 2014). Böylece fitik asit, demir, çinko, magnezyum ve kalsiyum gibi minerallerin emilimini azaltabilecek ve insan ve hayvanlarda ciddi mineral iyon eksikliğine neden olabilecek metallerle çözünmez kompleksler oluşturma yeteneğine sahiptir (Thompson, 1993).

Kavuzsuz arpa katkılı ekstrüde ürünlerin fitik asit miktarları 690.82-933.12 mg/100 g, fitat fosforu miktarları 194.51-262.73 mg/100g arasında değişmektedir (Çizelge 4.18). Sıcaklık artışının fitat fosforu değişimi üzerine önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$). Sıcaklığın 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla birlikte %14 besleme neminde %30 arpa unu katkılı ürünlerde ve %16, %18 besleme nemi ve %100 arpa unundan üretilen ekstrüdatlarda sıcaklığın fitik asit miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Her namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nemi oranları için, tüm ekstrüde ürünlerde fitik asit ve fitat fosforu miktarları arpa unu katma oranına bağlı olarak artmış ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Ham yulaf, pirinç ve buğday kepeklerinin fitat miktarlarının araştırıldığı bir çalışmada örneklerin sırasıyla %1.42, 4.32 ve 5.27 oranında fitat içerdiği bildirilmiştir (Gualberto

vd. 1997). Fitat içeriğindeki varyasyon, öğütme ekstraksiyon hızındaki farklılıklara, genotipik ve çevresel etkilere bağlanabilir. Bu çalışmada, her bir tahıl tanesi içindeki işlemlerin fitat içeriği önemli ölçüde farklılık göstermemiştir ($p>0.05$), bu da genel olarak ne vida hızının ne de ekstrüzyonun tahıl kepeklerinin fitat içeriğini etkilemediğini göstermektedir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin fitik asit miktarları 690.82-1054.92 mg/100 g, fitat fosforu miktarları 194.51-297.03 mg/100g arasında değişmektedir (Çizelge 4.19). Sıcaklığın 120°C’den 140°C’ye çıkmasıyla birlikte %14 besleme nemi %30 siyah pirinç unu katkılı ürünlerde ve %18 besleme nemi ve %100 siyah pirinç unundan üretilen ekstrüdatlarda sıcaklık etkisiyle fitik asit miktarında azalma meydana gelmiş ve bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Çizelge 4.19 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Fitik Asit Miktarı* (mg/100g)	Fitat Fosforu Miktarı* (mg/100g)	Toplam Fosfor miktarı* (ppm)	Toplam Fosforun %’si olarak Fitat Fosforu (%)
120	14	0	691.95±30.5 ^{ca}	194.83±10.3 ^{ca}	4083.6±57.8 ^{ca}	47,7
		30	811.91±27.4 ^{ba}	228.60±12.3 ^{ba}	7168.9±46.4 ^{ba}	31,9
		100	988.21±32.5 ^{aa}	278.24±9.6 ^{aa}	6409.8±49.8 ^{aa}	43,4
	16	0	715.00±32.1 ^{ca}	201.32±8.9 ^{ca}	3230.5±67.8 ^{ca}	62,3
		30	829.09±37.8 ^{ba}	233.44±7.9 ^{ba}	5033.3±51.5 ^{ba}	46,4
		100	1009.75±27.9 ^{aa}	284.31±8.1 ^{aa}	6519.3±50.3 ^{aa}	43,6
140	18	0	707.27±41.6 ^{ca}	199.14±10.2 ^{ca}	2059.8±49.5 ^{ba}	96,7
		30	821.26±41.3 ^{ba}	231.24±7.3 ^{ba}	4941.1±48.2 ^{aa}	46,8
		100	1054.92±46.5 ^{aa}	297.03±11.5 ^{aa}	6639.5±47.6 ^{aa}	44,7
	14	0	690.82±20.6 ^{ca}	194.51±8.4 ^{ca}	3556.9±77.6 ^{ca}	54,7
		30	776.28±29.8 ^{bb}	218.57±9.6 ^{bb}	4923.1±63.2 ^{ba}	44,4
		100	973.28±36.5 ^{aa}	274.04±9.5 ^{aa}	6416.9±61.7 ^{aa}	42,7
140	16	0	724.58±12.1 ^{ba}	204.01±10.4 ^{ba}	3379.5±49.8 ^{ca}	60,4
		30	792.50±42.4 ^{ba}	223.14±11.2 ^{ba}	4942.9±51.4 ^{ba}	45,1
		100	989.64±13.2 ^{aa}	278.65±10.8 ^{aa}	6379.0±82.1 ^{aa}	43,7
	18	0	737.40±23.5 ^{cb}	207.62±7.6 ^{ca}	3391.7±63.8 ^{ca}	61,2
		30	810.76±26.7 ^{ba}	228.28±6.9 ^{ba}	4984.2±54.8 ^{ba}	45,8
		100	1005.69±36.9 ^{ab}	283.16±16.8 ^{ab}	6787.8±72.6 ^{aa}	41,7

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen ‘a-c’ harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen ‘A-B’ harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Her namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nemi oranları için, tüm ekstrüde ürünlerde fitik asit ve fitat fosforu miktarları arpa unu katma oranına bağlı olarak artmış ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Literatürde ham pirinç kepeğinin fitat içeriğinin % 2.59 ila 5.46 (Reddy vd. 1989) ve %6.9 (Dreher 1987) arasında değiştiği bildirilmiştir.

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavlca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Kavlca unu katkılı ekstrüde ürünlerin fitik asit miktarları 677.76-993.11 mg/100 g, fitat fosforu miktarları 190.83-279.62 mg/100g arasında değişmektedir (Çizelge 4.20). Sıcaklığın 120°C’den 140°C’ye çıkmasıyla birlikte %14 besleme neminde %30 ve %100 kavlca unu katkılı örneklerde sıcaklık etkisiyle fitik asit ve fitat fosforu miktarında azalma meydana gelmiş ve bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Çizelge incelendiğinde en düşük fitik asit ve fitat fosforu değerleri %100 mısır irmiğinden üretilen şahit örneklerde, en yüksek değerler ise %100 kavlca unundan üretilen örneklerde elde edilmiştir.

Literatürde sert kırmızı buğday kepeğinin %3.0 (Dreher 1987), %6.68 (Camire ve Clydesdale 1982) ve %4.59 ile 5.52 (Maga 1982) fitat içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4.20 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin fitik asit, fitat fosforu ve toplam fosfor içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Fitik Asit Miktarı* (mg/100g)	Fitat Fosforu Miktarı* (mg/100g)	Toplam Fosfor miktarı* (ppm)	Toplam Fosforun %'si olarak Fitat Fosforu (%)
120	14	0	691.95±30.5 ^{cA}	194.83±10.3 ^{cA}	4083.6±57.8 ^{aA}	47,7
		30	783.03±26.8 ^{bA}	220.47±7.0 ^{bA}	3669.1±51.4 ^{aA}	60,1
		100	987.73±27.4 ^{aA}	278.11±10.4 ^{aA}	3651.0±53.6 ^{aA}	76,2
	16	0	715.00±32.1 ^{cA}	201.32±8.9 ^{cA}	3230.5±67.8 ^{aA}	62,3
		30	787.67±29.3 ^{bA}	221.78±9.8 ^{bA}	3598.7±57.6 ^{aA}	61,6
		100	993.11±22.2 ^{aA}	279.62±8.7 ^{aA}	3525.7±60.1 ^{aA}	79,3
140	14	0	707.27±41.6 ^{cA}	199.14±10.2 ^{cA}	2059.8±49.5 ^{aA}	96,7
		30	798.69±26.0 ^{bA}	224.88±9.9 ^{bA}	3657.0±62.3 ^{aA}	61,5
		100	951.72±31.0 ^{aA}	267.97±6.7 ^{aA}	3653.5±59.4 ^{aA}	73,3
	16	0	690.82±20.6 ^{bA}	194.51±8.4 ^{bA}	3556.9±77.6 ^{aA}	54,7
		30	677.76±30.7 ^{bB}	190.83±4.8 ^{bB}	3468.3±65.6 ^{aA}	55,0
		100	930.73±45.2 ^{aB}	262.06±4.7 ^{aB}	3677.1±49.8 ^{aA}	71,3
140	16	0	724.58±12.1 ^{cA}	204.01±10.4 ^{cA}	3379.5±49.8 ^{aA}	60,4
		30	829.35±20.9 ^{bA}	233.51±8.6 ^{bB}	3505.2±55.8 ^{aA}	66,6
		100	961.05±22.3 ^{aA}	270.60±7.3 ^{aA}	3670.5±54.3 ^{aA}	73,7
	18	0	737.40±23.5 ^{cB}	207.62±7.6 ^{cA}	3391.7±63.8 ^{aA}	61,2
		30	824.99±24.4 ^A	232.29±7.5 ^{bA}	3501.5±57.8 ^{aB}	66,3
		100	934.77±29.8 ^{aA}	263.20±7.6 ^{aA}	3609.8±51.3 ^{aA}	72,9

*Kuru madde üzerinden verilmiştir.

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Daha yüksek besleme nem içeriğinin, daha düşük nem seviyesi içeren unlara kıyasla mercimekte fitik asitin daha büyük bir azaltma etkisini teşvik ettiği bildirilmiştir (Rathod ve Annapure, 2016). Ayrıca, Kaur vd. (2015) düşük ekstrüzyon pişirme sıcaklığı (115 °C) ile birlikte yüksek besleme nemi içeriğinin (%20) buğday kepeğinin fitik asit içeriğini azaltmada optimum işleme koşulları olduğunu göstermiştir. Ancak, bu önceki çalışma bulgularının aksine, Yağcı ve Evci (2015), besleme nem içeriğinin artırılmasının nohut ve buğday kullanılarak hazırlanan ekstrüde çerezin fitik asit içeriğinde belirgin bir azalmaya neden olmadığını bildirmiştir. Bunun yerine, maksimum fitat azaltımı elde etmek için en etkili parametreler ekstrüzyon süresi ve basıncının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasında fitik asitin, inositol hekzafosfatın daha düşük moleküler ağırlıklı formlara hidroliziyle sonuçlanan bu anti-nutrisyonel faktörlerin termal bozunmasından kaynaklandığı öne sürülmüştür (Alonso vd. 2000; Anton vd. 2009).

4.5.3 Ekstrüde ürünlerin mineral madde miktarları

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin makro element (Mg, P, K, Ca) içerikleri Çizelge 4.21’de, mikro element (Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Se) içerikleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
120	14	0	0	512.3±10.2 ^{ca}	4083.6±57.8 ^{aa}	2171.9±50.2 ^{ca}	25.6±0.07 ^{ca}
			30	730.1±22.1 ^{ba}	3787.6±62.4 ^{aa}	2809.4±50.0 ^{ba}	169.7±21.1 ^{ba}
			100	1225.0±23.5 ^{aa}	4038.0±77.8 ^{aa}	4291.4±62.5 ^{aa}	465.4±25.4 ^{aa}
	16	0	0	476.6±20.7 ^{ca}	3230.5±67.8 ^{ca}	2049.3±32.3 ^{ca}	27.0±0.09 ^{ca}
			30	720.9±26.4 ^{ba}	3776.1±65.3 ^{ba}	2782.5±35.8 ^{ba}	167.1±17.8 ^{ba}
			100	1305.7±23.4 ^{aa}	4172.3±64.4 ^{aa}	4564.7±36.4 ^{aa}	491.1±25.4 ^{aa}
140	18	0	0	491.8±12.8 ^{ca}	2059.8±49.5 ^{aa}	2096.2±37.5 ^{ca}	24.9±0.08 ^{ca}
			30	727.0±15.7 ^{ba}	3657.7±51.2 ^{aa}	2804.4±37.6 ^{ba}	169.4±17.6 ^{ba}
			100	1261.7±17.9 ^{aa}	4353.3±55.5 ^{aa}	4422.6±42.8 ^{aa}	470.1±15.7 ^{aa}
	14	0	0	509.4±25.6 ^{ca}	3556.9±77.6 ^{aa}	2162.4±35.6 ^{ca}	27.2±0.41 ^{ca}
			30	712.7±22.4 ^{ba}	3437.5±63.2 ^{aa}	2745.5±36.9 ^{ba}	167.0±7.3 ^{ba}
			100	1334.5±19.9 ^{aa}	4214.8±62.8 ^{ab}	4633.3±34.7 ^{aa}	497.8±8.6 ^{aa}
140	16	0	0	487.7±17.8 ^{ca}	3379.5±49.8 ^{ba}	2087.3±37.2 ^{ca}	31.2±0.05 ^{ca}
			30	730.8±17.7 ^{ba}	3804.4±59.7 ^{aa}	2800.6±23.1 ^{ba}	169.5±21.3 ^{ba}
			100	1299.6±20.6 ^{aa}	4070.0±56.7 ^{aa}	4556.6±27.4 ^{aa}	450.9±25.6 ^{aa}
	18	0	0	497.7±18.3 ^{ca}	3391.7±63.8 ^{ba}	2102.9±25.7 ^{ca}	26.9±0.28 ^{ca}
			30	729.4±18.8 ^{ba}	3838.6±53.6 ^{aa}	2783.7±26.4 ^{ba}	163.2±19.8 ^{ba}
			100	1244.0±19.3 ^{aa}	3989.9±55.4 ^{aa}	4372.1±24.8 ^{aa}	426.1±21.6 ^{aa}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış onların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış onların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Çizelge 4.22 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri

Namlu	Besleme	Katma	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Se
Çıkış	Nemi	Oranı	(ppb)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)
Sıcaklığı	(%)	(%)						
(°C)								
120	14	0	1089.2±50.2 ^{cA}	1.9±0.2 ^{cA}	9.8±0.5 ^{cA}	1.25±0.2 ^{cA}	9.6±0.5 ^{cA}	42.7±2.1 ^{aA}
		30	2737.8±51.4 ^{bA}	7.1±0.1 ^{bA}	14.7±0.7 ^{bA}	2.68±0.1 ^{bA}	15.4±0.7 ^{bA}	28.5±1.7 ^{abA}
		100	5051.3±60.5 ^{aA}	17.8±0.3 ^{aA}	34.9±1.3 ^{aA}	6.82±0.2 ^{aA}	28.1±0.6 ^{aA}	17.6±1.3 ^{bA}
	16	0	1160.25±50.6 ^{cA}	1.80±0.1 ^{cA}	17.3±1.5 ^{cA}	1.17±0.1 ^{cA}	9.1±0.2 ^{cA}	44.1±1.4 ^{aA}
		30	2705.5±53.8 ^{bA}	6.9±0.1 ^{bA}	14.0±1.7 ^{bA}	2.63±0.1 ^{bA}	15.2±0.4 ^{bA}	28.7±0.9 ^{bA}
		100	5802.7±63.9 ^{aA}	18.8±0.2 ^{aA}	36.9±2.4 ^{aA}	7.39±0.3 ^{aA}	30.0±0.3 ^{aA}	22.1±0.5 ^{bA}
	18	0	1143.3±51.7 ^{bA}	1.9±0.1 ^{cA}	9.4±1.8 ^{bA}	1.21±0.2 ^{cA}	9.3±0.6 ^{cA}	47.2±2.4 ^{cA}
		30	2597.1±56.4 ^{abA}	6.9±0.3 ^{bA}	14.0±0.7 ^{bA}	2.67±0.2 ^{bA}	15.3±0.5 ^{bA}	32.4±2.0 ^{bA}
		100	5383.2±62.9 ^{aA}	17.1±0.3 ^{aA}	34.2±0.4 ^{aA}	6.91±0.3 ^{aA}	30.1±0.4 ^{aA}	13.8±1.5 ^{aA}
140	14	0	1081.7±56.8 ^{cA}	1.9±0.2 ^{cA}	10.8±0.9 ^{cB}	1.47±0.2 ^{cA}	9.7±0.2 ^{cA}	50.4±0.3 ^{aA}
		30	2552.7±52.1 ^{bA}	6.8±0.2 ^{bA}	14.5±0.9 ^{bA}	2.73±0.3 ^{bA}	15.3±0.2 ^{bA}	30.3±0.8 ^{bA}
		100	5184.7±78.6 ^{aA}	19.9±0.5 ^{aA}	38.3±1.4 ^{aA}	7.21±0.5 ^{aA}	30.6±0.4 ^{aA}	38.8±0.4 ^{bA}
	16	0	1102.7±55.3 ^{cA}	1.8±0.2 ^{cA}	11.1±2.1 ^{cA}	1.35±0.1 ^{cA}	9.3±0.1 ^{cA}	72.0±3.3 ^{cA}
		30	2405.9±54.7 ^{bA}	7.1±0.3 ^{bA}	19.0±1.1 ^{bB}	3.17±0.1 ^{bA}	15.8±0.6 ^{bB}	29.4±2.0 ^{bA}
		100	4848.7±56.3 ^{aA}	18.1±0.3 ^{aA}	39.4±1.5 ^{aA}	7.57±0.2 ^{aA}	29.9±0.3 ^{aA}	15.0±1.7 ^{aA}
	18	0	1282.7±48.7 ^{cA}	2.0±0.2 ^{cA}	13.0±0.7 ^{cB}	1.59±0.1 ^{cA}	9.5±0.2 ^{cA}	46.5±1.4 ^{cA}
		30	2168.6±48.5 ^{bB}	6.9±0.3 ^{bA}	18.3±0.5 ^{bB}	2.99±0.1 ^{bB}	15.6±0.2 ^{bA}	28.0±1.1 ^{bA}
		100	4962.9±72.0 ^{aA}	17.5±0.4 ^{aA}	36.4±0.5 ^{aA}	6.80±0.3 ^{aA}	28.2±0.7 ^{aA}	14.0±0.8 ^{aA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05). Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Çizelgeden de görüldüğü gibi, kavuzsuz arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg içerikleri 476.6-1334.5 ppm, Al içerikleri 1081.7-5802.7 ppb, P içerikleri 2059.8-4353.3 ppm, K içerikleri 2049.3-4633.3 ppm, Ca içerikleri 24.9-497.8 ppm, Mn içerikleri 1.8-19.9 ppm, Fe içerikleri 9.4-39.4 ppm, Cu içerikleri 1.17-7.57 ppm, Zn içerikleri 9.1-30.6 ppm ve Se içerikleri 13.8-72 ppb arasında değişmektedir.

Ekstrüdatlardaki Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Sıcaklığın 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla birlikte sıcaklık artışının ekstrüde ürünlerin mineral içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde, Mg, P, K, Ca, Mn, Zn ve Se miktarlarındaki değişimler istatistiksel olarak önemli değildir ($p > 0.05$). Sıcaklık artışının %14-18 nemlerdeki şahit örnekler ile %16-18 nemlerdeki %30 arpa unu katkılı örneklerdeki Fe miktarına etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Ürünlerin aynı sıcaklık ve katma oranlarında, besleme nemi içerik değişimlerinin mineral madde miktarı üzerine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Kavuzsuz arpa unu katkılı örnekler arasında Mg, K, Ca, Mn ve Zn değerleri açısından en yüksek değerler 140°C namli sıcaklığı %14 besleme neminde %100 arpa unundan üretilen ekstrüde üründen elde edilmiş ve sırasıyla 1334.5 ppm, 4633.3 ppm, 497.8 ppm, 19.9 ppm ve 30.6 ppm olarak bulunmuştur.

Örnekler arasında en yüksek Fe ve Cu değerleri 140°C namli sıcaklığı %16 besleme neminde %100 arpa unundan üretilen ekstrüde üründen elde edilmiş ve bu değerler sırasıyla 39.4 ppm ve 7.57 ppm'dir. 140°C namli sıcaklığı %14 besleme neminde %100 mısır irmiğinden üretilen şahit örnek en yüksek Se değerine sahiptir (72 ppb).

Arpanın mineral içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada tanenin mineral kısmında ekstrüzyon işleminin değişikliğe yol açtığı bildirilmiştir. Az miktarda potasyum, bakır ve

sodyum gibi elementlerde artış kaydedilmiş, aynı zamanda tahıl ekstrüzyonu sırasında bir miktar ham kül kaybı meydana geldiği rapor edilmiştir (Kuchin vd. 2021).

Ekstrüde üründeki genel olarak mineral içeriği yüksekliği muhtemelen minerallerin biyoyararlanımını artırmış olabilecek anti-besinsel bileşiklerin yok edilmesine bağlanabilir. Bazı çalışmalar da muhtemelen fitatların inaktivasyonu nedeniyle buğday unundaki mineral profilinde artış olduğunu ortaya koymuştur (Camire, 2002).

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin makro element (Mg, P, K, Ca) içerikleri Çizelge 4.23'te, mikro element (Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Se) içerikleri Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg içerikleri 476.6-1545.5 ppm, Al içerikleri 1081.7-3844.3 ppb, P içerikleri 2059.8-7168.9 ppm, K içerikleri 2049.3-3102.5 ppm, Ca içerikleri 24.9-154.7 ppm, Mn içerikleri 1.8-35.9 ppm, Fe içerikleri 9.4-72.5 ppm, Cu içerikleri 1.17-17.12 ppm, Zn içerikleri 9.1-28.2 ppm ve Se içerikleri 38.6-76.3 ppb arasında değiştiği görülmektedir.

Ekstrüdatlardaki Mg, Al, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Sıcaklığın 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla birlikte sıcaklık artışının ekstrüde ürünlerin mineral içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde, Mg, Al, P, K, Ca, Mn, Cu, Zn ve Se miktarlarındaki değişimler istatistiksel olarak önemli değildir ($p > 0.05$). Sıcaklık artışının %18 besleme nemindeki şahit örnek ile %30 siyah pirinç unu katkılı örneklerdeki Fe miktarına etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Ürünlerin aynı sıcaklık ve katma oranlarında, besleme nemi içerik değişimlerinin mineral madde miktarı üzerine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Siyah pirinç unu katkılı örnekler arasında Mg, K, Cu ve Zn değerleri açısından en yüksek değerler 140°C'namlu sıcaklığı %18 besleme neminde %100 siyah pirinç unundan üretilen

ekstrüde üründen elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 1545.5 ppm, 3102.5 ppm, 17.12 ppm ve 28.2 ppm olarak bulunmuştur.

Örnekler arasında en yüksek P, Ca ve Mn değerleri 120°C namlu sıcaklığı %14 besleme neminde %30 siyah pirinç unu katkılı ekstrüde üründen elde edilmiştir (sırasıyla 7168.9 ppm, 154.7 ppm ve 35.9 ppm). 120°C namlu sıcaklığı %18 besleme neminde %100 siyah pirinç unundan üretilen örnek en yüksek Fe değerine sahiptir (72.5 ppm). En yüksek Se miktarı ise 120°C namlu sıcaklığı %16 besleme neminde %100 siyah pirinç unundan üretilen ekstrüde üründen elde edilmiştir (76.3 ppb).



Çizelge 4.23 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
120	14	0	0	512.3±10.2 ^{cA}	4083.6±57.8 ^{cA}	2171.9±50.2 ^{cA}	25.6±0.07 ^{cA}
			30	1509.9±12.3 ^{bA}	7168.9±46.4 ^{bA}	2982.1±51.3 ^{bA}	154.7±17.9 ^{bA}
			100	1475.6±17.1 ^{aA}	6409.8±49.8 ^{aA}	2963.0±50.5 ^{aA}	139.5±12.2 ^{aA}
	16	0	0	476.6±20.7 ^{cA}	3230.5±67.8 ^{cA}	2049.3±32.3 ^{cA}	27.0±0.09 ^{cA}
			30	857.6±22.2 ^{bA}	5033.3±51.5 ^{bA}	2466.3±63.8 ^{bA}	69.2±0.24 ^{bA}
			100	1511.8±23.5 ^{aA}	6519.3±50.3 ^{aA}	3031.0±62.3 ^{aA}	144.4±11.6 ^{aA}
	18	0	0	491.8±12.8 ^{cA}	2059.8±49.5 ^{bA}	2096.2±37.5 ^{cA}	24.9±0.08 ^{cA}
			30	861.3±17.6 ^{bA}	4941.1±48.2 ^{aA}	2476.4±32.8 ^{bA}	69.6±0.21 ^{bA}
			100	1509.6±19.9 ^{aA}	6639.5±47.6 ^{aA}	3014.8±33.4 ^{aA}	143.7±10.7 ^{aA}
140	14	0	0	509.4±25.6 ^{cA}	3556.9±77.6 ^{cA}	2162.4±35.6 ^{cA}	27.2±0.41 ^{cA}
			30	866.8±18.3 ^{bA}	4923.1±63.2 ^{bA}	2489.8±36.7 ^{bA}	72.6±0.60 ^{bA}
			100	1477.8±18.7 ^{aA}	6416.9±61.7 ^{aA}	2967.5±37.9 ^{aA}	146.2±13.3 ^{aA}
	16	0	0	487.7±17.8 ^{cA}	3379.5±49.8 ^{cA}	2087.3±37.2 ^{cA}	31.2±0.05 ^{cA}
			30	864.1±16.5 ^{bA}	4942.9±51.4 ^{bA}	2455.4±34.2 ^{bA}	70.6±0.40 ^{bA}
			100	1488.7±16.8 ^{aA}	6379.0±82.1 ^{aA}	2998.7±32.5 ^{aA}	144.3±7.3 ^{aA}
	18	0	0	497.7±18.3 ^{cA}	3391.7±63.8 ^{cA}	2102.9±25.7 ^{cA}	26.9±0.28 ^{cA}
			30	861.0±17.4 ^{bA}	4984.2±54.8 ^{bA}	2445.2±23.8 ^{bA}	74.9±0.95 ^{bA}
			100	1545.5±17.2 ^{aA}	6787.8±72.6 ^{aA}	3102.524.7± ^{aA}	146.5±7.52 ^{aA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Çizelge 4.24 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Al (ppb)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Se (ppb)
120	14	0	1089.2±50.2 ^{cA}	1.9±0.2 ^{cA}	9.8±0.5 ^{cA}	1.25±0.2 ^{cA}	9.6±0.5 ^{cA}	42.7±2.1 ^{aA}
		30	3487.3±49.2 ^{bA}	35.9±0.1 ^{bA}	67.5±0.5 ^{bA}	16.66±0.2 ^{bA}	28.1±0.2 ^{bA}	46.7±0.7 ^{aA}
		100	3565.8±42.5 ^{aA}	34.1±0.4 ^{aA}	67.7±0.3 ^{aA}	16.05±0.2 ^{aA}	27.0±0.2 ^{aA}	51.1±0.5 ^{aA}
	16	0	1160.2±50.6 ^{cA}	1.8±0.1 ^{cA}	17.3±1.5 ^{cA}	1.17±0.1 ^{cA}	9.1±0.2 ^{cA}	44.1±1.4 ^{aA}
		30	1972.0±28.9 ^{bA}	13.2±0.3 ^{bA}	29.8±0.2 ^{bA}	6.64±0.3 ^{bA}	15.9±0.1 ^{bA}	40.8±1.2 ^{aA}
		100	3531.0±33.6 ^{aA}	35.2±0.3 ^{aA}	68.6±0.3 ^{aA}	16.37±0.7 ^{aA}	27.3±0.3 ^{aA}	76.3±1.7 ^{aA}
	18	0	1143.3±51.7 ^{cA}	1.9±0.1 ^{cA}	9.4±1.8 ^{cA}	1.21±0.2 ^{cA}	9.3±0.6 ^{cA}	47.2±2.4 ^{aA}
		30	2109.1±34.5 ^{bA}	13.4±0.1 ^{bA}	32.7±0.3 ^{bA}	6.57±0.6 ^{bA}	16.1±0.4 ^{bA}	40.0±0.8 ^{aA}
		100	3431.4±36.2 ^{aA}	34.7±0.2 ^{aA}	72.5±0.4 ^{aA}	16.43±0.4 ^{aA}	27.2±0.3 ^{aA}	51.2±0.4 ^{aA}
140	14	0	1081.7±56.8 ^{cA}	1.9±0.2 ^{cA}	10.8±0.9 ^{cB}	1.47±0.2 ^{cA}	9.7±0.2 ^{cA}	50.4±0.3 ^{aA}
		30	2047.0±55.0 ^{bA}	13.6±0.2 ^{bA}	31.0±1.1 ^{bA}	6.69±0.5 ^{bA}	16.6±0.4 ^{bA}	40.1±0.4 ^{bA}
		100	3832.2±51.8 ^{aA}	35.3±0.3 ^{aA}	72.0±2.0 ^{aB}	16.41±0.4 ^{aA}	27.7±0.3 ^{aA}	47.4±0.6 ^{aA}
	16	0	1102.7±55.3 ^{cA}	1.8±0.2 ^{cA}	11.1±2.1 ^{cA}	1.35±0.1 ^{cA}	9.3±0.1 ^{cA}	72.0±3.3 ^{aA}
		30	1963.9±25.6 ^{bA}	13.8±0.2 ^{bA}	31.2±1.5 ^{bA}	6.65±0.5 ^{bA}	15.7±0.2 ^{bA}	39.3±0.2 ^{aA}
		100	3844.3±32.9 ^{aB}	34.9±0.1 ^{aA}	70.0±1.9 ^{aA}	16.56±1.3 ^{aA}	27.4±0.7 ^{aA}	74.6±1.1 ^{aA}
	18	0	1282.7±48.7 ^{cA}	2.0±0.2 ^{cA}	13.0±0.7 ^{cB}	1.59±0.1 ^{cA}	9.5±0.2 ^{cA}	46.5±1.4 ^{aA}
		30	2039.5±22.7 ^{bA}	13.5±0.2 ^{bA}	30.8±0.6 ^{bA}	6.51±0.9 ^{bA}	15.9±0.3 ^{bA}	38.6±1.3 ^{aA}
		100	3761.4±36.3 ^{aA}	35.5±0.1 ^{aA}	70.7±1.6 ^{aA}	17.12±0.8 ^{aA}	28.2±0.6 ^{aA}	53.1±1.7 ^{aA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca tam unu katılarak yapılan ekstrüde ürünlerin makro element (Mg, P, K, Ca) içerikleri Çizelge 4.25'te, mikro element (Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Se) içerikleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelgeden de görüldüğü gibi, kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg içerikleri 476.6-1294.3 ppm, Al içerikleri 1081.7-20354 ppb, P içerikleri 2059.8-4083.6 ppm, K içerikleri 2049.3-4234.8 ppm, Ca içerikleri 24.9-368.9 ppm, Mn içerikleri 1.8-30.2 ppm, Fe içerikleri 9.4-54.7 ppm, Cu içerikleri 1.17-6.56 ppm, Zn içerikleri 9.1-37 ppm ve Se içerikleri 40-78.4 ppb arasında değişmektedir.

Ekstrüdatlardaki Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiş ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklığın 120°C'den 140°C'ye çıkmasıyla birlikte sıcaklık artışının ekstrüde ürünlerin mineral içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde, Al, Mn ve Se miktarlarındaki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$). Sıcaklık artışının %14-18 nemlerdeki şahit örnekler ile %18 besleme nemi %30 kavılca unu katkılı örneklerdeki Fe miktarına etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Ürünlerin aynı sıcaklık ve katma oranlarında, besleme nemi içerik değişimlerinin mineral madde miktarı üzerine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Kavılca unu katkılı örnekler arasında Mg, Mn ve Cu değerleri açısından en yüksek değerler 120°C namli sıcaklığı %14 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen ekstrüde üründen elde edilmiş ve bu değerler sırasıyla 1294.3 ppm, 30.2 ppm, 17.12 ve 6.56 ppm olarak bulunmuştur. Örnekler arasında en yüksek K, Ca, Zn ve Se değerleri 140°C namli sıcaklığı %16 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen ekstrüde üründen elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 4234.8 ppm, 368.9 ppm, 37 ppm ve 78.4 ppb'dir. 140°C namli sıcaklığı %14 besleme neminde %100 kavılca unundan üretilen örnek en yüksek Fe değerine sahiptir (54.7 ppm). En yüksek P miktarı ise 120°C namli sıcaklığı %14 besleme neminde %100 mısır irmiğinden üretilen şahit örnekten elde edilmiştir (4083.6 ppm).

Çizelge 4.25 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin makro element içerikleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
120	14	14	0	512.3±10.2 ^{aA}	4083.6±57.8 ^{aA}	2171.9±50.2 ^{aA}	25.6±0.07 ^{cA}
			30	763.0±11.5 ^{bA}	3669.1±51.4 ^{aA}	2796.9±51.3 ^{bA}	124.5±0.52 ^{bA}
			100	1294.3±17.4 ^{aA}	3651.0±53.6 ^{aA}	4225.3±57.7 ^{aA}	364.2±5.6 ^{aA}
	16	16	0	476.6±20.7 ^{cA}	3230.5±67.8 ^{aA}	2049.3±32.3 ^{cA}	27.0±0.09 ^{cA}
			30	773.6±16.5 ^{bA}	3598.7±57.6 ^{aA}	2841.2±36.5 ^{bA}	125.9±0.78 ^{bA}
			100	1260.8±21.4 ^{aA}	3525.7±60.1 ^{aA}	4129.0±38.7 ^{aA}	354.5±12.5 ^{aA}
	18	18	0	491.8±12.8 ^{cA}	2059.8±49.5 ^{aA}	2096.2±37.5 ^{cA}	24.9±0.08 ^{cA}
			30	782.6±14.6 ^{bA}	3657.0±62.3 ^{aA}	2868.7±32.0 ^{bA}	128.3±0.46 ^{bA}
			100	1222.1±18.9 ^{aA}	3653.5±59.4 ^{aA}	4021.9±34.0 ^{aA}	352.8±20.7 ^{aA}
140	14	14	0	509.4±25.6 ^{cA}	3556.9±77.6 ^{aA}	2162.4±35.6 ^{cA}	27.2±0.41 ^{cA}
			30	786.5±21.3 ^{bA}	3468.3±65.6 ^{aA}	2869.9±30.8 ^{bA}	133.2±0.77 ^{bA}
			100	1273.4±20.8 ^{aA}	3677.1±49.8 ^{aA}	4195.7±27.9 ^{aA}	367.0±12.6 ^{aA}
	16	16	0	487.7±17.8 ^{cA}	3379.5±49.8 ^{aA}	2087.3±37.2 ^{cA}	31.2±0.05 ^{cA}
			30	749.3±19.4 ^{bA}	3505.2±55.8 ^{aA}	2768.0±35.6 ^{bA}	133.7±11.3 ^{bA}
			100	1285.1±25.6 ^{aA}	3670.5±54.3 ^{aA}	4234.8±40.7 ^{aA}	368.9±17.4 ^{aB}
	18	18	0	497.7±18.3 ^{cA}	3391.7±63.8 ^{aA}	2102.9±25.7 ^{cA}	26.9±0.28 ^{cA}
			30	720.2±24.8 ^{bB}	3501.5±57.8 ^{aB}	2642.3±21.0 ^{bB}	121.3±16.5 ^{bA}
			100	1261.3±26.9 ^{aA}	3609.8±51.3 ^{aA}	4146.9±39.7 ^{aA}	365.1±19.4 ^{aB}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05). Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Çizelge 4.26 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin mikro element içerikleri

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Al (ppb)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Se (ppb)
120	14	14	0	1089.2±50.2 ^a	1.9±0.2 ^a	9.8±0.5 ^a	1.25±0.2 ^a	9.6±0.5 ^a	42.7±2.1 ^{aA}
			30	7841.4±51.4 ^{bA}	10.9±0.1 ^{bA}	18.4±0.2 ^{bA}	2.36±0.1 ^{bA}	19.0±0.3 ^{bA}	42.3±0.2 ^{aA}
			100	19818.3±72.8 ^{aA}	30.2±0.2 ^{aA}	54.3±0.3 ^{aA}	6.56±0.1 ^{aA}	37.0±0.3 ^{aA}	53.3±2.2 ^{aA}
	16	16	0	1160.2±50.6 ^a	1.8±0.1 ^a	17.3±1.5 ^a	1.17±0.1 ^a	9.1±0.2 ^a	44.1±1.4 ^{aA}
			30	7854.5±56.8 ^{bA}	11.1±0.2 ^{bA}	22.4±0.2 ^{bA}	2.43±0.2 ^{bA}	20.1±0.2 ^{bA}	45.4±2.3 ^{bA}
			100	18704.3±65.7 ^{aA}	29.1±0.3 ^{aA}	49.7±0.7 ^{aA}	5.69±0.1 ^{aA}	36.5±0.4 ^{aA}	56.2±0.7 ^{aA}
	18	18	0	1143.3±51.7 ^a	1.9±0.1 ^a	9.4±1.8 ^a	1.21±0.2 ^a	9.3±0.6 ^a	47.2±2.4 ^{aA}
			30	8011.5±100.2 ^{bA}	11.2±0.2 ^{bA}	18.7±0.3 ^{bA}	2.44±0.2 ^{bA}	19.5±0.5 ^{bA}	43.4±1.0 ^{aA}
			100	19795.9±79.3 ^{aA}	29.1±0.3 ^{aA}	50.9±0.2 ^{aA}	5.70±0.3 ^{aA}	35.3±0.2 ^{aA}	50.0±1.7 ^{aA}
140	14	14	0	1081.7±56.8 ^a	1.9±0.2 ^a	10.8±0.9 ^a	1.47±0.2 ^a	9.7±0.2 ^a	50.4±0.3 ^{aA}
			30	8379.9±54.0 ^{bA}	11.4±0.1 ^{bB}	19.7±0.4 ^{bB}	3.02±0.1 ^{bA}	19.8±0.2 ^{bA}	45.3±1.5 ^{aA}
			100	20354.0±87.3 ^{aA}	29.5±0.2 ^{aA}	54.7±0.5 ^{aA}	6.02±0.1 ^{aB}	36.3±0.2 ^{aA}	54.3±2.3 ^{aA}
	16	16	0	1102.7±55.3 ^a	1.8±0.2 ^a	11.1±2.1 ^a	1.35±0.1 ^a	9.3±0.1 ^a	72.0±3.3 ^{aA}
			30	8224.5±66.4 ^{bA}	10.6±0.3 ^{bA}	19.2±0.2 ^{bA}	2.74±0.1 ^{bA}	18.9±0.5 ^{bB}	40.6±1.9 ^{cA}
			100	20353.6±85.4 ^{aA}	30.0±0.5 ^{aA}	53.4±0.6 ^{aA}	6.05±0.2 ^{aB}	37.0±0.3 ^{aA}	78.4±1.8 ^{aA}
	18	18	0	1282.7±48.7 ^a	2.0±0.2 ^a	13.0±0.7 ^a	1.59±0.1 ^a	9.5±0.2 ^a	46.5±1.4 ^{aA}
			30	7819.5±50.3 ^{bA}	10.1±0.2 ^{bA}	18.7±0.1 ^{bA}	2.37±0.1 ^{bA}	17.9±0.1 ^{bB}	40.0±1.5 ^{aA}
			100	19351.9±93.1 ^{aA}	29.5±0.4 ^{aA}	51.2±0.4 ^{aA}	5.99±0.1 ^{aB}	35.8±0.7 ^{aA}	62.3±1.2 ^{aA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

4.5.4 Ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları

Çalışmada kullanılan mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım analiz sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir. Vitaminler gibi, mineraller veya diğer doğru bir ifadeyle elementler de diyetimizden elde edilen temel mikro besin maddeleridir. Ancak, vitaminlerin aksine, ekstrüzyon minerallerin stabilitesinden ziyade biyoyararlanabilirliğini etkiler. Biyoyararlanabilirlik, alınan bir besin maddesinin emilen ve fizyolojik işlevler için mevcut olan miktarı olarak tanımlanır. Biyoyararlanabilirlik, ölçülmesi maliyetli ve zaman alıcı olan karmaşık bir süreç olduğundan, ekstrüzyon bazlı çalışmalarda büyük ölçüde biyoyararlanabilirliği tahmin etmek için *in vitro* yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar genellikle biyoyararlanılabilirlik olarak adlandırılır, bu da bir elementin emilme ve fizyolojik işlevler için kullanılma potansiyeline sahip miktarını tanımlar (Etcheverry vd. 2012).

Çalışmada üretilen arpa unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn elementleri bakımından *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları sırasıyla %41.3-82, %52.2-81, %69.7-87.5, %21.4-67.5, %7.6-66.8, %12.7-48, %44.9-66.2 ve %11.7-75 aralığında bulunmuştur.

120°C sıcaklıkta %14 besleme neminde üretilen örneklerde Mg, Mn ve Fe elementleri bakımından arpa unu katma oranı arttıkça biyoyararlanım oranlarında azalış gözlenmiş ve bu azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Aynı sıcaklık ve besleme neminde P ve K biyoyararlanım oranları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.27 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin in vitro mineral biyoyararlanım oranları

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
120	14	0	80.9±1.2 ^{aA}	57.1±0.4 ^{aA}	81.0±0.2 ^{aA}	65.5±0.5 ^{aA}	58.8±1.2 ^{aA}	46.0±0.6 ^{aA}	58.6±0.5 ^{abA}	65.0±0.6 ^{aA}
		30	67.3±1.1 ^{bA}	64.8±2.7 ^{aA}	82.8±0.5 ^{aA}	59.3±0.7 ^{aA}	35.2±0.9 ^{bA}	35.6±1.2 ^{bA}	64.6±0.8 ^{aA}	47.5±1.5 ^{aA}
		100	44.2±1.0 ^{cA}	57.2±1.6 ^{aA}	77.3±0.3 ^{aA}	21.5±1.4 ^{bA}	7.6±1.5 ^{cA}	16.1±0.8 ^{cA}	52.0±1.0 ^{bA}	18.5±1.4 ^{bA}
	16	0	82.0±1.5 ^{aA}	72.9±0.9 ^{aA}	83.0±1.0 ^{aA}	64.0±0.5 ^{aA}	59.4±2.3 ^{aA}	37.4±0.4 ^{aA}	66.2±1.2 ^{aA}	65.5±2.1 ^{aA}
		30	74.7±1.7 ^{aA}	67.7±1.3 ^{aA}	85.0±0.9 ^{aA}	63.4±1.1 ^{aA}	41.4±2.2 ^{bA}	35.0±0.8 ^{aA}	65.1±0.9 ^{aA}	47.6±0.4 ^{bA}
		100	41.3±2.0 ^{bA}	54.3±1.2 ^{bA}	69.7±1.1 ^{bA}	21.4±1.3 ^{bA}	7.6±0.6 ^{cA}	13.8±1.3 ^{bA}	44.9±1.5 ^{bA}	17.5±0.3 ^{cA}
	18	0	81.4±2.2 ^{aA}	67.4±0.8 ^{bA}	83.4±1.5 ^{aA}	67.5±0.8 ^{aA}	61.4±0.4 ^{aA}	44.0±1.2 ^{aA}	59.7±0.8 ^{aA}	64.5±0.5 ^{aA}
		30	78.0±1.4 ^{aA}	75.0±0.5 ^{aA}	87.5±0.8 ^{aA}	65.0±0.5 ^{aA}	58.7±1.8 ^{bA}	34.9±0.6 ^{bA}	56.1±1.3 ^{aA}	60.2±0.2 ^{aA}
		100	42.9±1.5 ^{bA}	52.2±1.7 ^{cA}	72.6±0.5 ^{bA}	23.4±0.9 ^{bA}	8.3±1.7 ^{cA}	13.9±0.7 ^{cA}	51.4±0.4 ^{aA}	11.7±1.1 ^{bA}
140	14	0	77.3±1.2 ^{aA}	62.3±0.4 ^{bA}	82.5±0.7 ^{aA}	62.0±0.5 ^{aA}	57.3±0.5 ^{aA}	47.5±0.5 ^{aA}	50.7±1.5 ^{bA}	73.0±1.3 ^{aA}
		30	80.2±1.7 ^{aB}	81.0±0.6 ^{aA}	79.0±0.9 ^{aA}	65.5±0.6 ^{aA}	58.3±0.9 ^{aB}	41.3±1.5 ^{bA}	63.9±1.8 ^{aA}	51.8±0.9 ^{bA}
		100	45.0±1.0 ^{bA}	56.6±0.5 ^{bA}	75.5±1.5 ^{aA}	21.9±1.5 ^{bA}	8.0±1.3 ^{bA}	12.7±1.3 ^{cA}	48.7±0.3 ^{bA}	13.4±0.4 ^{cA}
	16	0	77.0±1.6 ^{aA}	75.1±0.2 ^{aA}	85.5±1.3 ^{aA}	59.0±1.6 ^{aA}	66.8±0.2 ^{aB}	43.5±0.5 ^{aA}	65.5±1.7 ^{aA}	75.0±0.7 ^{aA}
		30	77.5±1.5 ^{aA}	65.6±1.3 ^{aA}	77.5±1.2 ^{bA}	61.5±1.3 ^{aA}	49.4±1.4 ^{bA}	27.0±0.7 ^{bB}	55.8±2.0 ^{bA}	49.3±2.0 ^{bA}
		100	53.4±0.7 ^{bB}	66.5±1.5 ^{aA}	75.1±0.7 ^{bA}	30.7±0.3 ^{bB}	11.0±1.5 ^{cA}	13.9±0.9 ^{cA}	49.9±1.9 ^{cA}	15.2±0.6 ^{cA}
	18	0	77.5±1.3 ^{aA}	79.3±1.3 ^{aB}	83.0±0.9 ^{aA}	54.0±0.7 ^{aA}	66.3±0.3 ^{aB}	48.0±1.0 ^{aA}	62.2±1.3 ^{aA}	65.0±0.2 ^{aA}
		30	81.2±1.5 ^{aA}	71.6±0.6 ^{bA}	76.5±2.1 ^{aA}	60.5±0.5 ^{aA}	56.1±0.7 ^{bA}	31.1±1.2 ^{bA}	53.2±1.0 ^{aA}	57.3±0.4 ^{aA}
		100	49.9±0.9 ^{bA}	59.6±0.4 ^{cA}	73.0±1.8 ^{aA}	25.3±0.3 ^{bA}	7.7±2.3 ^{cA}	15.3±1.5 ^{cA}	46.7±0.6 ^{aA}	15.8±0.3 ^{bA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Sıcaklığın 120°C' den 140 °C' ye çıkmasıyla birlikte sıcaklığın mineral biyoyararlanım oranları üzerine etkisi incelendiğinde, %14 besleme neminde %30 katkılı üründe Mg ve Mn, %16 besleme nemindeki şahit örnekte Mn ve %100 arpa unundan üretilen örnekte Mg, Ca, %18 besleme neminde ise şahit örnekte P ve Mn minerallerinin biyoyararlanım oranları üzerindeki sıcaklık etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.05$). Diğer besleme nemi ve katma oranlarında sıcaklığın biyoyararlanım oranı üzerine önemli bir etkisi olmamıştır ($p > 0.05$).

Üretilen ekstrüde ürünler içerisinde Mg ve Cu elementleri bakımından en yüksek mineral biyoyararlanım oranları 120 °C'de, %16 besleme neminde üretilen, en yüksek Ca biyoyararlanım oranı 120 °C'de, %18 besleme neminde üretilen, en yüksek Mn ve Zn biyoyararlanım oranı 140 °C'de, %16 besleme neminde üretilen ve en yüksek Fe biyoyararlanım oranı 140 °C'de, %18 besleme neminde üretilen şahit örnekte bulunmuştur. Çizelge 4.27 incelendiğinde minerallerin biyoyararlanım oranları bakımından katma oranlarının artmasıyla birlikte genel olarak bir azalma gözlemlenmiştir.

Bitki bazlı gıdalardan elde edilen minerallerin biyoyararlanabilirliği, iki ana faktörden etkilenir; bunlar, elementin bulunduğu kimyasal form (örneğin, mineral, serbest iyon, oksidasyon durumu) ve elementin fitik asit, diyet lifleri ve proteinler gibi diğer bileşenlerle olan ilişkisidir. Ekstrüzyon, bu iki faktörü de etkileyebilir ve minerallerin biyoyararlanımını olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir.

Araştırmacılar, ekstrüzyonun farklı mineral elementlerin biyoyararlanabilirliği üzerindeki etkisi konusunda değişken bulgular bildirmişlerdir. Birçok araştırmacı, mısır, sorgum, baklagiller ve kuru fasulye ekstrüzyonu sonrası Fe biyoyararlanımında önemli bir iyileşme olduğunu, diğerleri ise buğday kepeği-un karışımı ve kuru fasulye ekstrüzyonu sonrası Fe ve Zn biyoyararlanımında herhangi bir değişiklik olmadığını bildirmişlerdir. Ekstrüzyon işlemi sırasında kuru fasulye unlarında Mg ve P biyoyararlanabilirliğinde önemli iyileşmeler bildirilmiş, ancak yüksek lifli bir tahıl ürünü

ekstrüde edildiğinde Mg ve P emiliminde önemli azalmalar olduğu belirtilmiştir (Gulati vd. 2020).

Çalışmada kullanılan mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım analiz sonuçları Çizelge 4.28’de verilmiştir. Çalışmada üretilen pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn elementleri bakımından *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları sırasıyla %44.2-82, %39.5-79.3, %70.8-86.3, %35-68, %10.6-66,8, %10.7-48, %18.6-66.2 ve %10-75 aralığında bulunmuştur.

Her iki sıcaklık içinde biyoyararlanım oranları incelendiğinde, Mg, P, Mn, Fe, Cu, Zn elementleri için en yüksek mineral biyoyararlanım oranları %16 ve %18 besleme neminde üretilen şahit örneklerde tespit edilmiştir. Kavuzsuz arpa katkılı ekstrüde ürünlere benzer olarak pirinç unu katma oranının artmasıyla birlikte ürünlerin mineral biyoyararlanım oranlarında genel olarak düşme gözlemlenmiştir. Elementler içerisinde sadece Ca ve K elementleri için en yüksek biyoyararlanım oranları 120°C sıcaklıkta, %16 besleme nemindeki %30 siyah pirinç unu katkılı üründe sırasıyla %68 ile %86.3 olarak tespit edilmiştir.

Sıcaklık artışının pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerin mineral biyoyararlanım oranları üzerine etkisi incelendiğinde, %14 besleme neminde %30 katkılı ekstrüde ürünün Mg, P, Mn, Fe, Cu ve Zn elementlerinin biyoyararlanım oranları üzerine sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). %16 besleme neminde, şahit örnekte P, Mn, %30 katma oranında Mg, P ve K, %100 pirinç unundan üretilen örnekte ise Fe elementinin biyoyararlanım değeri bakımından sıcaklık artışının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). %18 besleme neminde ise şahit örnekte P, Mn, %30 katkılı örnekte Mg, P, Fe, %100 pirinç unundan üretilen örnekte ise Fe elementinin biyoyararlanım değeri bakımından sıcaklık artışının etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$). Sıcaklık artışının Fe elementinin *in vitro* mineral biyoyararlanım oranına olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Örneklerin K biyoyararlanım oranları incelendiğinde bütün sıcaklık, katma oranı ve besleme nemi değerlerinde meydana gelen değişimlerin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.28 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları

Namlu	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
120	14		0	80.9±1.2 ^{aA}	57.1±0.4 ^{aA}	81.0±0.2 ^{aA}	65.5±0.5 ^{aA}	58.8±1.2 ^{aA}	46.0±0.6 ^{aA}	58.6±0.5 ^{abA}	65.0±0.6 ^{aA}
			30	44.1±0.7 ^{cA}	44.4±0.6 ^{aA}	70.8±0.8 ^{aA}	53.2±1.3 ^{bA}	21.6±0.6 ^{bA}	16.8±0.4 ^{bA}	18.6±0.6 ^{cA}	32.4±0.5 ^{bA}
			100	62.3±0.3 ^{bA}	56.0±0.4 ^{abA}	80.5±0.4 ^{aA}	45.6±0.5 ^{bA}	14.7±0.5 ^{cA}	16.0±1.4 ^{bA}	39.6±0.5 ^{bA}	12.4±1.2 ^{cA}
	16		0	82.0±1.5 ^{aA}	72.9±0.9 ^{aA}	83.0±1.0 ^{aA}	64.0±0.5 ^{aA}	59.4±2.3 ^{aA}	37.4±0.4 ^{aA}	66.2±1.2 ^{aA}	65.5±2.1 ^{aA}
			30	79.0±1.3 ^{aA}	62.9±0.5 ^{bA}	86.3±1.3 ^{aA}	68.0±1.5 ^{aA}	59.5±1.2 ^{aA}	30.6±0.2 ^{bA}	46.6±0.8 ^{bA}	57.4±1.3 ^{bA}
			100	60.9±1.1 ^{bA}	55.9±0.7 ^{bA}	79.5±0.6 ^{aA}	46.4±1.7 ^{cA}	14.4±1.7 ^{bA}	13.9±1.3 ^{cA}	43.0±0.9 ^{bA}	11.1±0.5 ^{cA}
140	18		0	81.4±2.2 ^{aA}	67.4±0.8 ^{bA}	83.4±1.5 ^{aA}	67.5±0.8 ^{aA}	61.4±0.4 ^{aA}	44.0±1.2 ^{aA}	59.7±0.8 ^{aA}	64.5±0.5 ^{aA}
			30	79.5±0.2 ^{aA}	63.4±1.7 ^{aA}	80.5±1.8 ^{aA}	66.0±0.6 ^{aA}	56.7±0.5 ^{bA}	27.3±1.8 ^{bA}	44.9±1.2 ^{bA}	57.9±0.7 ^{bA}
			100	53.7±0.7 ^{bA}	48.1±1.5 ^{bA}	82.5±0.7 ^{aA}	35.0±0.5 ^{bA}	10.6±1.5 ^{cA}	10.7±0.9 ^{cA}	38.8±1.8 ^{bA}	11.0±1.3 ^{cA}
	14		0	77.3±1.2 ^{aA}	62.3±0.4 ^{bA}	82.5±0.7 ^{aA}	62.0±0.5 ^{aA}	57.3±0.5 ^{aA}	47.5±0.5 ^{aA}	50.7±1.5 ^{bA}	73.0±1.3 ^{aA}
			30	80.0±1.3 ^{aB}	64.9±1.3 ^{aB}	82.0±0.6 ^{aA}	60.5±1.3 ^{aA}	64.1±1.3 ^{aB}	38.0±0.4 ^{bbB}	44.3±0.7 ^{aB}	55.4±0.4 ^{bbB}
			100	57.1±0.8 ^{bA}	51.4±1.3 ^{bA}	81.0±0.2 ^{aA}	46.5±1.5 ^{aA}	12.7±1.8 ^{cA}	14.4±1.5 ^{cA}	33.8±0.6 ^{aA}	17.0±0.9 ^{cA}
140	16		0	77.0±1.6 ^{aA}	75.1±0.2 ^{aA}	85.5±1.3 ^{aA}	59.0±1.6 ^{aA}	66.8±0.2 ^{aB}	43.5±0.5 ^{aA}	65.5±1.7 ^{aA}	75.0±0.7 ^{aA}
			30	73.6±1.5 ^{aB}	39.5±0.5 ^{cB}	85.5±1.5 ^{aA}	67.5±0.4 ^{aA}	38.9±1.4 ^{bbB}	32.5±0.3 ^{bA}	48.3±0.4 ^{bA}	50.5±0.5 ^{bbB}
			100	58.6±0.5 ^{bA}	51.5±0.3 ^{bA}	82.5±0.9 ^{aB}	40.3±1.2 ^{bA}	12.7±0.7 ^{cA}	15.0±0.5 ^{cA}	37.6±1.3 ^{cA}	18.0±1.8 ^{cB}
	18		0	77.5±1.3 ^{aA}	79.3±1.3 ^{aB}	83.0±0.9 ^{aA}	54.0±0.7 ^{aA}	66.3±0.3 ^{aB}	48.0±1.0 ^{aA}	62.2±1.3 ^{aA}	65.0±0.2 ^{aA}
			30	75.0±1.5 ^{aB}	78.6±1.8 ^{aB}	84.0±0.8 ^{aA}	64.0±0.8 ^{aA}	56.0±0.7 ^{bA}	44.5±0.2 ^{aB}	49.8±0.8 ^{abA}	55.5±0.5 ^{bA}
			100	54.9±1.6 ^{bA}	50.8±0.7 ^{bA}	82.0±0.5 ^{aA}	43.9±0.7 ^{bA}	16.8±0.4 ^{cA}	31.0±1.4 ^{bbB}	40.7±0.6 ^{bA}	10.0±0.9 ^{cA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Çalışmada kullanılan kavılca unundan üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım analiz sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelgeden de görüldüğü gibi, çalışmada üretilen kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn elementleri bakımından *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları sırasıyla %56.9-82, %57.1-88, %75.5-85.5, %29.9-68.4, %9.3-66,8, %16.1-53.2, %50.7-70.2 ve %14-75 aralığında bulunmuştur.

Biyoyararlanım oranları incelendiğinde, K, Mn ve Zn elementleri için en yüksek mineral biyoyararlanım oranları 140 °C’de, %16 besleme neminde üretilen şahit örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek Fe ve Cu biyoyararlanım oranları 120°C’de, %14 besleme neminde %30 kavılca katkılı örneklerden, en yüksek Ca biyoyararlanım oranı ise 140°C’de, %18 besleme neminde %30 kavılca katkılı örneklerden elde edilmiştir.

Sıcaklık artışının kavılca unu katkılı ekstrüde ürünlerin mineral biyoyararlanım oranları üzerine etkisi incelendiğinde, %14 besleme neminde sadece %30 katkılı ekstrüde ürünün P elementi biyoyararlanım oranları üzerine sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). %16 besleme neminde, şahit örnekte Mn, %100 kavılca unundan üretilen örnekte ise Fe ve Cu elementinin biyoyararlanım değeri bakımından sıcaklık artışının etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$). %18 besleme neminde ise şahit örnekte P, Mn, %100 pirinç unundan üretilen örnekte ise K elementinin biyoyararlanım değeri bakımından sıcaklık artışının etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$). Örneklerin K biyoyararlanım oranları incelendiğinde siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlere benzer olarak bütün sıcaklık, katma oranı ve besleme nemi değerlerinde meydana gelen değişimlerin istatistiksel açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.29 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin *in vitro* mineral biyoyararlanım oranları

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Mg (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
120	14	0	80.9±1.2 ^{aA}	57.1±0.4 ^{aA}	81.0±0.2 ^{aA}	65.5±0.5 ^{aA}	58.8±1.2 ^{aA}	46.0±0.6 ^{aA}	58.6±0.5 ^{abA}	65.0±0.6 ^{aA}
		30	73.5±0.5 ^{bA}	79.3±2.3 ^{aA}	75.5±0.7 ^{aA}	62.5±2.1 ^{aA}	29.7±2.4 ^{bA}	53.2±0.8 ^{aA}	70.2±0.7 ^{aA}	29.7±0.5 ^{bA}
		100	58.9±0.3 ^{cA}	86.2±1.7 ^{aA}	80.5±0.8 ^{aA}	31.9±1.7 ^{bA}	9.9±1.5 ^{cA}	16.7±1.2 ^{cA}	60.5±1.2 ^{bA}	16.5±1.5 ^{cA}
	16	0	82.0±1.5 ^{aA}	72.9±0.9 ^{aA}	83.0±1.0 ^{aA}	64.0±0.5 ^{aA}	59.4±2.3 ^{aA}	37.4±0.4 ^{aA}	66.2±1.2 ^{aA}	65.5±2.1 ^{aA}
		30	69.0±0.7 ^{bA}	77.5±2.0 ^{bA}	82.0±1.5 ^{aA}	59.7±1.6 ^{aA}	26.0±1.9 ^{bA}	45.3±0.3 ^{aA}	68.0±1.3 ^{aA}	26.5±1.3 ^{bA}
		100	58.8±1.3 ^{cA}	88.0±1.3 ^{aA}	80.0±1.4 ^{aA}	31.5±0.9 ^{bA}	9.4±2.5 ^{cA}	20.8±1.5 ^{bA}	64.5±0.8 ^{aA}	20.0±0.4 ^{cA}
140	18	0	81.4±2.2 ^{aA}	67.4±0.8 ^{bA}	83.4±1.5 ^{aA}	67.5±0.8 ^{aA}	61.4±0.4 ^{aA}	44.0±1.2 ^{aA}	59.7±0.8 ^{aA}	64.5±0.5 ^{aA}
		30	69.6±1.4 ^{bA}	77.9±1.1 ^{bA}	80.0±0.4 ^{aA}	65.9±1.5 ^{aA}	28.4±1.2 ^{bA}	49.0±1.4 ^{aA}	61.5±0.5 ^{aA}	31.7±0.8 ^{bA}
		100	59.5±0.4 ^{cA}	82.9±1.5 ^{aA}	78.0±0.3 ^{aA}	30.4±1.3 ^{bA}	9.9±0.8 ^{cA}	20.7±0.9 ^{bA}	64.3±1.4 ^{aA}	16.0±0.4 ^{cA}
	14	0	77.3±1.2 ^{aA}	62.3±0.4 ^{bA}	82.5±0.7 ^{aA}	62.0±0.5 ^{aA}	57.3±0.5 ^{aA}	47.5±0.5 ^{aA}	50.7±1.5 ^{bA}	73.0±1.3 ^{aA}
		30	70.1±0.9 ^{bA}	87.9±0.7 ^{aB}	79.0±1.5 ^{aA}	64.0±2.0 ^{aA}	29.4±0.4 ^{bA}	49.7±1.1 ^{aA}	57.0±0.5 ^{aA}	37.2±0.8 ^{bA}
		100	59.3±1.3 ^{cA}	77.4±0.5 ^{aA}	78.0±0.9 ^{aA}	31.3±1.4 ^{bA}	10.3±1.3 ^{cA}	19.1±2.0 ^{bA}	57.4±0.8 ^{aA}	18.0±1.2 ^{cA}
140	16	0	77.0±1.6 ^{aA}	75.1±0.2 ^{aA}	85.5±1.3 ^{aA}	59.0±1.6 ^{aA}	66.8±0.2 ^{aB}	43.5±0.5 ^{aA}	65.5±1.7 ^{aA}	75.0±0.7 ^{aA}
		30	75.7±1.3 ^{aA}	72.7±1.3 ^{aA}	78.5±1.2 ^{bA}	67.1±1.8 ^{aA}	40.5±0.5 ^{bA}	51.1±2.3 ^{aA}	59.2±2.3 ^{aA}	33.5±1.4 ^{bA}
		100	56.9±0.5 ^{bA}	82.7±1.8 ^{aA}	78.0±0.7 ^{bA}	29.9±0.2 ^{cA}	9.3±1.9 ^{cA}	16.1±1.7 ^{cB}	59.6±2.6 ^{aB}	14.5±2.8 ^{cA}
	18	0	77.5±1.3 ^{aA}	79.3±1.3 ^{aB}	83.0±0.9 ^{aA}	54.0±0.7 ^{aA}	66.3±0.3 ^{aB}	48.0±1.0 ^{aA}	62.2±1.3 ^{aA}	65.0±0.2 ^{aA}
		30	74.7±0.6 ^{aA}	74.3±2.1 ^{aA}	85.1±2.6 ^{aA}	68.4±0.9 ^{aA}	38.5±0.8 ^{bA}	47.5±0.8 ^{aA}	67.5±1.4 ^{aA}	40.1±1.2 ^{bA}
		100	59.2±0.5 ^{bA}	85.2±2.0 ^{aA}	84.0±2.3 ^{aB}	31.7±1.2 ^{cA}	10.0±1.6 ^{cA}	21.0±1.2 ^{bA}	64.4±0.8 ^{aA}	14.0±0.9 ^{cA}

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Aynı sütunda verilen 'A-B' harfleri farklı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış unların aynı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

4.6 Ekstrüde Ürünlerin Duyusal Özellikleri

Yapılan duyusal analizde, ekstrüde ürünlerin çeşitli sıcaklık, besleme nemi ve kavuzsuz arpa unu katma oranlarına göre değerlendirmeleri incelenmiştir. Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir. Panelistlerin yaptığı değerlendirme sonucunda, genel kabul edilebilirlik skoru 2 ile 5 arasında değişmiştir.

Çizelge incelendiğinde daha iyi gözenek yapısının, genel kabul edilebilirliği artırdığı, ürünün çiğnenebilir olmasının kabul edilebilirlik üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu, daha gevrek ürünlerin daha yüksek kabul edilebilirlik değerine sahip olduğu, tat/koku puanının genel beğeniyi doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Genel kabul edilebilirlik açısından besleme nemi ve katma oranının olumsuz etkiye sahip olduğu görülmüştür. Besleme nemi ve katma oranı arttıkça genel kabul edilebilirliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, belirli bir sıcaklık ve besleme neminde, daha düşük arpa unu katma oranının duyusal olarak daha olumlu sonuçlar doğurduğunu göstermektedir.

Kavuzsuz arpa unu oranının %30'un üzerinde katılmış olması genel kabul edilebilirliği düşürmekte, tat/koku, çiğnenebilirlik ve gevreklik açısından daha olumsuz bir algı oluşturmaktadır. %14 besleme neminde üretim, en iyi duyusal özellikleri sağlamaktadır. Daha yüksek nem oranları ise bazı özellikleri bozabilmektedir. Sıcaklığın 140°C'ye çıkması duyusal özellikleri etkilese de, optimum sıcaklık 120°C olarak tespit edilmiştir. Genel kabul edilebilirlik açısından en iyi kombinasyon 120°C'de, %14 besleme neminde, şahit örnek veya %30 arpa unu katma oranında elde edilmiştir.

Çizelge 4.30 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavuzsuz arpa unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyuusal analiz değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Renk	Tat/Koku	Sertlik/ Çiğnenebilirlik	Kırılganlık	Gevreklik	Gözenek Yapısı	Genel Kabul Edilebilirlik
120	14	0	5.0±0.02 ^a	4.2±0.09 ^b	4.1±0.04 ^a	3.2±0.21 ^c	4.0±0.00 ^c	4.1±0.12 ^b	4.0±0.03 ^b
		30	4.1±0.17 ^b	5.0±0.07 ^a	4.0±0.24 ^a	5.0±0.02 ^a	5.0±0.04 ^a	4.0±0.07 ^b	5.0±0.04 ^a
		100	5.0±0.07 ^a	4.0±0.04 ^b	3.2±0.10 ^b	4.0±0.14 ^b	4.3±0.09 ^b	5.0±0.14 ^a	4.1±0.19 ^b
	16	0	4.2±0.16 ^b	3.3±0.02 ^b	3.1±0.12 ^b	2.2±0.09 ^b	3.0±0.10 ^a	2.0±0.03 ^b	3.1±0.07 ^a
		30	5.0±0.07 ^a	4.0±0.05 ^a	4.0±0.00 ^a	3.0±0.05 ^a	3.2±0.14 ^a	3.2±0.01 ^a	3.2±0.11 ^a
		100	3.5±0.10 ^c	2.0±0.01 ^c	2.3±0.12 ^c	1.2±0.03 ^c	2.0±0.12 ^b	1.0±0.11 ^c	2.3±0.21 ^b
	18	0	5.0±0.05 ^a	5.0±0.01 ^a	4.0±0.00 ^a	3.0±0.03 ^a	4.1±0.16 ^a	4.0±0.07 ^a	4.1±0.09 ^a
		30	4.3±0.02 ^b	2.1±0.04 ^c	2.1±0.00 ^b	1.1±0.07 ^b	2.0±0.09 ^b	2.3±0.04 ^b	2.0±0.16 ^b
		100	3.2±0.11 ^c	3.2±0.17 ^b	2.0±0.04 ^b	3.0±0.11 ^a	2.3±0.19 ^b	2.0±0.16 ^c	2.5±0.08 ^b
140	14	0	4.6±0.15 ^b	4.0±0.24 ^a	3.2±0.12 ^b	4.0±0.21 ^a	2.1±0.02 ^c	2.1±0.09 ^c	3.1±0.00 ^b
		30	5.0±0.07 ^a	4.1±0.15 ^a	4.0±0.05 ^a	4.2±0.04 ^a	5.0±0.12 ^a	5.0±0.19 ^a	4.6±0.09 ^a
		100	4.0±0.14 ^c	3.5±0.12 ^a	4.3±0.11 ^a	4.0±0.12 ^a	4.2±0.00 ^b	3.0±0.10 ^b	3.4±0.12 ^b
	16	0	4.0±0.16 ^a	4.0±0.04 ^a	3.0±0.04 ^a	4.0±0.12 ^a	3.1±0.01 ^c	3.0±0.13 ^a	3.0±0.02 ^a
		30	4.1±0.12 ^a	3.4±0.10 ^b	3.2±0.14 ^a	3.1±0.04 ^b	4.0±0.06 ^a	2.0±0.10 ^c	3.1±0.09 ^a
		100	3.3±0.16 ^b	2.0±0.24 ^c	1.4±0.02 ^b	4.0±0.24 ^a	3.2±0.02 ^b	2.6±0.05 ^b	2.3±0.00 ^b
	18	0	5.0±0.09 ^a	4.0±0.05 ^a	4.0±0.06 ^a	4.1±0.06 ^a	5.0±0.15 ^a	4.0±0.04 ^a	4.0±0.00 ^a
		30	4.0±0.07 ^b	4.2±0.24 ^a	4.1±0.19 ^a	4.3±0.14 ^a	3.3±0.15 ^b	3.1±0.12 ^b	3.1±0.03 ^b
		100	3.1±0.03 ^c	3.0±0.02 ^b	1.0±0.03 ^b	4.2±0.07 ^a	3.0±0.11 ^b	2.0±0.02 ^c	3.3±0.22 ^b

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış ürünlerin farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, siyah pirinç unu katma oranı arttıkça renk değerinin düştüğü görölmektedir. Şahit örnekte en yüksek renk skoru elde edilirken, %100 oranında belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, siyah pirincin ekstrüde ürünlerin renk yoğunluğunu değiştirdiğini ve duyusal olarak daha düşük puanlandığını göstermektedir.

Tat ve koku skorları genellikle 3-4 arasında seyretmektedir. Katma oranı arttıkça belirgin bir azalma gözlemlenmemekle birlikte, bazı sıcaklık ve nem seviyelerinde tat/koku skoru düşüş gösterebilmektedir. Bu durum, siyah pirinç ununun belirli sıcaklık ve nem koşullarında tat profiline olumsuz etki edebileceğini ifade etmektedir. Artan siyah pirinç katma oranı ile sertlik/çiğnenebilirlik değerlerinde düşüş eğilimi görölmektedir. Özellikle %100 pirinç unundan üretilen örnekte daha düşük sertlik değerleri kaydedilmiştir. Bu, siyah pirinç ununun ekstrüde ürünlerin yapısal özelliklerini değiştirdiğini ve daha az sert bir dokuya yol açtığını göstermektedir.

Kırılmalık değerleri, siyah pirinç oranı arttıkça genellikle yükselme eğilimindedir. Bunun yanı sıra gevreklik değerleri de katma oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. %30 katma oranında daha yüksek gevreklik değerleri elde edilirken, %100 pirinç unundan üretilen örnekte bazı sıcaklık ve nem kombinasyonlarında gevreklik değerinin düştüğü görölmektedir.

Siyah pirinç unu katıldıkça gözenek yapısında değişimler gözlemlenmektedir. Özellikle yüksek katma oranlarında gözenek yapısı daha düşük skorlarla değerlendirilmiştir. Bu durum, siyah pirincin ekstrüzyon işlemleri sırasında ürünlerin iç yapısını etkileyerek gözeneklerin yoğunluğunu değiştirebileceğini göstermektedir.

Genel kabul edilebilirlik skorları incelendiğinde, en yüksek puanlar genellikle düşük siyah pirinç unu katma oranlarında kaydedilmiştir. Özellikle %30 katma oranında daha dengeli bir duyusal profil elde edilirken, %100 pirinç unundan üretilen örnekte kabul

edilebilirliĐin dūřtūĐu Đözlennlenmektedir. Bu durum, belirli bir oranın üzerinde siyah pirinĐ ununun duyusal kaliteyi olumsuz yönde etkileyebileĐini Đöstermektedir.

Siyah pirinĐ unu katma oranının ekstrüde ürünlerin duyusal özellikleri üzerinde belirgin etkileri olduğu Đörölmektedir. Özellikle renk, sertlik ve gözenek yapısı gibi parametreler siyah pirinĐ oranından doğrudan etkilenmektedir. Genel kabul edilebilirlik açısından %30 katma oranının optimum sonuçlar verdiği, %100 pirinĐ unundan üretilen örnekte ise duyusal kabul edilebilirliğin bazı durumlarda dūřtūĐu Đözlennlenmiřtir. Bu bağlamda, siyah pirinĐ ununun belirli bir seviyeye kadar duyusal özellikleri iyileştirebileği, ancak yüksek oranlarda bazı negatif etkiler yaratabileği söylenebilir.



Çizelge 4.31 Mısır irmiğine değişik oranlarda siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyu analizi değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Renk	Tat/Koku	Sertlik/ Çiğnenebilirlik	Kırılganlık	Gevreklik	Gözenek Yapısı	Genel Kabul Edilebilirlik
120	14	0	5.0±0.00 ^a	4.0±0.05 ^a	4.0±0.13 ^b	3.1±0.00 ^b	4.1±0.05 ^b	4.0±0.13 ^b	4.0±0.01 ^a
		30	4.2±0.14 ^b	3.2±0.11 ^b	3.4±0.05 ^c	4.0±0.09 ^a	4.2±0.08 ^b	3.1±0.06 ^c	3.1±0.18 ^b
		100	4.1±0.20 ^b	4.0±0.05 ^a	5.0±0.00 ^a	4.1±0.02 ^a	5.0±0.00 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.08 ^a
	16	0	4.0±0.00 ^a	3.0±0.09 ^a	3.0±0.16 ^a	2.3±0.10 ^b	3.0±0.10 ^a	2.3±0.20 ^b	3.1±0.00 ^a
		30	3.3±0.16 ^b	3.1±0.01 ^a	3.1±0.03 ^a	4.0±0.01 ^a	2.3±0.29 ^a	3.0±0.06 ^a	3.1±0.12 ^a
		100	2.0±0.12 ^c	3.0±0.10 ^a	3.0±0.06 ^a	4.0±0.06 ^a	3.1±0.08 ^a	2.2±0.05 ^b	3.0±0.20 ^a
140	18	0	5.0±0.01 ^a	5.0±0.03 ^a	4.0±0.03 ^a	3.0±0.10 ^a	4.0±0.08 ^a	4.0±0.18 ^a	4.2±0.02 ^a
		30	3.0±0.16 ^b	2.2±0.06 ^c	3.2±0.11 ^b	2.7±0.04 ^b	3.0±0.02 ^c	2.0±0.09 ^b	2.3±0.02 ^c
		100	2.5±0.04 ^c	3.0±0.05 ^b	3.0±0.07 ^b	2.0±0.03 ^c	3.2±0.03 ^b	2.1±0.01 ^b	3.0±0.06 ^b
	14	0	4.6±0.10 ^a	4.0±0.08 ^a	3.0±0.05 ^b	4.0±0.07 ^a	2.3±0.02 ^b	2.0±0.10 ^c	3.3±0.04 ^a
		30	4.2±0.11 ^b	3.2±0.01 ^b	3.2±0.10 ^b	3.0±0.02 ^b	2.1±0.02 ^c	2.1±0.05 ^b	3.3±0.04 ^a
		100	4.0±0.10 ^b	3.0±0.12 ^b	4.0±0.07 ^a	4.0±0.04 ^a	5.0±0.03 ^a	4.0±0.07 ^a	3.1±0.08 ^b
140	16	0	4.0±0.04 ^a	4.0±0.01 ^a	3.0±0.15 ^a	4.0±0.01 ^b	3.0±0.16 ^b	3.0±0.08 ^a	3.0±0.16 ^b
		30	3.3±0.29 ^a	3.1±0.00 ^b	2.1±0.00 ^b	4.6±0.18 ^a	3.0±0.01 ^b	3.2±0.18 ^a	4.1±0.20 ^a
		100	3.2±0.05 ^a	3.0±0.03 ^c	3.0±0.05 ^a	4.2±0.04 ^b	4.0±0.15 ^a	3.1±0.07 ^a	3.5±0.12 ^a
	18	0	5.0±0.14 ^a	4.0±0.06 ^a	4.0±0.08 ^a	4.1±0.06 ^b	5.0±0.00 ^a	4.0±0.06 ^a	4.4±0.04 ^a
		30	3.5±0.16 ^c	3.4±0.21 ^b	2.3±0.00 ^b	2.3±0.15 ^c	3.3±0.01 ^c	2.3±0.15 ^b	3.4±0.02 ^c
		100	4.0±0.14 ^b	3.0±0.08 ^b	4.0±0.02 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.00 ^b	4.0±0.03 ^a	4.1±0.07 ^b

Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış onların farklı katma oranları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal analiz değerleri Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, kavılca unu katma oranı arttıkça renk değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmektedir. Şahit örnekte en yüksek renk skoru elde edilirken, %100 kavılca unundan üretilen örnekte bu skorun düştüğü görülmektedir. Bu durum, kavılca ununun ekstrüde ürünlerin renk yoğunluğunu azalttığını ve duyusal değerlendirme açısından daha düşük puan aldığını göstermektedir.

Kavılca unu ilavesinin tat/koku üzerinde genel olarak olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir. %30 katma oranında tat/koku puanları genellikle daha yüksek çıkmış, ancak %100 kavılca unundan üretilen örnekte düşüş gözlenmiştir. Bu durum, belirli bir seviyeye kadar kavılca ununun duyusal kaliteyi artırdığını, ancak yüksek oranlarda istenmeyen aromatik değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir.

Artan kavılca unu katma oranıyla birlikte sertlik/çiğnenebilirlik değerlerinde dalgalanmalar gözlenmiştir. Örneklerde %30 katma oranında daha yüksek sertlik değerleri elde edilirken, %100 kavılca unundan üretilen örnekte belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, kavılca ununun yapısal olarak ürünün tekstürel özelliklerini değiştirdiğini ve daha az dirençli bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

Kırılgnlık skorları genellikle kavılca unu oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. %30 katma oranında kırılgnlık değerleri nispeten yüksek olup, %100 kavılca unundan üretilen örnekte bazı sıcaklık ve nem kombinasyonlarında kırılgnlıkta azalma görülmüştür. Bu durum, kavılca ununun belirli oranlarda kırılgn yapıyı destekleyebileceğini, ancak yüksek oranlarda daha esnek bir yapı oluşumuna neden olabileceğini göstermektedir.

Gevreklik değerleri katma oranına göre değişiklik göstermektedir. %30 katma oranında genellikle daha yüksek gevreklik değerleri elde edilirken, %100 kavılca unundan üretilen örnekte gevrekliğin düştüğü görülmektedir. Bu, kavılca ununun belirli bir seviyeye kadar çıtırılık kazandırabileceğini, ancak fazla kullanımda gevrekliği azalttığını göstermektedir.

Çizelge 4.32 Mısır irmiğine değişik oranlarda kavılca unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerin duyu analiz değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nemi (%)	Katma Oranı (%)	Renk	Tat/Koku	Sertlik/Çiğnenebilirlik	Kırılganlık	Gevreklik	Gözenek Yapısı	Genel Kabul Edilebilirlik
120	14	0	5.0±0.00 ^a	4.2±0.40 ^a	4.0±0.10 ^a	3.3±0.25 ^a	4.2±0.07 ^a	4.0±0.02 ^a	4.2±0.06 ^b
		30	4.1±0.11 ^a	5.0±0.00 ^a	4.1±0.08 ^a	5.0±0.00 ^a	5.0±0.00 ^a	4.2±0.02 ^a	5.0±0.00 ^a
		100	4.1±0.26 ^a	4.1±0.04 ^a	4.1±0.28 ^a	5.0±0.00 ^a	4.1±0.08 ^a	5.0±0.00 ^a	5.0±0.00 ^a
	16	0	4.0±0.14 ^b	3.2±0.44 ^b	3.0±0.38 ^a	2.4±0.35 ^b	3.0±0.04 ^b	2.3±0.29 ^b	3.3±0.06 ^b
		30	4.3±0.12 ^b	4.0±0.06 ^a	3.3±0.00 ^a	4.0±0.10 ^a	3.4±0.11 ^b	3.2±0.14 ^{ab}	4.1±0.14 ^a
		100	5.0±0.00 ^a	4.1±0.25 ^a	4.2±0.30 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.48 ^a	4.0±0.20 ^a	4.3±0.14 ^a
140	18	0	5.0±0.00 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.36 ^a	3.1±0.14 ^b	4.4±0.05 ^a	4.6±0.33 ^a	4.1±0.34 ^a
		30	5.0±0.00 ^a	4.0±0.27 ^b	3.0±0.01 ^b	4.0±0.44 ^a	4.0±0.09 ^a	4.1±0.16 ^a	3.2±0.10 ^b
		100	4.0±0.20 ^b	3.2±0.42 ^c	3.4±0.10 ^b	4.2±0.04 ^a	4.0±0.21 ^a	3.0±0.15 ^b	3.1±0.39 ^b
	14	0	4.0±0.14 ^b	4.0±0.34 ^a	3.0±0.47 ^c	4.0±0.09 ^b	2.0±0.31 ^b	2.1±0.14 ^b	3.0±0.33 ^b
		30	5.0±0.00 ^a	4.1±0.06 ^a	3.6±0.38 ^b	3.4±0.46 ^b	4.0±0.20 ^a	4.0±0.09 ^a	4.1±0.47 ^a
		100	3.4±0.08 ^b	4.3±0.48 ^a	4.0±0.30 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.39 ^a	4.0±0.15 ^a	4.0±0.41 ^a
140	16	0	4.0±0.23 ^a	4.0±0.28 ^a	3.0±0.38 ^b	4.0±0.07 ^a	3.0±0.43 ^b	3.1±0.03 ^b	3.5±0.14 ^b
		30	4.2±0.00 ^a	3.2±0.32 ^b	4.1±0.36 ^a	3.3±0.45 ^b	4.5±0.38 ^a	4.4±0.05 ^a	4.2±0.13 ^a
		100	4.1±0.24 ^a	3.1±0.16 ^b	1.6±0.33 ^c	4.0±0.05 ^a	3.2±0.21 ^b	3.0±0.13 ^b	3.1±0.31 ^b
	18	0	5.0±0.00 ^a	4.0±0.09 ^a	4.0±0.15 ^a	4.2±0.25 ^a	5.0±0.00 ^a	4.0±0.01 ^a	4.2±0.28 ^a
		30	4.3±0.37 ^b	3.2±0.36 ^b	3.3±0.45 ^b	3.5±0.07 ^b	4.0±0.21 ^b	3.3±0.06 ^b	4.1±0.47 ^a
		100	4.1±0.08 ^b	3.3±0.31 ^b	2.2±0.44 ^c	4.0±0.31 ^a	3.0±0.19 ^c	4.0±0.47 ^a	3.5±0.03 ^b

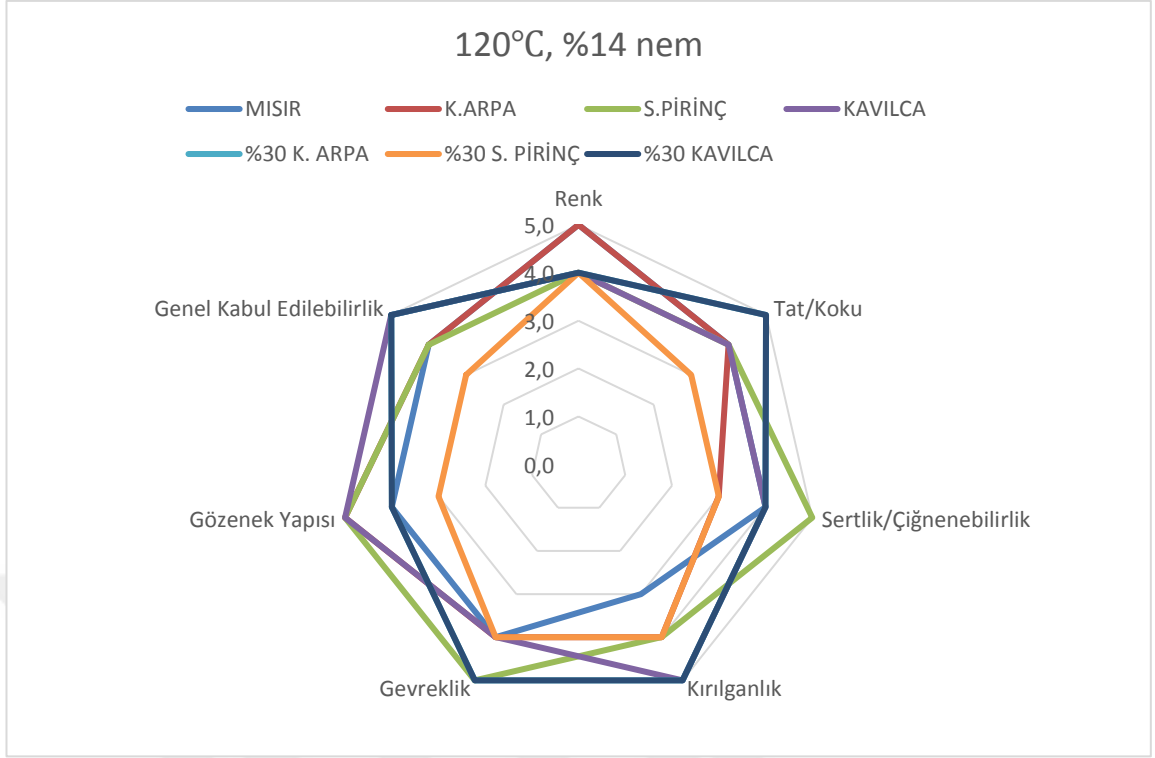
Aynı sütunda verilen 'a-c' harfleri aynı sıcaklıkta aynı besleme nemi uygulanmış onların farklı katma oranları ortalamaları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir (p<0.05).

Kavılca ununun ilavesiyle gözenek yapısında farklılaşmalar gözlenmiştir. %30 katma oranında gözenek yapısı genellikle daha yüksek değerlendirilirken, %100 kavılca unundan üretilen örnekte daha kompakt bir yapı gözlemlenmiştir. Bu durum, kavılca ununun ekstrüzyon sürecinde hamurun genişleme özelliklerini etkileyerek farklı içyapılar oluşturabileceğini göstermektedir.

Genel kabul edilebilirlik açısından en yüksek skorların genellikle şahit örnek ve %30 katma oranlarında elde edildiği görülmektedir. %100 kavılca unundan üretilen örnekte bazı kombinasyonlarda genel kabul edilebilirlik düşüş göstermektedir. Bu durum, kavılca ununun belirli bir orana kadar duyuşal açıdan olumlu bir katkı sağladığını, ancak yüksek oranlarda tüketici tercihlerini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Çalışma bulguları, kavılca unu ilavesinin ekstrüde ürünlerin duyuşal özellikleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle renk, sertlik ve gözenek yapısı gibi parametreler kavılca ununun katma oranından doğrudan etkilenmektedir. Genel kabul edilebilirlik açısından en iyi sonuçların %30 katma oranında elde edildiği, %100 kavılca unundan üretilen örnekte ise bazı duyuşal özelliklerde düşüş yaşandığı görülmektedir. Bu bağlamda, kavılca ununun belirli bir seviyeye kadar ürünün duyuşal kalitesini artırabileceği, ancak yüksek oranlarda bazı olumsuz etkiler yaratabileceği söylenebilir.

120 °C sıcaklıkta ve %14 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyuşal değerlendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.1' de verilmiştir.

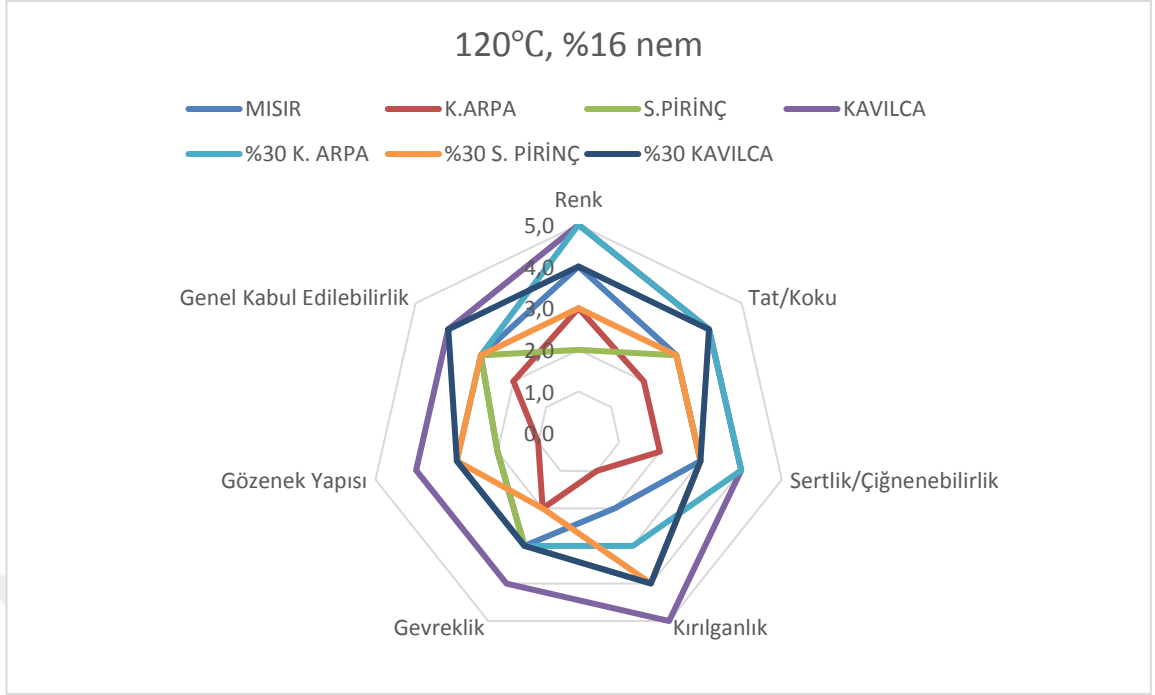


Şekil 4.1 120°C'de, %14 nem'de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

Duyusal değerlendirme kapsamında, panelistlerin her bir ekstrüde ürün örneğini değerlendirmek için verdikleri puanların ortalamaları dikkate alınarak polar koordinat grafikleri oluşturulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde 120°C namı sıcaklığı ve %14 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerde renk açısından en beğenilen örnekler şahit örnek ve %100 kavuzsuz arpa unundan elde edilen örnek olmuştur. Diğer tahıllardan elde edilen örneklerde 5 dereceli hedonik skalada 4 puan almış ve renk bakımından örneklerin hepsi beğenilmiştir. Tat ve koku parametreleri bakımından en beğenilen örnekler %30 kavılca ve %30 kavuzsuz arpa katkı örnekler ve en az beğenilen örnek ise %30 siyah pirinç unu katkı örnek olmuştur. Sertlik/çiğnenebilirlik açısından en çok %100 siyah pirinç unundan üretilen örnek beğenilmiştir. En sert bulunan örnekler ise %100 kavuzsuz arpadan ve %30 siyah pirinç unu katkı örnekler olmuştur. Kırılgenlik ve gevreklik açısından en beğenilen örnekler %30 kavılca ve %30 kavuzsuz arpa katkı örnekler olmuştur. Genel olarak tam arpa ve tam kavılca katkısı şahit örneklerin gevreklik değerini artırmış ve beğeniyi yükseltmiştir. Bütün parametrelerin ortak olarak değerlendirildiği genel kabul edilebilirlik açısından 120°C'de ve %14 besleme neminde üretilen örnekler için %30 ve %100 kavılca unu katkı

örnekler ile %30 kavuzsuz arpa katkılı örnekler panelistler tarafından 5 puan verilerek kabul edilebilirliği en yüksek örnekler olmuştur. Bütün örnekler genel kabul edilebilirlik açısından 3 ve üzeri puan alarak kabul edilebilir seviyede bulunmuşlardır.

Grafik genel olarak incelendiğinde, kavılca, siyah pirinç ve karışımlarında renk skoru daha düşük çıkmıştır. Bu durum, mısırın açık sarı rengi nedeniyle panelistler tarafından daha parlak veya doğal olarak kabul edilmesiyle açıklanabilir. Siyah pirinç ve kavılca ununun daha koyu pigmentlere sahip olması, duyuşsal değerdendirme renk puanının düşmesine neden olabilmektedir. Tat ve koku açısından mısır ve kavılca içeren ürünlerin daha yüksek puanlar aldığı gözlemlenmektedir. Siyah pirinç ve karışımları tat/koku açısından biraz daha düşük skorlar almıştır. Bu durum, bazı panelistlerin siyah pirincin özgün tat profiline alışkın olmamasından kaynaklanabilir. Sertlik ve çignenebilirlik açısından tahıllar arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Mısır bazlı ürünler daha sert yapıya sahipken, siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde sertlik değerdinin nispeten düşük olduğu gözlemlenmektedir. Kavılca unu içeren ekstrüde ürünlerin daha yumuşak ve kolay çignenebilir olduğu anlaşılmaktadır. Kırılganlık ve gevreklik parametrelerinde farklı tahılların belirgin etkileri gözlemlenmektedir. Mısır ve arpa bazlı ürünler daha gevrek ve kırılgan olurken, siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde bu değerdeler nispeten düşük çıkmıştır. Bu durum, siyah pirincin ve kavılcanın ekstrüzyon sürecinde hamurun genleşme kapasitesini ve iç yapıyı etkileyerek daha yoğun bir yapı oluşturtmasından kaynaklanabilir. Gözenek yapısı açısından mısır ve arpa içeren ürünler daha yüksek değerdere sahipken, siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde daha düşük puanlar alınmıştır. Bu, siyah pirinç ve kavılca ununun ekstrüzyon sırasında genişlemeyi sınırlandırıp daha kompakt yapılar oluşturtduğunu göstermektedir. Genel kabul edilebilirlik açısından mısır ve arpa bazlı ürünlerin daha yüksek puan aldığı görülmektedir. Siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde bu değerdelerin nispeten düşük olması, tüketicilerin bu tahıl türlerinin ekstrüde ürünlerdeki dokusal ve tat farklılıklarına alışkın olmamasıyla ilişkilendirilebilir. %30 oranında farklı tahıl ilaveleri bazı duyuşsal özellikleri olumlu yönde etkileyebilir, ancak oran arttıkça panelistler tarafından daha az tercih edilebilir hale gelebilir.



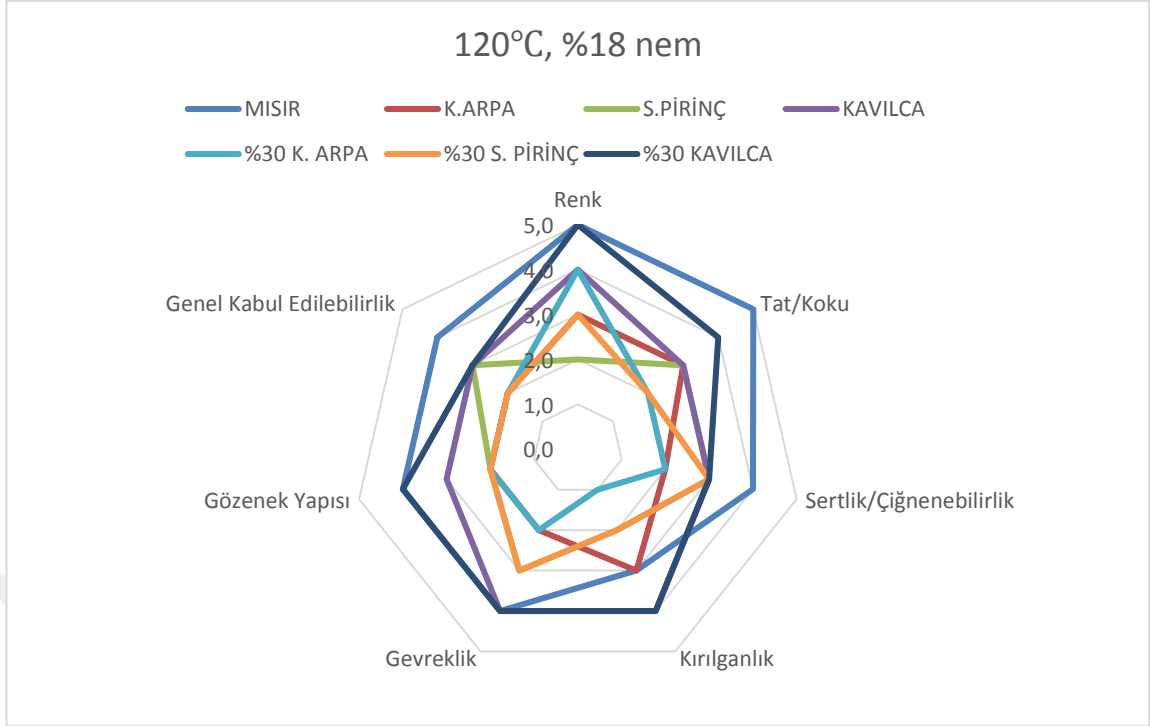
Şekil 4.2 120°C’de, %16 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

120 °C sıcaklıkta ve %16 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyuşal değeriendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.2’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 120°Cnamlu sıcaklığı ve %16 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerde renk açısından en beğenilen örnekler %100 kavılca ve %100 kavuzsuz arpa unundan elde edilen örnekler olmuştur. En düşük puanı %100 siyah pirinç unundan üretilen örnek almıştır (2). Tat/koku bakımından %100 kavuzsuz arpadan üretilen örnek hariç bütün örnekler 3 ve üzeri puan almıştır. Sertlik/çiğnenebilirlik, kırılgenlik, gevreklik, gözenek yapısı ve genel kabul edilebilirlik açısından da en düşük puanları alan örnek %100 kavuzsuz arpa unundan üretilmiştir. Bütün parametrelerde %100 kavılca unundan üretilen örnek 4 ve üzeri puan alarak en beğenilen örnek olmuştur. %100 siyah pirinç unundan elde edilen örnek hariç bütün örnekler kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Grafik genel olarak değeriendirildiğinde, En yüksek renk puanı %100 kavılca unu ve %100 kavuzsuz arpa unu içeren ürünlere aittir. Mısır bazlı ürünler de renk açısından yüksek puan almıştır. En düşük renk puanı ise %100 siyah pirinç içeren ürünlere aittir.

Bu, siyah pirincin koyu pigment içeriğinin tüketiciler tarafından daha az tercih edilmesine yol açabileceğini göstermektedir. Mısır, kavılca ve arpa bazlı ürünlerin tat/koku puanlarının yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Siyah pirinç içeren ürünlerde tat/koku puanı nispeten daha düşük çıkmıştır. Siyah pirincin kendine özgü aromasının panelistler tarafından daha az kabul gördüğü ve tüketici alışkanlıklarına bağlı olarak tercih edilmeyebileceği değerlendirilebilir. Mısır ve arpa bazlı ürünler sertlik açısından daha yüksek puan almıştır. Kavılca ve siyah pirinç içeren ürünlerin daha düşük sertlik/çiğnenebilirlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, farklı tahılların ekstrüzyon sürecindeki su tutma kapasitesi ve nişasta-protein yapılarının çiğnenebilirlik üzerinde doğrudan etkili olmasından kaynaklanabilir. Kırılabilirlik açısından mısır ve arpa bazlı ürünlerin daha yüksek puan aldığı, siyah pirinç ve kavılca bazlı ürünlerde ise kırılabilirlik değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Gevreklik parametresinde ise mısır ve arpa bazlı ürünler öne çıkarken, siyah pirinç ve kavılca bazlı ürünlerde gevrekliğin azaldığı tespit edilmiştir. Genel kabul edilebilirlik açısından mısır, arpa ve kavılca içeren ürünlerin en yüksek puanı aldığı görülmektedir. %100 siyah pirinç içeren ürünler en düşük kabul edilebilirlik skoruna sahiptir. Bu durum, tüketicilerin alışık oldukları tat, renk ve doku kombinasyonlarını tercih ettiğini ve belirli tahılların yüksek oranlarda kullanıldığında duyu kaliteyi olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir.

120 °C sıcaklıkta ve %18 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyu değerlendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.3 120°C'de, %18 nem'de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

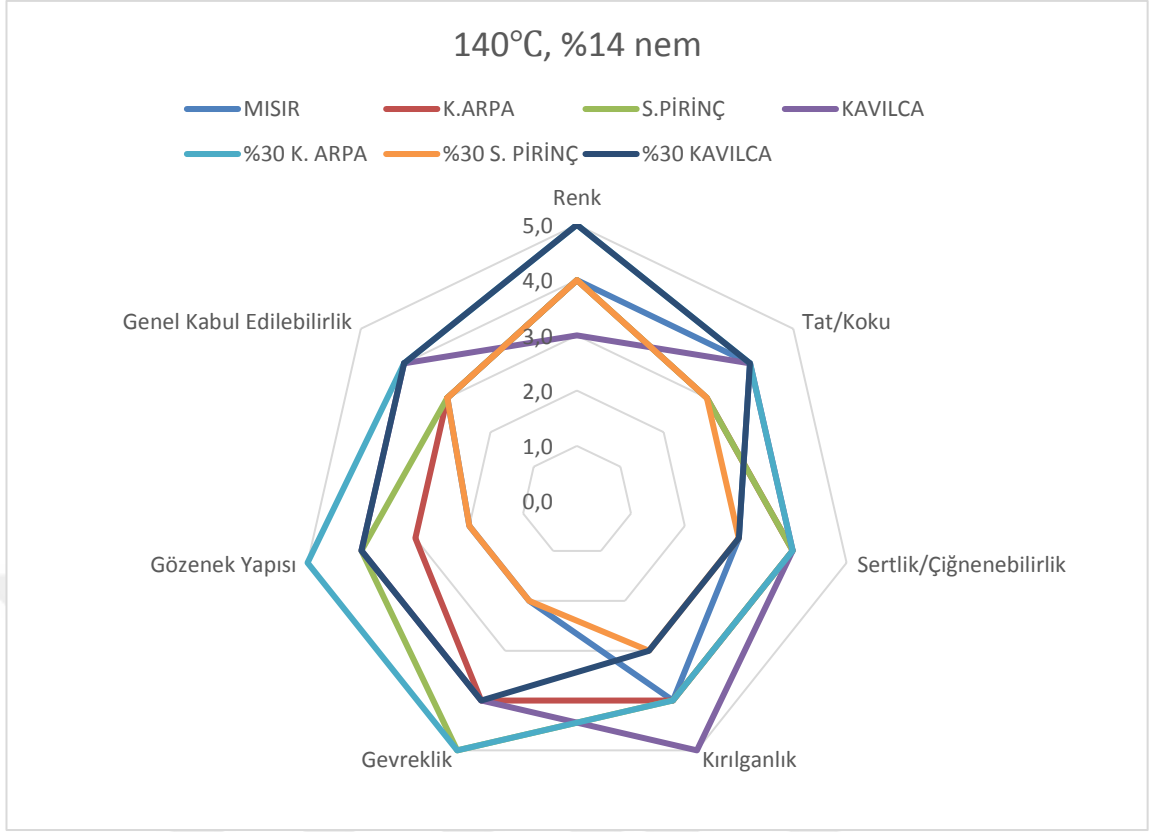
120°C'de namlu sıcaklığı ve %18 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerin duyuşal değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, renk açısından en beğenilen örnekler şahit örnek ve %30 kavılca unu katkılı örnekler olmuştur. %16 besleme neminde üretilenlere benzer olarak, en düşük puanı %100 siyah pirinç unundan üretilen örnek almıştır. Tat/koku açısından en yüksek puanı şahit örnek almış (5), %30 kavuzsuz arpa ve %30 siyah pirinç katkılı örnekler hariç diğer örneklerin hepsi 3 ve üzeri puan olarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Sertlik/iğnenebilirlik açısından yine en beğenilen örnek şahit örnek olmuş ve kavuzsuz arpa katkısının bütün katma oranlarında sertlik/çiğnenebilirlik üzerine olumsuz etkisi olduğu görölmüştür. Örnekler genel kabul edilebilirlik açısından değerlendirildiğinde, %30 ve %100 kavuzsuz arpa ile %30 siyah pirinç katkılı örnekler 3 puanın altında puan olarak kabul edilebilir seviyede bulunmamıştır. 120 °C namlu sıcaklığında üretilen ürünlerin genel değerlendirmesi yapıldığında besleme nemi arttıkça duyuşal değerlendirme puanlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Grafik genel olarak değerlendirildiğinde, en yüksek renk puanları mısır bazlı ürünlere aittir. Siyah pirinç içeren ürünler en düşük renk puanına sahiptir. Kavılca ve arpa içeren

ürünler orta seviyede renk skorlarına sahiptir. Bu sonuç, siyah pirincin doğal koyu pigmentlerinin duyusal değerlendirmede düşük puan almasına sebep olabileceğini göstermektedir. Mısır ve kavılca bazlı ürünler tat/koku açısından en yüksek puanları almıştır. Siyah pirinç ve arpa içeren ürünlerin tat/koku skoru nispeten daha düşüktür. Siyah pirincin kendine özgü tadı, bazı panelistler tarafından daha az tercih edilebilir bulunmuş olabilir. Mısır ve arpa içeren ürünlerin sertlik/çiğnenebilirlik değerleri daha yüksek bulunmuştur. Siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde bu değerler nispeten düşük olup, daha yumuşak bir dokuya işaret etmektedir. Bu durum, tahılların ekstrüzyon sürecinde farklı su tutma kapasitelerine ve nişasta-protein yapılarına sahip olmasından kaynaklanabilir. Mısır ve arpa katkılı ürünler gevreklik ve kırılganlık açısından en yüksek puanlara sahiptir. Siyah pirinç ve kavılca içeren ürünlerde bu değerler daha düşük çıkmıştır.

Genel kabul edilebilirlik açısından mısır ve kavılca bazlı ürünler en yüksek puanları almıştır. Siyah pirinç içeren ürünler en düşük kabul edilebilirlik skoruna sahiptir. %30 oranında siyah pirinç içeren ürünlerin kabul edilebilirliği tamamen düşük değildir, ancak %100 siyah pirinç kullanımı duyusal kaliteyi olumsuz etkileyebilir.

140 °C sıcaklıkta ve %14 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal değerlendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



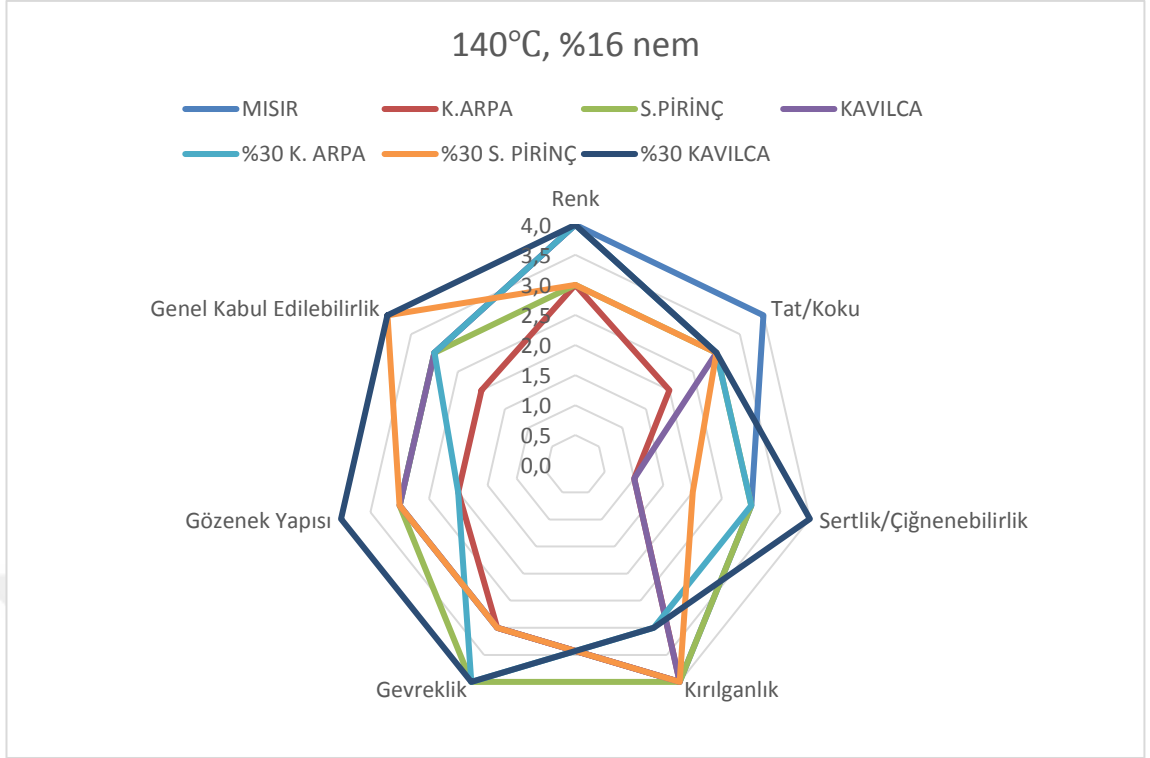
Şekil 4.4 140°C de, %14 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

140°C’de namlu sıcaklığı ve %14 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerin duysal değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, renk açısından en beğenilen örnekler %30 kavlca ve %30 kavuzsuz arpa katkılı örnekler olmuş ve şahit örnekten daha fazla puan almışlardır. Renk bakımından bütün örnekler kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Tat/koku açısından da yine aynı örnekler şahit örnekle beraber en beğenilen örnekler olmuştur. Sertlik/çiğnenebilirlik ve kırılgenlik parametreleri açısından da bütün örnekler 3 ve üzeri puan alarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. %14 besleme neminin örneklerin duysal kriterleri üzerine çok fazla olumsuz etkisi görülmemiştir. 140 °C ve %14 nem şahit örneğin gevreklik ve gözenek yapısını oldukça olumsuz yönde etkilemiştir. Genel kabul edilebilirlik puanları açısından bu sıcaklık ve nemde üretilen bütün örnekler 3 ve üzeri puan alarak genel olarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Grafik genel olarak değerlendirildiğinde, renk açısından en yüksek puanı %30 kavlca ve %30 kavuzsuz arpa içeren ürünler almıştır. Mısır bazlı ürünler de yüksek renk puanına

sahipken, siyah pirinç içeren ürünler en düşük renk skoruna sahiptir. Siyah pirincin yüksek antosiyanin içeriği nedeniyle koyu renkli olması, duyusal değerlendirmede daha düşük puan almasına yol açmış olabilir. %30 kavılca ve %30 kavuzsuz arpa içeren örnekler tat/koku açısından daha yüksek puan almıştır. Siyah pirinç unu içeren ürünler, tat/koku açısından en düşük puana sahiptir. Bu durum, bazı panelistlerin siyah pirincin özgün aromatik yapısına alışkın olmamasından kaynaklanabilir. Mısır ve arpa bazlı ürünler sertlik açısından en yüksek değerlere sahiptir. Kavılca unu içeren ürünler orta seviyede çiğnenebilirlik gösterirken, siyah pirinç içeren ürünler en düşük sertlik skoruna sahiptir. Mısır ve arpa katkılı ürünler en yüksek kırılgenlik ve gevreklik değerlerine sahiptir. Siyah pirinç ve kavılca bazlı ürünlerde bu değerler daha düşük çıkmıştır. Siyah pirincin nişasta ve protein yapısının ekstrüzyon sürecinde gevrekliği ve kırılgenliği azaltılabileceği düşünülmektedir. Gözenek yapısı açısından en yüksek değerlere sahip ürünler mısır ve arpa bazlı ürünlerdir. Siyah pirinç içeren ürünlerde gözenek yapısı daha kompakt olup, hava tutma kapasitesinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kavılca ve arpa içeren ürünlerin duyusal olarak daha iyi performans göstermesi, bu tahılların mısır bazlı ekstrüde ürünlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

140 °C sıcaklıkta ve %16 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal değerlendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.5' te verilmiştir.



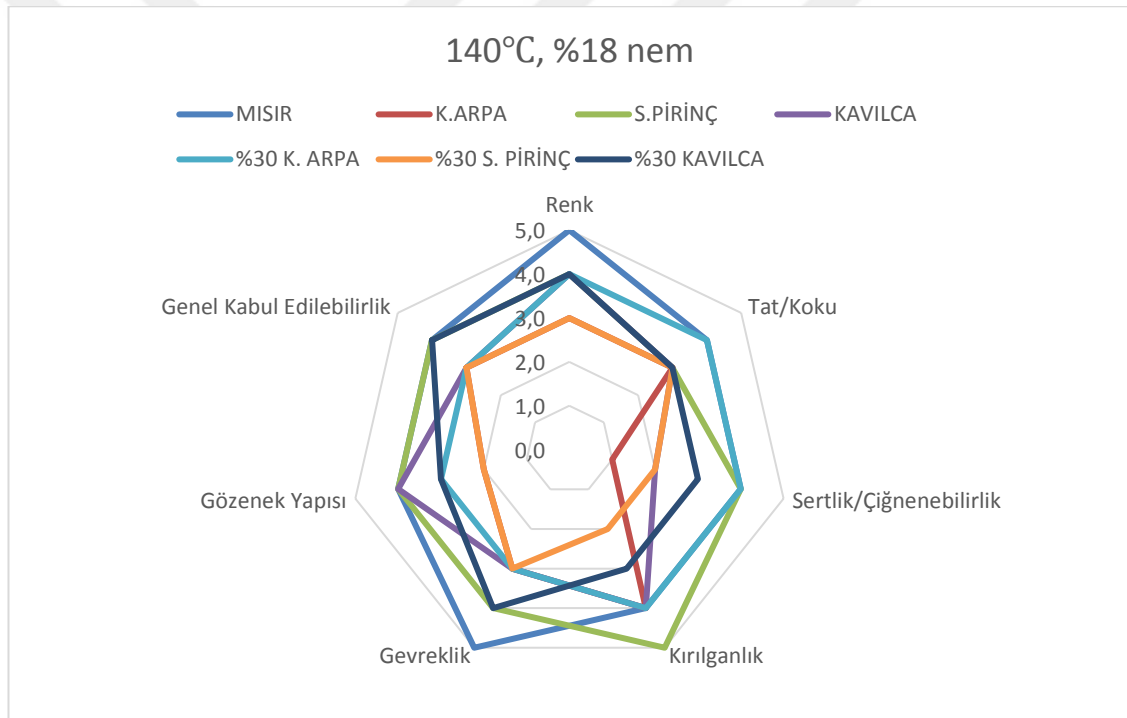
Şekil 4.5 140°C’de, %16 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

140°C namlu sıcaklığı ve %16 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerin duyusal değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, renk bakımından bütün örnekler 3 ve üzeri puan alarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Tat/koku açısından %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen örneğin 2 puan alarak en beğenilmeyen örnek olduğu görülmüştür. Sertlik/çiğnenebilirlik parametreleri açısından tam tahıl unu katkısı örnek üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmuş ve %100 kavılca ve %100 arpa unundan üretilen örnekler kabul edilebilir seviyede bulunmamıştır. Genel kabul edilebilirlik puanları açısından bu sıcaklık ve nemde üretilen bütün örnekler %100 arpa unundan üretilen örnek hariç 3 ve üzeri puan alarak genel olarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Grafik genel olarak değerlendirildiğinde, tüm örneklerin renk parametresinde 3 ve üzeri puan alarak kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir. Mısır bazlı ürünler en yüksek renk puanına sahiptir. Siyah pirinç içeren ürünler, renk açısından en düşük puanı almıştır. Kavılca ve arpa içeren ürünler renk açısından orta seviyede değerlendirilmiştir. Mısır ve arpa katkılı ürünler tat/koku açısından daha yüksek puan alırken, siyah pirinç içeren

ürünler en düşük tat/koku skoruna sahiptir. Mısır ve arpa içeren ürünler sertlik açısından en yüksek değerlere sahipken, siyah pirinç bazlı ürünler en düşük sertlik skoruna sahiptir. Genel kabul edilebilirlik açısından en yüksek puanlar mısır ve arpa bazlı ürünlere aittir. Siyah pirinç içeren ürünler en düşük kabul edilebilirlik skoruna sahiptir. %30 oranında kavılca ve arpa içeren karışımlar, duyu kalite açısından optimize edilebilecek ürünler olarak öne çıkmaktadır.

140 °C sıcaklıkta ve %18 besleme neminde kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavılcanın %0,30,100 katma oranlarında üretilen ekstrüde ürünlerin duyu değerlendirme puanlarına ait polar koordinat grafiği Şekil 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.6 140°C’de, %18 nem’de üretilen ekstrüde ürünlerin polar koordinat grafiği

140°C’de namlu sıcaklığı ve %18 besleme neminde farklı tahıl gruplarından üretilen ekstrüde ürünlerin duyu değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, renk bakımından en beğenilen örnek şahit örnek olmuş ve bütün örnekler 3 ve üzeri puan alarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Tat/koku açısından %100 kavuzsuz arpa unundan üretilen örnek ve şahit örneğin en çok beğenilen örnekler olduğu görülmüştür. Sertlik/çiğnenebilirlik parametreleri açısından tam tahıl unu katkısı örnek üzerinde

olumsuz bir etkiye sebep olmuş ve şahit örnek ile %30 arpa ve kavılca unu katkılı örnekler hariç üretilen bütün örnekler kabul edilebilir seviyede bulunmamıştır. Genel kabul edilebilirlik puanları açısından bu sıcaklık ve nemde üretilen bütün örnekler 3 ve üzeri puan alarak genel olarak kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Genç (2021) tarafından yapılan bir araştırmada tam buğday kırması ve mısır irmiğinden farklı sıcaklık ve besleme nemlerinde ekstrüde ürünler üretilmiş ve duyu analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde renk, tat/koku, sertlik/çiğnenebilirlik, kırılabilirlik, gevreklik, gözenek yapısı ve genel kabul edilebilirlik parametrelerinin besleme nemi ve kalıp sıcaklığından etkilendiği bildirilmiştir. 150°C kalıp sıcaklığında ve %12 besleme neminde üretilen ekstrüde ürünlerinin genel kabul edilebilirliğinin en yüksek değeri aldığı tespit edilmiş ve bu sonuçların fiziksel analizlerle uyumlu olduğu rapor edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, çeşitli tahıllardan elde edilen tam tahıl unları kullanılarak daha besleyici, sağlıklı ve kabul edilebilir kalitede atıştırmalık gıda üretilmesi, ülkemizin tescilli tahıl çeşitleri olan Yalın (kavuzsuz arpa), Siyah 1 (siyah pirinç) ile kavılca unu katkısının atıştırmalık mısır çerezinin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, araştırmada kullanılan çeşitli tahıllardan elde edilmiş unlar ile bu unlardan üretilmiş ekstrüde ürünlerin toplam diyet lif, β -glukan, fitik asit, mineral madde, fenolik madde, antioksidan aktivite gibi değerleri belirlenerek besinsel ve duyuşsal özellikleri tanımlanmış ve çeşitli tahılların ekstrüde ürün üretimindeki potansiyelinin araştırılarak atıştırmalık gıda pazarına alternatif fonksiyonel ürünler kazandırılması hedeflenmiştir.

Çalışmada kontrol örneği olarak %100 mısır irmiğinden üretilmiş çerezler kullanılmış, diğer tahıllar tam un halinde iki farklı katma oranında (%30,100) mısır irmiğine katılarak paçallar hazırlanmış, iki farklı namlu sıcaklığı (120, 140°C) ve üç farklı besleme neminde (%14,16,18) üretimler gerçekleştirilmiştir.

Araştırma sonunda elde edilen ürünlerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri incelendiğinde, mısır irmiğine farklı oranlarda arpa unu ve siyah pirinç unu katılarak üretilen ekstrüde ürünlerde %30 katma oranında ürünlerin genişleme indeksinde keskin bir artış gözleendiği, fakat %100 tam arpa ve pirinç unu kullanıldığında tam tersi olarak genişleme indeksinin tekrar düştüğü tespit edilmiştir. Aynı sıcaklık ve farklı besleme nemi uygulamalarında besleme nemi arttıkça örneklerin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Siyah pirinç unu katkısıyla üretilen ürünlerde ise katma oranı arttıkça genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinde artış gözlenmiştir.

Ekstrüde ürünlerin renk değerleri incelendiğinde bütün katkılı örneklerde Maillard reaksiyonuna bağlı olarak şahit örneğe kıyasla L* parlaklık değerinde azalma gözlenmiş ve toplam renk değişimi (ΔE)'nin katma oranına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Ekstrüde ürünlerin tekstür özelliklerinden olan sertlik değeri sonuçları incelendiğinde arpa unu katkısına bağlı olarak katma oranı arttıkça sertliğin arttığı, gevreklik değerinin ise düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca sertlik, namlu sıcaklığındaki artışla birlikte azalma eğilimindedir. Siyah pirinç ve kavrılca unu katkılı örneklerde, her iki sıcaklıkta da besleme nemi artışıyla sertlik değerinde artma ve gevreklik değerinde azalma gözlenmiştir.

Her sıcaklık derecesi ve besleme nemi içeriklerinde katma oranına bağlı olarak ürünlerin protein ve kül miktarlarında artış gözlenmiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Sıcaklık artışının ürünlerin içerdiği protein ve kül miktarı oranlarına anlamlı bir etkisi olmamıştır.

Her namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nemi oranları için, tüm ekstrüde ürünlerde fitik asit ve fitat fosforu miktarları tahıl unu katma oranına bağlı olarak artmış ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Arpa unu katkılı ürünlerde β -glukan miktarı incelenmiş, tüm sıcaklık ve besleme nemi uygulamalarında katma oranına bağlı olarak β -glukan miktarında artış gözlenmiş, sıcaklık ve besleme neminin ürünün β -glukan miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı kaydedilmiştir ($p > 0.05$).

Ekstrüde ürünlerin fonksiyonel özellikleri değerlendirildiğinde bütün tahıl gruplarında tüm sıcaklık ve besleme nemi değerlerinde katma oranına bağlı olarak toplam diyet lif içeriğinde artış meydana gelmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavrılca unu oranı arttıkça toplam fenolik madde miktarı ve toplam antioksidan aktivite belirgin bir şekilde artmıştır. Genellikle daha yüksek besleme nemi seviyelerinde antioksidan aktivite artış göstermektedir. 140°C sıcaklık seviyesinde bazı durumlarda fenolik madde ve antioksidan aktivitenin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklığın fenolik bileşenlerin stabilitesini düşürerek antioksidan aktiviteyi kısmen azaltabileceğini göstermektedir.

Ekstrüde ürünlerin mineral madde bileşimleri incelendiğinde kavuzsuz arpa ve kavrılca unu katkılı ürünlerde, ekstrüdatlardaki Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm

sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Siyah pirinç unu katkılı örneklerde, ekstrüdatlardaki Mg, Al, P, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn miktarları tüm sıcaklık değerleri ve besleme nemi oranlarında tam tahıl unu katma oranına bağlı olarak artış göstermiştir ve bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Kavuzsuz arpa ve siyah pirinç unu katkılı ekstrüde ürünlerde, minerallerin biyoyararlanım oranları bakımından katma oranlarının artmasıyla birlikte genel olarak bir azalma gözlemlenmiştir.

Genel olarak tam arpa ve tam kavrılca unu katkısı şahit örneklerin gevreklik değerini artırmış ve duyusal beğeniyi yükseltmiştir. %100 tam tahıl unu kullanımı duyusal kaliteyi olumsuz etkilese de örnekler tüketim açısından kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Sonuç olarak tam tahıl unu katkısının ekstrüde ürünlerin fonksiyonel bileşenlerini iyileştirdiği ve fonksiyonel çerez üretiminde tam kavuzsuz arpa, siyah pirinç ve kavrılca ununun katkı olarak kullanılabileceği görülmüştür. Özellikle siyah pirinç unu katkısı ekstrüde ürün sektöründe koyu renk istendiği durumlarda kakao yerine ikame edilerek renk verici doğal katkı maddesi amacıyla kullanılabilir. Araştırma bulguları, tam tahıl unlarının fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılarak sağlık açısından daha faydalı ekstrüde ürünlerin geliştirilebileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel, E.S.M., Sosulski, F. W., Adel, A., Shehata, Y., Youssef, M.M. and Ibave, J.L. 1992. Effect of Extrusion Cooking on the Physical and Functional Properties of Wheat Rice and Faba Bean Blends. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*. 25(1): 21-25.
- Aguilar-Palazuelos, E., de J. Zazueta-Morales, J. and Martínez-Bustos, F. 2006. Preparation of high-quality protein-based extruded pellets expanded by microwave oven. *Cereal Chemistry*, 83(4) 363- 369.
- Ahmad, A., Anjum, F.M., Zahoor, T., Nawaz, H., Dilshad, S.M.R. 2012. Beta glucan: A valuable functional ingredient in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52 (3); 201-212.
- Ainsworth, P., Ibanoglu, S. and Hayes, G. 1997. Influence of Process Variables On Residence Time Distribution And Flow Patterns of Tarhana in A Twin-Screw Extruder, *Journal of Food Engineering*, 3, 101-108.
- Ali, Y., Hanna, M.A. and Chinnaswamy, R. 1996. Expansion characteristics of extruded corn grits. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*, 29(8):702-707.
- Alminger, M. and Eklund-Jonsson, C. 2008. Whole-grain cereal products based on a high-fibre barley or oat genotype lower post-prandial glucose and insulin responses in healthy humans. *Eur J Nutr*. 47:294–300.
- Alonso, R., Aguirre, A., and Marzo, F. 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, 68(2), 159-165.
- Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L. and Gidley, M. J. 2011. Particle size of milled barley and sorghum and physico-chemical properties of grain following extrusion. *Journal of Food Engineering*, 103, 464–472.
- Altan, A., McCarthy, K. L. And Maskan, M. 2008. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1648–1659.
- Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M. 2009. Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and β -glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(6), 1263–1271. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01956.x .
- Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P. and Harper, J. M. 1988. A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*. 53(2): 609–615.

- Ames, N., Rhymer, C., Rossnagel, B., Therrien, M., Ryland, D., Dua, S. and Ross, K. 2006. Utilization of diverse hulless barley properties to maximize food product quality. *Cereal Food World*. 51:23–38.
- Anonymous. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 17th ed., Method No: 991.43 Gaithersburg, MD, USA.
- Anonymous. 2010. AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed, The Association: St. Paul, MN., USA.
- Anton, A. A., Fulcher, R. G., and Arntfield, S. D. 2009. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.
- Arendt, E. and Zannini, E. 2013. Cereal grains for the food and beverage industries. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Atak, M. 2017. Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 22(2), 71-88.
- Baik, B.-K., Powers, J. and Nguyen, L. T. 2004. Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals. *Cereal Chemistry Journal*, 81(1), 94–99. doi:10.1094/cchem.2004.81.1.94
- Bailey, L.N., Hauck, B.W., Severson, E.S. and Singer, R.E. 1991. Systems For Manufacturing of Ready to Eat Breakfast Cereals Using Twin Screw Extrusion, *Cereal Foods World*, 36 (10), 863-869.
- Balandran-Quintana, R.R., Barbosa-Canovas, G.V., Zazueta-Morales, J.J., Anzaldúa-Morales A. and A. Quintero-Ramos. 1998. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus Vulgaris* L.) *Journal of Food Science* 63(1):113-116.
- Barabaschi, D., Francia, E., Tondelli, A., Gianinetti, A., Stanca, A.M. and Pecchioni, N. 2012. Effect of the nud gene on grain yield in barley. *Czech J Genet Plant Breed*. 48(1):10–22.
- Bedier, D.F., Salem, R.H., Almashad, A.A. and Barakat, E.H. 2020. Quality Characteristics of Noodles Containing Various Levels of Black Rice Flour. *J. of Food and Dairy Sci.*, Mansoura Univ., Vol 11 (5): 141 – 146.
- Bhatty, R.S. 1996. Production of food malt from hull-less barley. *Cereal Chem*. 73:75–80.
- Bilalis, D., Roussis, I., Fuentes, F., Kakabouki, I. and Travlos, I. 2017. Organic agriculture and innovative crops under mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*, 45(2).

- Blandino, M., Locatelli, M., Gazzola, A., Coisson, J.D., Giacosa, S., Travaglia, F., Bordiga, M., Reyneri, A., Rolle, L. 2015. Hull-less barley pearling fractions: Nutritional properties and their effect on the functional and technological quality in bread-making. *Journal of Cereal Science*, 65, 48-56.
- Bordoloi, R. and Ganguly, S. 2014. Extrusion Technique In Food Processing And A Review On Its Various Technological Parameters. *Ind. J. Sci. Res. and Tech.*, 2(1):1-3.
- Bordoni, A., Danesi, F., Di Nunzio, M., Taccari, A. and Valli, V. 2016. Ancient wheat and health: a legend or the reality? A review on KAMUT khorasan wheat. *Int J Food Sci Nutr*.
- Bourne, M.C. 1982. Food texture and viscosity: Concept and measurement. G. F Steward,, B. S. Schweigert, and J. Hawtorn, eds. p. 256. Academic Press, San Diego, CA.
- Bouvier, J. and M., Campanella, O. H. 2014. Extrusion processing technology: Food and nonfood biomaterials. John Wiley & Sons.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E. and Tiwari, B.K. 2011. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends Food Sci Technol* 22:570–575.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Balance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R. and Carrière, F. 2019. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nat. Protoc.* <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
- Bruin, S., and Jongen, T. R. G. 2003. Food process engineering: the last 25 years and challenges ahead. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2: 42–812.
- Bulut, S. 2022. Mineral composition of emmer wheat (*Triticum turgidum* L. var. dicoccum) landraces. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31, 963-970.
- Cai, W. and Diosady, L. L. 1993. Modeling of expansion and water solubility index of wheat starch during extrusion cooking. *Acta Alimentaria*. 22(3): 181–192.
- Camire AL, Clydesdale FM (1982) Interaction of soluble iron with wheat bran. *J Food Sci* 47: 1296–1297.
- Camire, M. E. 2002. Extrusion cooking. In C. J. K. Henry & C. Chapman (Eds.), *The nutrition handbook for food Processors* (pp. 314–326). New York, Washington, DC: CRC Press.

- Carrillo, J.M., Moreno, C.R., Rodelo, E.A., Trejo, A.C. and Escobedo, R.M. 2000. Physicochemical and Nutritional Characteristics of extruded flours from fresh and hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) lebensm.-Wissu.-Technol. 33(2): 117-123.
- Chalak, L., Mzid, R., Rizk, W., Hmedeh, H., Kabalan, R. and Breidy, J. 2015. Performance of 50 Lebanese barley landraces (*Hordeum vulgare* L. subsp. *vulgare*) in two locations under rainfed conditions. Ann Agric Sci. 60:325–334.
- Chanvrier, H., Appelqvist, I. A. M., Bird, A. R., Gilbertt, E., Htoon, A., Li, Z., Lillford, P. J., Lopez-Rubio, A., Morell, M. K. and Topping, D. L. 2007. Processing of novel elevated amylose wheats: Functional properties and starch digestibility of extruded products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55(25): 10248–10257.
- Cheftel, J.C. (1986). Nutritional Effects Of Extrusion-Cooking, Food Chemistry, 20, 263-283.
- Chinnaswamy, R. and Hanna, M.A., (1988), Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of com starches, Cereal Chemistry., 65, 138-143.
- Choton, S., Gupta, N., Bandral, J.D., Anjum, N. and Choudary, A. 2000. Extrusion technology and its application in food processing: A review. The Pharma Innovation Journal, 9(2): 162-168.
- Chou, C. F. and Hsu, S. C. 2021. Effectsof extrusion parameters on the physicochemical characteristicsof extruded barley ready-to-eat snacks. Journal of FoodProcessing and Preservation, 45, e15788. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15788>.
- Choudhury, M.H., Chakraborty, R. and Chaudhuri, U.R. 2014. Thermal and Microstructural Property of Extruded Snack: An Overview, International Journal of Engineering Research And Applications, 4(2), 09-18.
- Coda, R., Nionelli, L., Rizzello, C.G., De Angelis, M., Tossut, P. and Gobetti M. 2010. Spelt and emmer flours: characterization of the lactic acid bacteria microbiota and selection of mixed starters for bread making. Journal of Applied Microbiology, 108: 925–935.
- Colonna, P. and Mercier C. 1983. Macromolecular modifications of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. Carbohydrate Polymers. 3(2): 87– 108.
- Conway, H.F. 1971. Extrusion cooking of cereals and soybeans. Food Product Development, 5(2) 14-17.
- Cooper, R. 2015 Re-discovering ancient wheat varieties as functional foods. J Tradit Complement Med., 5: 138-143.

- Dalbhat, C.G., Mahato, D.K. and Mishra, H.N. 2019. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: a review. *Trends Food Sci Technol* 85:226–240.
- Dar, B., Sharma, S. and Nayik, G. A. 2016. Effect of storage period on physiochemical, total phenolic content and antioxidant properties of bran enriched snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10, 755–761.
- Davidson, V. J., Patton, D., Diosady, L. L. and Larrocque, G. 1984. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. *Journal of Food Science*. 49: 453– 458.
- Delgado-Nieblas, C., Ruiz-Beltrán, K., Sánchez-Lizárraga, J., Zazueta-Morales, J.D.J., Aguilar-Palazuelos, E. and Carrillo-López, A. 2019. Effect of extrusion on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of breakfast cereals produced from bran and dehydrated naranjita pomace. *CyTA J Food*. (2019) 17:240–50. doi: 10.1080/19476337.2019.1566276.
- Della Valle, G., Vergnes, B., Colonna, P. and Patria, A. 1997. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. *Journal of Food Engineering*, 31 277-296.
- Deng, G.F., Xu, X.R. and Zhang, Y. 2013. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 53:296–306.
- Devi , N. L., Shobha , S., Tang , X., Shaur , S. A., Dogan, H. and Alavi, S. 2013. Development of protein-Rich Sorghum-Based Expanded Snacks Using Extrusion Technology, *International Journal of Food Properties*, 16:2, 263-276.
- Dhanavath, S. and Prasada Rao, U.J.S. 2017. Nutritional and nutraceutical properties of *Triticum dicoccum* wheat and its health benefits: an overview. *Journal of Food Science*, 82(10), 2243– 2250.
- Ding, Q., Ainsworth, P., Plukett A., Tucker, G. and Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*. 73: 142-148.
- Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., and Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73, 142–148.
- Dinu, M., Whittaker, A., Pagliai, G., Benedettelli, S. and Sofi, F. 2018. Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 52, 1–9.
- Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N. and Rooney, L.W. 2007. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry*, 105, 1412– 1419.

- Doublier, J. L., Colonna, P., and Mercier, C. 1986. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. II Rheological characterization of starch pastes. *Cereal Chemistry*. 63(3): 240–246.
- Dreher ML (1987) Handbook of dietary fiber: An applied approach, pp 115–124, 323–355, 357–380. New York: Marcell Dekker.
- Edwards, R.H., Becker, R., Mossman, A.P., Gray, G.M. and Whitehand, L.C. 1994. Twin Screw Extrusion Cooking of Small White Beans (*Phaseolus Vulgaris*). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 27(5):472–481.
- EFSA 2012. EU Register on nutrition and health claims.
- Ehrenbergerová, J., Vaculová, K. and Zimolka, J. 1997. Grain quality of hull-less spring barley from different cropping systems | Jakost zrna bezpluchého jarního ječmene z odlišných způsobů pěstování. *Rostl Vyr*. 43:585–592.
- Ehrenbergerová, J., Vaculová, K., Psota, V., Havlová, P. and Šerhanová, V. 2003. Effects of cropping system and genotype on variability in important phytonutrients content of the barley grain for direct food use. *Plant Soil Environ*. 49:443–450.
- Ek, P. and Ganjyal, G. M. 2020. Basics of extrusion processing. *Extrusion Cooking*, 1–28.
- Ermişer, D. 2019. Yerli Kavuzsuz Arpanın (Özen cv.) Spagetti Makarna Üretiminde Kullanımı ve Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Escribano -Bailón, M.T., Santos -Buelga, C. And Rivas -Gonzalo, J.C. 2004. Review - Anthocyanins in cereals, *J Chromatogr A* 1054, 129 –141.
- Etcheverry, P., Grusak, M. A. and Fleige, L. E. 2012. Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B6, B12, D, and E. *Frontiers in physiology*, 3, 317.
- Fadel, J. G., Newman, C. W., Newman, R. K. and Graham, H. 1988. Effects of extrusion cooking of barley on ileal and fecal digestibilities of dietary components in pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 68, 891–897.
- Fitton, M. G. 1986. In *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, 3, eds G.O. Phillips, D.J. Wedlock & P.A. Williams, pp. 213–220. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Fleischman, E. F., Kowalski, R. J., Morris, C. F., Nguyen, T., Li, C., Ganjyal, G., and Ross, C. F. 2016. *Physical, Textural, and Antioxidant Properties of Extruded Waxy Wheat Flour Snack Supplemented with Several Varieties of Bran*. *Journal of Food Science*, 81(11), E2726–E2733. doi:10.1111/1750-3841.13511.

- Gaines, R.L., Bechtel, D.B. and Pomeranz, Y. 1985. A microscopic study on the development of a layer in barley that causes hull caryopsis adherence. *Cereal Chem.* 62:35–40.
- Gao, L., Wang, S., Oomah, B.D. and Mazza, G. 2002. Wheat Quality: Antioxidant Activity of Wheat Millstreams, in: *Wheat Quality Education*. P. Ng and C.W. Wrigley, eds. AACCC International, 219-233, St Paul, MN.
- Genç, H. 2021. Farklı tahıl ürünlerinden üretilen zenginleştirilmiş ekstrüde ürünlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *KMÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karaman*.
- Gil, A., Ortega, R.M. and Maldonado, J. 2011. Wholegrain cereals and bread: a duet of the Mediterranean diet for the prevention of chronic diseases. *Public Health Nutr.*, 14: 2316–2322.
- Gonza'lez, R.J., Cavada, E.P., Pen'ã, J.V., Torres, R.L., De Greef, D.M. and Drago, S.R. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grains. *Int J Food Sci* 2013:8
- Grasso, S. 2020. Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*.
- Grela, E.R., Jensen, S.K. and Jakobsen, K. 1999. Fatty acid composition and content of tocopherols and carotenoids in raw and extruded grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 2075–2078.
- Gualberto, D. G., Bergman, C. J., Kazemzadeh, M., & Weber, C. W. 1997. Plant Foods for Human Nutrition, 51(3), 187–198. doi:10.1023/a:1007941032726.
- Guha, M., Ali, S.Z. and Bhattacharya, S. 1997. Twin screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*. 32(3):251-267.
- Gulati, P., Brahma, S. and Rose, D. J. 2020. Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. *Extrusion Cooking*, 415–443. doi:10.1016/b978-0-12-815360-4.00013-4.
- Gulzar, B., Hussain, S.Z., Naseer, B. and Naik, H.R. 2021. Enhancement of resistant starch content in modified rice flour using extrusion technology. *Cereal Chem.* 98:634–41. doi: 10.1002/cche.10407.
- Gumul, D., Ziobro, R., Gambus, H. and Nowotna, A. 2015. Usability of residual oat flour in the manufacture of extruded corn snacks. *CyTA - Journal of Food*, 13, 353–360.

- Gupta, M., Bawa, A. S. and Semwal, A. D. 2008. Effect of Barley Flour on Development of Rice-Based Extruded Snacks. *Cereal Chemistry Journal*, 85(2), 115–122. doi:10.1094/cchem-85-2-0115.
- Gurcan, K., Demirel, F., Tekin, M., Demirel, S. ve Akar, T. 2017. Molecular and agromorphological characterization of ancient wheat landraces of Turkey. *BMC Plant Biology*, 17, 9-18.
- Guy, R. 2001. Introduction, (ed: Guy, R., *Extrusion Cooking: Technologies and Applications*, CRC Press Inc., FL, USA, 2-3.
- Hagenimana, A., Ding, X.L. and Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43:38-46.
- Hamama, A.A. and Nawar, W.W. 1991. Thermal decomposition of some phenolic antioxidants. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 39, 1063–1069.
- Harper, J. M. 1981. *Extrusion of foods* (Vol. 1). Boca Raton, FL: CRC Press Inc.
- Harper, J. M. 1988. Effects of extrusion processing on nutrients. In: E. Karmas, & R. S. Harris (Eds.), *Nutritional evaluation of food processing* (3rd ed.), pp. 360-365. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Company.
- Haug, W. and Lantzsch, H. J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *J. Sci. Food Agric.*, 34, 1423-1426.
- Huber, G. R. and Rockey, G. J. 1990. Extruded snacks. In: Booth, R. G. (Ed) *Snack food*, pp. 107–138. New York: AVI.
- Hussain, S. Z., Bibi, A. and Rather, A. H. 2015. Preparation and storage studies of walnut kernel incorporated on rice based snacks. *International Journal of Basic Applied Biology*, 2, 449–451.
- Hwang M.P. and Hayakawa, K.I. 1980. Bulk densities of cookies undergoing commercial baking processes. *Journal of Food Science*. 45: 1400-1402, 1407.
- Ilo, S., Tomschik, U., Berghofer, E. and Mundigler, N. 1996. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT-food Science and Technology*, 29, 593–598.
- İbanoğlu, S., Ainsworth, P., Özer, E. A. and Plunkett, A. 2006. ‘‘Physical And Sensory Evaluation Of A Nutritionally Balanced Gluten-Free Extruded Snack’’, *J Food Eng* 75, 469–472.
- Jin, Z, Hsieh, F. and Huff, H.E. 1994, Extrusion of corn meal with soy fiber, salt and sugar. *Cereal Chemistry*. 71(3):227-234.

- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B. and Dar B.N. 2015. Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *Journal of Food Science and Technology* 52(3), 1670–176.
- Kelly, S.A., Summerbell, C.D., Brynes, A., Whittaker, V. and Frost, G. 2007 Wholegrain cereals for coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*, CD005051.
- Kohajdova, Z. and Karovicova, J. 2008. Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 7: 5-14.
- Kokini, J.L., Chang, C.N. and Lai, L.S. 1992. The role of rheological properties on extrudate expansion. In: Kokini, J.L., Ho, C.T., Karwe, M.V. (Eds.), *Food Extrusion Science and Technology*, pp. 632–637.
- Koksel, H., Ryu, G. H., Basman, A., Demiralp, H., and Ng, P. K. W. 2004. Effects of extrusion variables on the properties of waxy hulless barley extrudates. *Nahrung/Food*, 48, 19–24.
- Kong, L., Wang, Y. and Cao, Y. 2008. Determination of Myo -inositol and D -chiro -inositol in black rice bran by capillary electrophoresis with electrochemical detection, *J Food Compos Anal* 2, 501 –504.
- Kothakota, A., Jindal, N. and Thimmaiah, B. 2013. A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products. *African Journal of Food Science*, 7(12):485-497.
- Köksel, H. ve Çetiner, B. 2015. Grain science and industry in Turkey: past, present, and future. *Cereal Foods World*, 60, 90–96.
- Kristiawan, M., Chaunier, L., Della Valle, G., Ndiaye, A. and Vergnes, B. 2016. Modeling of starchy melts expansion by extrusion. *Trends Food Sci. Technol.* 48, 13–26.
- Kuchin, N., Sizova, Y. and Kuleshova, L. 2021. The effect of extrusion on the nutrient content of barley as a feed material. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 857 012014 DOI 10.1088/1755-1315/857/1/012014.
- Kumari, R., Abhishek, V. and Gupta, M. 2018. Nutritional, functional and textural properties of healthy snacks formulation from hulled and hull-less barley. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 1219–1228.
- Kushwaha, U.K.S. 2016 *Black Rice Cham*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Lachman, J., Orsák, M., Pivec, V. and Jířů, K. 2012. Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum mono-coccum* l.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrack]) and spring wheat (*Triticum aestivum* l.) varieties. *Plant Soil Environ*, 58(1), 15– 21.

- Lagassé, S. L., Hatcher, D. W., Dexter, J. E., Rossnagel, B. G. and Izydorczyk, M. S. 2006. Quality characteristics of fresh and dried white salted noodles enriched with flour from hull- less barley genotypes of diverse amylose content. *Cereal Chemistry*, 83(2), 202– 210. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0202>
- Laokuldilok, T., Shoemaker, C. F., Jongkaewwattana, S., Tulyathan, V. 2011. Antioxidants and Antioxidant Activity of Several Pigmented Rice Brans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 193–199. doi:10.1021/jf103649q
- Lattimer, J.M., Haub, M.D. 2010. Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Nutrients*, 2(12); 1266-1289.
- Launay, B. and Lisch, J.M. 1983. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Eng.* 2 (4), 259–280.
- Lawless, H. T. and Heymann, H. 1999. Food and color appearance. In J. B. Hutchings (Ed.), *Sensory evaluation of foods*, 2nd ed. (pp. 406–429). Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Lee, J.H. 2010. Identifications and quantification of anthocyanins from the grains of black rice (*Oryza sativa* L.) varieties, *Food Sci Biotechnol* 19, 391–397.
- Lemuz, C.R., Buriak, P., Faller, J.F., Tumbleson, M.E. and Rausch, K.D. 2002. Texture properties of extruded puffs from known hybrids. ASAE Paper No. 026106 A paper presented in ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois July 28-31, 2002.
- Leonel, M., de Freitas, T.S. and Mischán, M.M. 2009. Physical characteristics of extruded cassava starch. *Sci Agric* 66:486–493.
- Li, M. and Lee, T.C. 1996. Effect of cysteine on the functional properties and micro structures of wheat flour extrudates. *J. of Agric. Food Chem.* 44(7):1871-1880.
- Li, M., Pernell, C., and Ferruzzi, M. G. 2018. Complexation with phenolic acids affect rheological properties and digestibility of potato starch and maize amylopectin. *Food Hydrocolloids*, 77, 843-852.
- Liu, R.H. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *J Cereal Sci.* 46:207–219.
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H. and Huff, H.E. 2000. Effect of processing conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science* 65(7):1253-1259.
- Lotfi Shirazi, S., Koocheki, A., Milani, E. and Mohebbi, M. 2020. Production of high fiber ready-to-eat expanded snack from barley flour and carrot pomace using extrusion cooking technology. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2169–2181.

- Maga JA (1982) Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J Agric Food Chem* 30: 1–9.
- Mahungu, S.M., Diaz-Mercado, S., Li, J., Schwenk, M., Singletary, K. and Faller, J. 1999. Stability of isoflavones during extrusion processing of corn/soy mixture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 279–284.
- Makowska, A., Polcyn, A. and Chudy, S. 2015. Application of oat, wheat and rye bran to modify nutritional properties, physical and sensory characteristics of extruded corn snacks. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, 14.
- Marino, S., Tognetti, R. and Alvino, A. 2011. Effects of varying nitrogen fertilization on crop yield and grain quality of emmer grown in a typical Mediterranean environment in central Italy. *European Journal of Agronomy*, 34(3), 172–180.
- Masatcioglu, M.T., Yalcin, E., Hwan, P.J., Ryu, G.H., Celik, S. and Koksel, H. 2014. Hull-less barley flour supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 302-309.
- Masatcioglu, M.T., Yalcin, E., Hwan, P.J., Ryu, G.H., Celik, S. and Koksel, H. 2014. Hull-less barley flour supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 302-309.
- Maskan, M. and Altan, A. 2016. *Advances in food extrusion technology*. CRC press.
- Matthey, F. P. And Hanna, M.A. 1997. Physical and functional properties of twin screw extruded whey protein concentrate-corn starch blends. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*, 30(4):359-366.
- Matz, S. A. 1993. Puffed snacks. In: Matz, M. A. (Ed) *Snack food technology*, pp. 159–172. New York: AVI.
- Mayer, K.F.X. 2014. A chromosome-based draft sequence of the hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) genome. *Science*, 345:1251788.
- McCleary, B.V. and Codd, R. 1991. Measurement Of (1→3), (1→4)-B-DGlucan In Barley And Oats: A Streamlined Enzymic Procedure, *Journal Science Food Agriculture*, 55, 303-312.
- McCleary, B.V. and Glennie-Holmes, M. 1985. Enzymatic Quantification Of (1-3), (1-4)-B-D-Glucan In Barley And Malt, *Journal Of Institute Of Brewing*, 91, 285-295.
- McCleary, B.V. and Mugford, D.C. 1992. “Interlaboratory Evaluation Of B- Glucan Analysis Methods” In *The Changing Role Of Oats In Human And Animal*

- Nutrition, Proceedings Of The Fourth International Oat Conference, 19-23, Adelaide-Australia.
- Mendonca, S., Grossmann, M. V. E. and Verhe, R. 2000. Corn bran as a fiber source in expanded snacks. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 33, 2–8.
- Mercier, C., Linko, P. and Harper, J. M. 2001. Extrusion cooking, (2nd ed.), American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, MN. ISBN 978-091-3250-67-8.
- Miller, R. C. 1985. Low moisture extrusion: Effects of cooking moisture on product characteristics. *Journal of Food Science*. 50: 249–253.
- Mintel 2018a. Consumer snacking, UK, May 2018. In.
- Mintel 2018b. Crisps, savory snacks, and nuts - UK.
- Mitreă, L., Călinoiu, L.F., Precup, G., Bindea, M., Rusu, B. and Trif, M. 2017. Inhibitory potential of *Lactobacillus plantarum* on *Escherichia coli*. *Bull UASVM Food Sci Technol*. 74:99–101. doi: 10.15835/buasvmcn-fst:0031.
- Moore, G. 1999. “Snack food extrusion”, In N. D. Frame, The technology of Extrusion Cooking. New York: Aspen Publishers, 110-144.
- Moraru, C. I. and Kokini, J. L. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 4: 120–1382.
- Naveena, B. and Singh, M. 2022. Effects of extrusion parameters on physical & textural properties of sorghum, barley, and chickpea-based composite extruded products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16564. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16564>.
- NMKL 186. 2007. Nordic Committee on Food Analysis (NMKL) method No.186, Trace elements - As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion.
- Obatolu, V.A. and Cole, A.H. 2000. Functional property of complementary blends of soybean and cowpea with malted or unmalted maize. *Food Chemistry*, 70, 147–153.
- Oke, M.O., Awonorin, S.O. and Workneh, T.S. 2013 Expansion ratio of extruded water yam starches using a single screw extruder. *African Journal of Agricultural Research*, 8(9):750-762.
- Oliveira, L.C., Rosell, C.M. and Steel, C. J. 2015. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(6), 1504-1514.

- 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 Sci Technol* 75:261–270.
- Ortiz-Cruz, R.A., Ramírez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A.I., Torres-Chávez, P.I., Sánchez-Machado, D.I. and Montañño-Leyva, B. 2020. Effect of extrusion processing conditions on the phenolic compound content and antioxidant capacity of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bran. *Plant Foods Hum Nutr.* 75:252–7. doi: 10.1007/s11130-020-00810-6.
- Owusu-Ansah, J., Van D Voort, F. R. and Stanley, D. W. 1983. Physicochemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. *Cereal Chemistry*. 60: 319.
- Ozer, E. A., Herken, E. N., Guzel, S., Ainsworth, P., and Ibanoglu, S. 2006. *Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. International Journal of Food Science and Technology*, 41(3), 289–293. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.01062.x.
- Özer, E.A. 2007. Ekstrüzyon Yöntemi ile Besleyici Değeri Yüksek Çerez Tipi Fonksiyonel Bir Ürün Geliştirme, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 222s.
- Özkaya, H. ve Özkaya, B. 2005. Tahıl Ve Ürünleri Analiz Yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 31, 157.
- Parsons, M.H., Hsieh, F. and Huff, H.E. 1996. Extrusion cooking of corn meal with sodium bicarbonate and sodium aluminum phosphate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20(3) 221-234.
- Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, V. and Singla, S. 2013. Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(3):1040-1049.
- Patil, R.T., Berrios, J.D.J., Tang, J., Pan, J. and Swanson, B. 2005. Physical Characteristics of Food Extrudates - A Review. 2005 Tampa, FL July 17-20, 2005.
- Peressini, D. and Sensidoni, A. 2009. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2); 190-201.
- Phonsakhan, W. and Ngern, K.K. 2015. A comparative proteomic study of white and black glutinous rice leaves, *Electron J Biotechnol* 18, 29 –34.
- Prasad, B. J., Sharavanan, P. S., and Sivaraj, R. 2019. *Health benefits of black rice – A review. Grain & Oil Science and Technology*.

- Punia Bangar, S., Singh Sandhu, K., Trif, M., Rusu, A., Pop, I.D. and Kumar, M. 2022. Enrichment in Different Health Components of Barley Flour Using Twin-Screw Extrusion Technology to Support Nutritionally Balanced Diets. *Front. Nutr.* 8:823148. doi: 10.3389/fnut.2021.823148.
- Rafe, A., Sadeghian, A. and Hoseini-Yazdi, S. Z. 2017. Physicochemical, functional, and nutritional characteristics of stabilized rice bran from tarom cultivar. *Food science & nutrition*, 5, 407–414.
- Ramos-Enríquez, J.R., Ramírez-Wong, B., Robles-Sánchez, R.M., Robles-Zepeda, R.E., González-Aguilar, G.A. and Gutiérrez-Dorado, R. 2018. Effect of extrusion conditions and the optimization of phenolic compound content and antioxidant activity of wheat bran using response surface methodology. *Plant Foods for Human Nutrition*. 73:228–34. doi: 10.1007/s11130-018-0679-9.
- Randhir, R., Kwon, Y-I., Lin, Y.T. and Shetty, K. 2009. Effect of thermal processing on the phenolic associated health-relevant functionality of selected legume sprouts and seedlings. *J Food Biochem.* 33:89–112. doi: 10.1111/j.1745-4514.2008.00210.x.
- Rao, R.G.H. and Thejaswini LM. 2015. Extrusion Technology: A Novel Method of Food Processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2:358-369.
- Rathod, R. P. And Annapure, U. S. 2016. Effect of extrusion process on antinutritional factors 830 and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 114-123.
- Reddy NR, Pierson MD, Sathe SK, Salunkhe DK (1989) Phytates in cereals and legumes, pp 137–147. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Reshi, M., Shafiq, F., Hussain, S. Z., Naseer, B. and Amin, T. 2020. Physicochemical properties of iron- fortified, low glycemic index (GI) barley based extruded ready- to- eat snacks developed using twin- screw extruder. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi:10.1111/jfpp.14606
- Riaz, M.N. 2000. Introduction to extruders and their principles. In: *Extruders in food applications*, CRC Press, Boca Raton, United States of America, 1-23.
- Rokey, G.J. 2000. Single Screw Extruders, In M.N. Riaz (Ed.) *Extruders in Food Applications*. Crc Press.
- Rufián-Henares, J.A. and Delgado-Andrade, C. 2009. Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals. *Food Res Int.* 42:394–400. doi: 10.1016/j.foodres.2009.01.011.

- Ryu, G.H. and Ng, P.K.W. 2001. Effects of Selected Process Parameters on Expansion and Mechanical Properties of Wheat Flour and Whole Cornmeal Extrudates, *Starch/Stärke*, 53, 147-154.
- SACN 2015. Scientific advisory committee on nutrition-carbohydrates and health. England PH.
- Sahagun, J. and Harper, J.M. 1980 Parameters affecting the performance of a low-cost extrusion cooker. *J. Food Proc. Eng.*, 3 (4), 199.
- Salvi, S., Porfiri, O., Ceccarelli, S. and Strampelli, N. 2013. the ‘Prophet’ of the green revolution. *J Agr Sci*, 151: 1–5.
- Samray, M. N. 2018. Enzime dirençli nişasta ilavesinin galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 74, Ankara.
- Samyori, D., Das, A.B. and Deka, S.C. 2017. Pigmented rice a potential source of bioactive compounds: a review. *Int J Food Sci Technol.*, 52:1073–1081.
- Sandrin, R., Mejía, S. M. V., Caon, T. and De Francisco, A. 2018. Optimization of extrusion process parameters for preparing fiber-rich oat flour. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1), e12943.
- Sawant, A.A., Thakor, N.J. and Swami, S.B. 2013. Physical and sensory characteristics of ready-to-eat food prepared from finger millet based composite mixer by extrusion. *Agric Eng Int CIGR J* 15:100–105.
- Sayanjali, S., Ying, D., Sanguansri, L., Buckow, R., Augustin, M. A. and Gras, S. L. 2017. The effect of extrusion on the functional properties of oat fibre. *LWT*, 84, 106–113.
- Shao, Y. and Bao, J. 2015. Polyphenols in whole rice grain: genetic diversity and health benefits. *Food Chem*, 180:86–97.
- Shao, Y., Hua, Z., Yu, Y., Moua, R., Zhu, Z. and Beta, T. 2018. Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. *Food Chem* 239:733–741.
- Sharma, P., Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2011. Effects of roasting on barley β -glucan, thermal, textural and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 53, 25–30.
- Shimizu, C., Kihara, M., Aoe, S., Araki, S., Ito, K., Hayashi, K., Watari, J., Sakata, Y. and Ikegami, S. 2008. Effect of high β -glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men- A randomized double blind placebo controlled trial. *Plant Foods Hum Nutr* 63:21–25.

- Sirakaya, S. 2023. Feed Value of Emmer Wheat (*Triticum dicoccum*) and By-products for Ruminant Animals. *KSU J. Agric Nat* 26 (1), 210-217.
- Sihag, M. K., Sharma, V., Goyal, A., Arora, S., Singh, A. K. and Lal, D. 2016. Development of an alternative low-cost cereal-based weaning food fortified with iron and vitamin A (retinol acetate). *Indian Journal of Animal Sciences*, 86, 478–484.
- Siljestrom, M., Westerlund, E., Bjorck, I., Holm, J., Asp, N.-G. and Theander, O. 1986. The effects of various thermal processes on dietary fiber and starch content of whole grain wheat and white flour. *Journal of Cereal Science*, 4, 315–323.
- Singh, D., Chauhan, G.S., Tyagi, S.M. and Suresh, I. 2010. *J. Food Sci. Technol.* 1, 1.
- Singh, S., Gamlath, S., and Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 916–929.
- Singleton, V.L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *American Society for Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Sokhey, A.S. and Hanna, M.A. 1997. Effects of die dimensions on extruder performance. *Journal of Food Engineering*. 31(2): 251-261.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. and Ibanoglu, S. 2009. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chem.* 114:226–32. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.043.
- Tahvonen, R., Hietanen, A., Sankelo, T., Kortenien, Vm., Laakso, P. and Kallio, H. 1998. Black Currant Seeds as a Nutrient Source in Breakfast Cereals Produced By Extrusion Cooking, *Z Lebensm Unters Forsch A*, 206, 360-363.
- Tangkongchitr, U., Sein, P. A. and Hosney, R. C. 1981. Phytic acid. II. Its fate during breadmaking. *Cereal Chemistry*, 58, 229-234.
- Tayeb, J., Valle, G. D., Barres, C. and Vergnes, B. 1992. Simulation of transport phenomena in twin-screw extruders, In: *Food Extrusion Science and Technology*, Kokini, J.L., Ho, C.T., & Karwe, M.V. (eds). p. 41. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Taylor, J.R. and Duodu, K.G. 2015. Effects of processing sorghum and millets on their phenolic phytochemicals and the implications of this to the health-enhancing properties of sorghum and millet food and beverage products. *J Sci Food Agric.* 95:225–37. doi: 10.1002/jsfa.6713.

- Thakur, S. ve Saxena D.C.. (2000). Formulation of Extruded Snack Food (Gum Based CerealPulse Blend): Optimization of Ingredients Levels Using Response Surface Methodology, *Lebensm-Wiss. U-Technology*, 33, 354-361.
- Thakur, S., Saxena D.C. 2000. Formulation of Extruded Snack Food (Gum Based CerealPulse Blend): Optimization of Ingredients Levels Using Response Surface Methodology, *Lebensm-Wiss. U-Technology*, 33, 354-361.
- Thiebaud, M., Dumay, E. And Cheftel, J.C. 1996. Influence of process variables on the characteristics of a high moisture fish soy protein mix texturised by extrusion cooking. *Lebensm.-Wiss.u.- Technol*, 29(5/6):526-535.
- Ti, H., Zhang, R., Zhang, M., Wei, Z., Chi, J., Deng, Y., and Zhang, Y. 2015. Effect of extrusion on phytochemical profiles in milled fractions of black rice. *Food Chemistry*, 178, 186-194.
- Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J. and Li, J. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 35–40.
- Vergnes, B. and Villemaire J. P. 1987. Rheological behaviour of low moisture molten maize starch. *Rheologica Acta*. 26(6): 570-576.
- Wang W.M., Klopstein C.F. and Ponte J.G. 1993. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and of the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chem.*, 70, 712–717.
- Wang, N., Maximiuk, L. and Toews, R. 2012. Pea Starch Noodles: Effect of Processing Variables on Characteristics and Optimisation of Twin-Screw Extrusion Process, *Food Chemistry*, 133, 742-753.
- Wood, P.J. 2007. Cereal β -glucans in diet and health. *J Cereal Sci.* 46:230–238.
- Yağcı, S. ve Evci, T. 2015. Effect of instant controlled pressure drop process on some 891 physicochemical and nutritional properties of snacks produced from chickpea and wheat. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(8), 1901-1910.
- Yalcin, E., Celik, S., Akar, T., Sayim, I. and Koxsel, H. 2007. Effects of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chem.* 101(1):171–176.
- Yang, Y., Jiao, A., Liu, Q., Xu, E., Chen, Y. and Jin, Z. 2020. Functional and physical properties of naked barley-based unexpanded extrudates: effects of low temperature. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1886–1898.

- Yao, N., Jannink, J.-L., Alavi, S. and White, P.J. 2006. Physical and Sensory Characteristics of Extruded Products Made from Two Oat Lines with Different β -Glucan Concentrations, *Cereal Chemistry*, 83(6), 692-699.
- Yıldırım, Z. ve Ercan, R. 1996. Gıda Endüstrisinde Ekstrüzyonla Pişirme Tekniği, *Gıda Dergisi*, 21(1), 9-16.
- Yıldırım, Z. ve Ercan, R. 1996. Gıda Endüstrisinde Ekstrüzyonla Pişirme Tekniği, *Gıda Dergisi*, 21(1), 9-16.
- Yovchev, A., Stone, A., Hood-Niefer, S., and Nickerson, M. 2017. Influence of the extrusion parameters on the physical properties of chickpea and barley extrudates. *Food Science and Biotechnology*, 26(2), 393–399. doi:10.1007/s10068-017-0054-x.
- Zadernowski, R., Nowak-Polakowska, H. and Rashed, A.A. 1999. The influence of heat treatment on the activity of lipo-and hydrophilic components of oat grain. *Journal of Food Processing and Preservation*, 23, 177–191.
- Zaharieva, M., Ayana, N.G., Hakimi, A., Misra, S.C. and Monneveux, P. 2010. Cultivated emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank), an old crop with promising future: a review. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(6), 937–962.
- Zhang, R., Khan, S. A., Chi, J., Wei, Z., Zhang, Y., Deng, Y., Liu, L., and Zhang, M. 2018. Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice. *LWT - Food Science and Technology*, 88, 64-70.
- Zielijski, H., Ceglijska, A. and Michalska, A. 2008. Bioactive compounds in spelt bread. *European Food Research Technology*, 226: 537–544.
- Zielin'ski, H., Kozłowska, H. and Lewczuk, B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2, 159–169.

EKLER

EK 1 Ekstrüde Ürün Görselleri

EK 2 Gallik Asit ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi

EK 3 Trolox ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi

EK 4 Trolox İnhibisyon Eğrisi

EK 5 Glikoz ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi

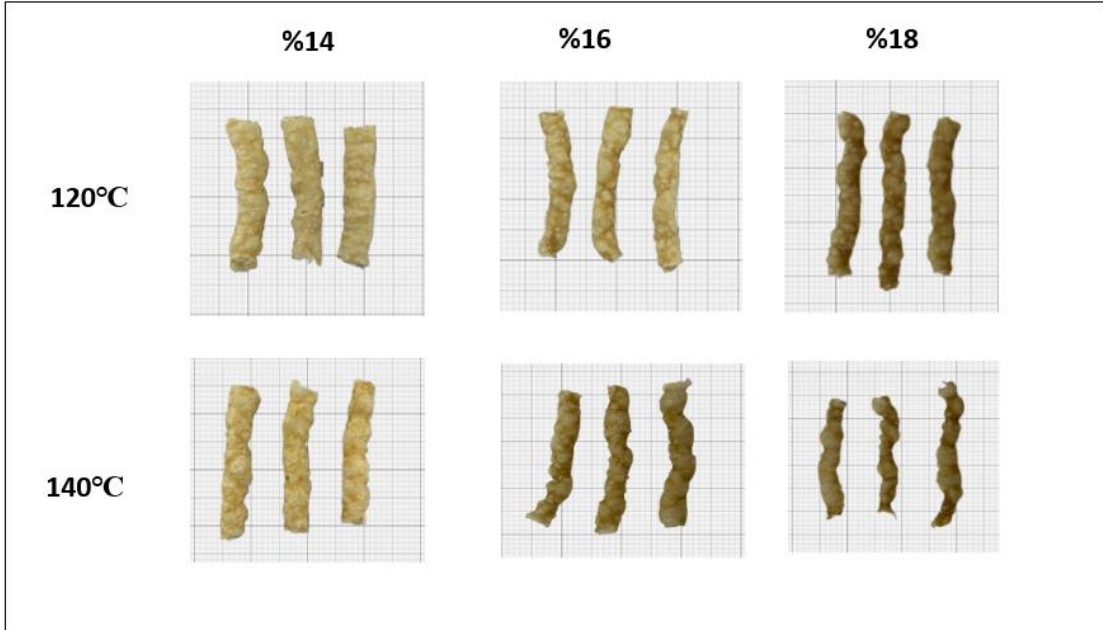


EK 1 Ekstrüde Ürün Görselleri

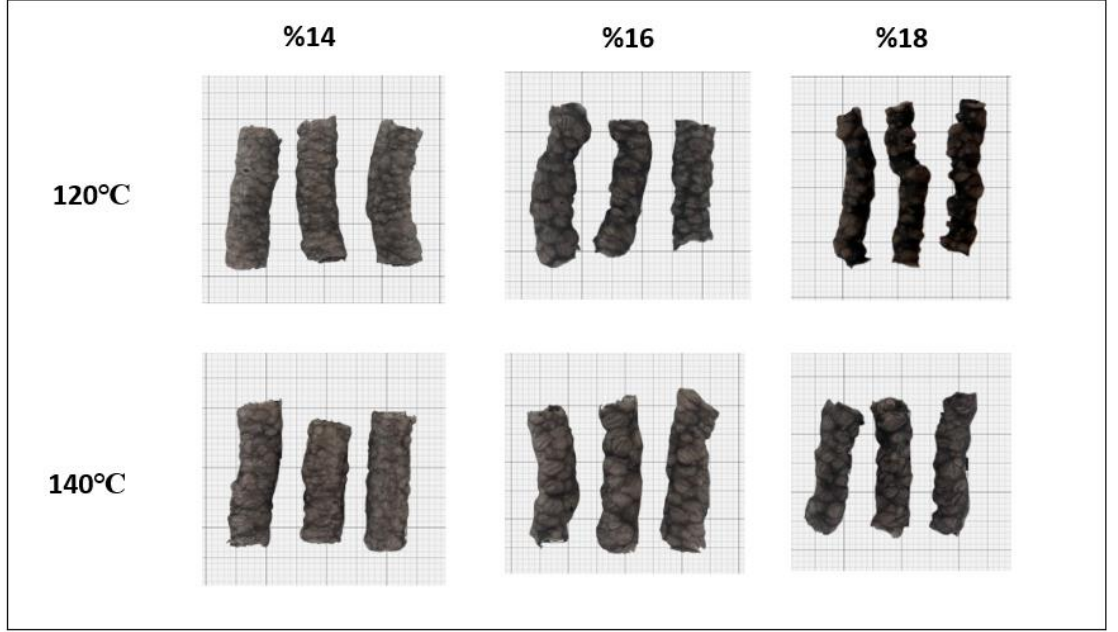
%100 Mısır İrmiginden Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



%100 Kavuzsuz Arpa Unundan Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



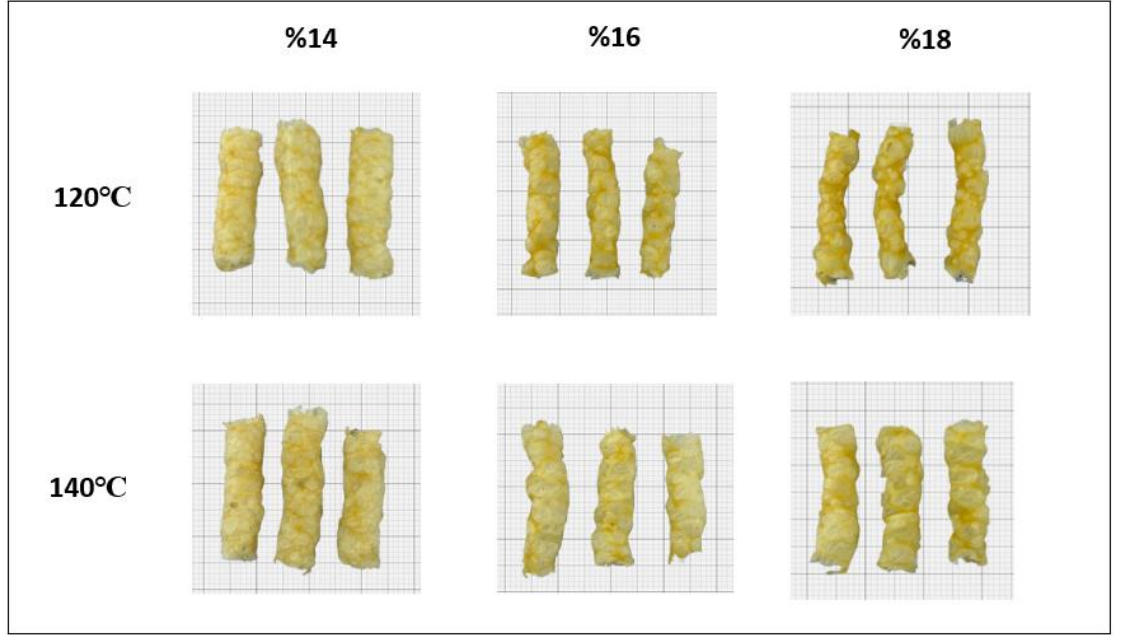
%100 Siyah Pirinç Unundan Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



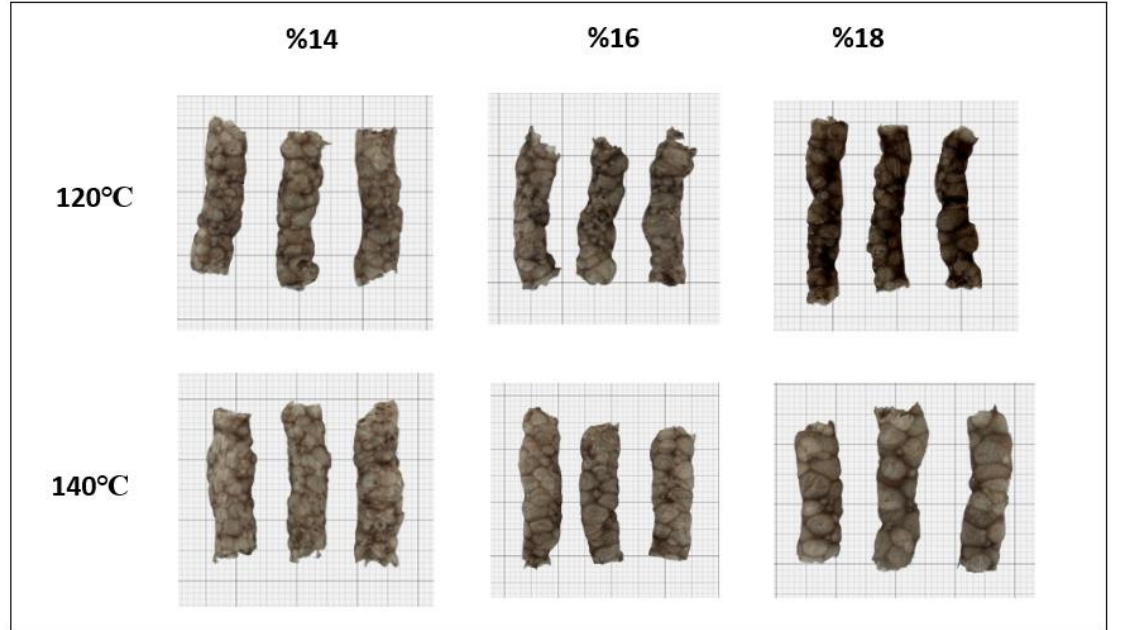
%100 Kavalca Unundan Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



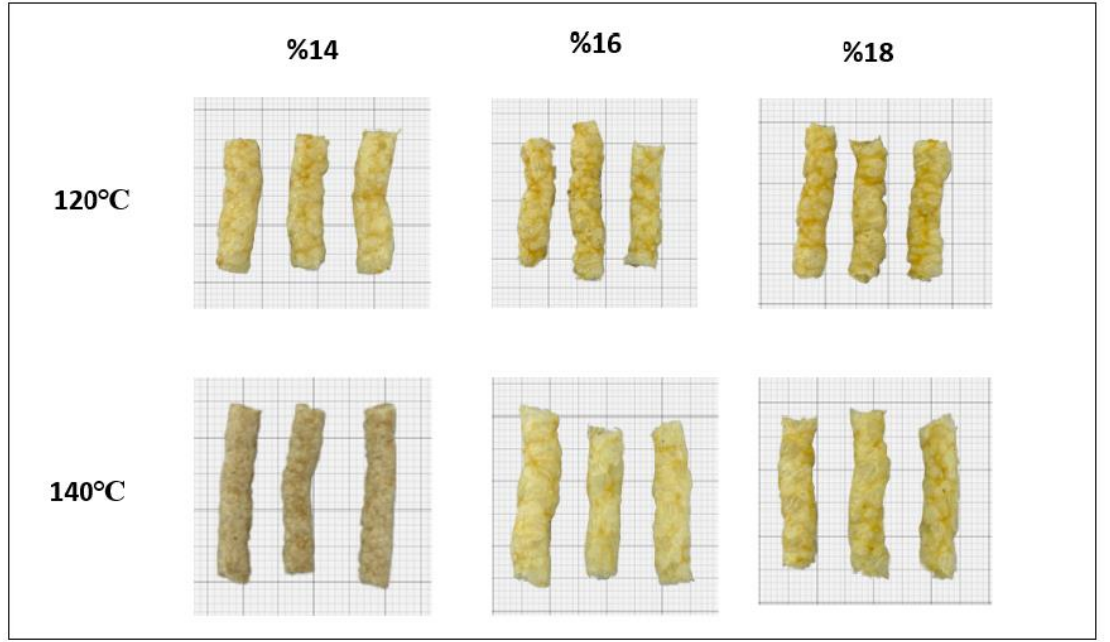
%30 Kavuzsuz Arpa Unu Katılarak Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



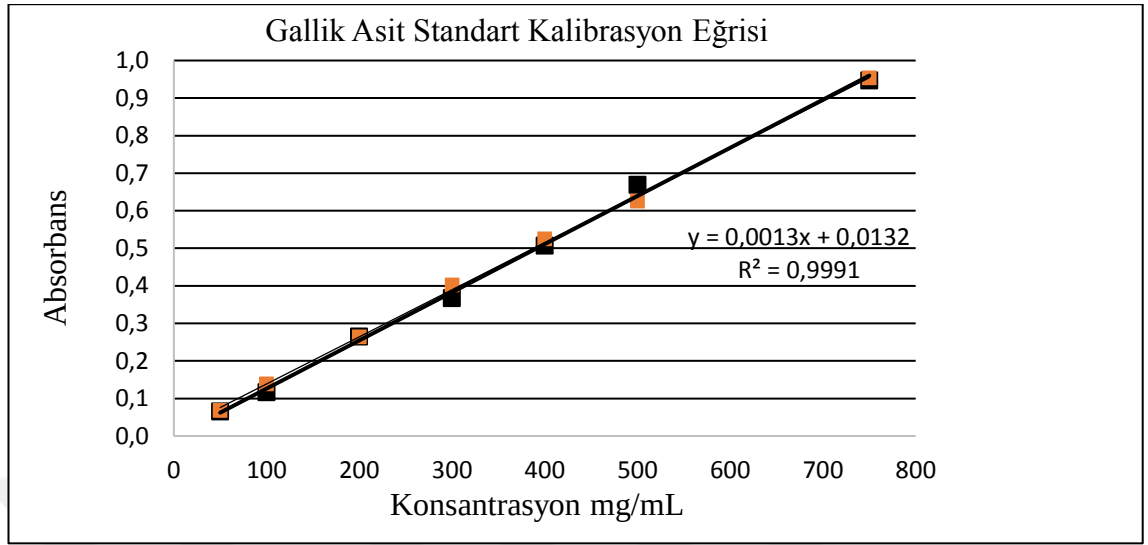
%30 Siyah Pirinç Unu Katılarak Üretilen Ekstrüde Ürün Örnekleri



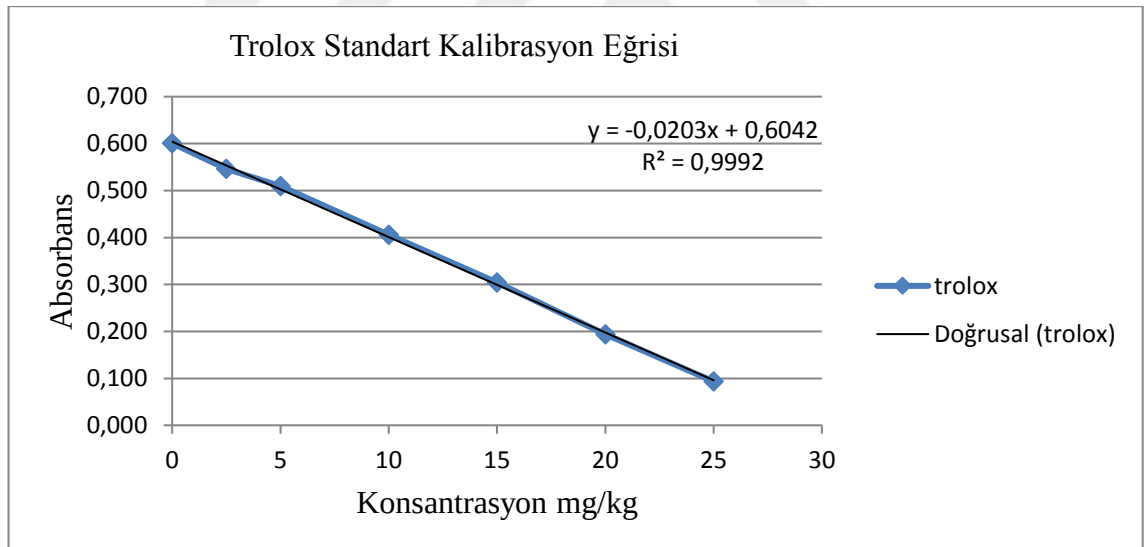
%30 Kavrıca Unu Katılarak Üretilen Ekstrüde Ürünler



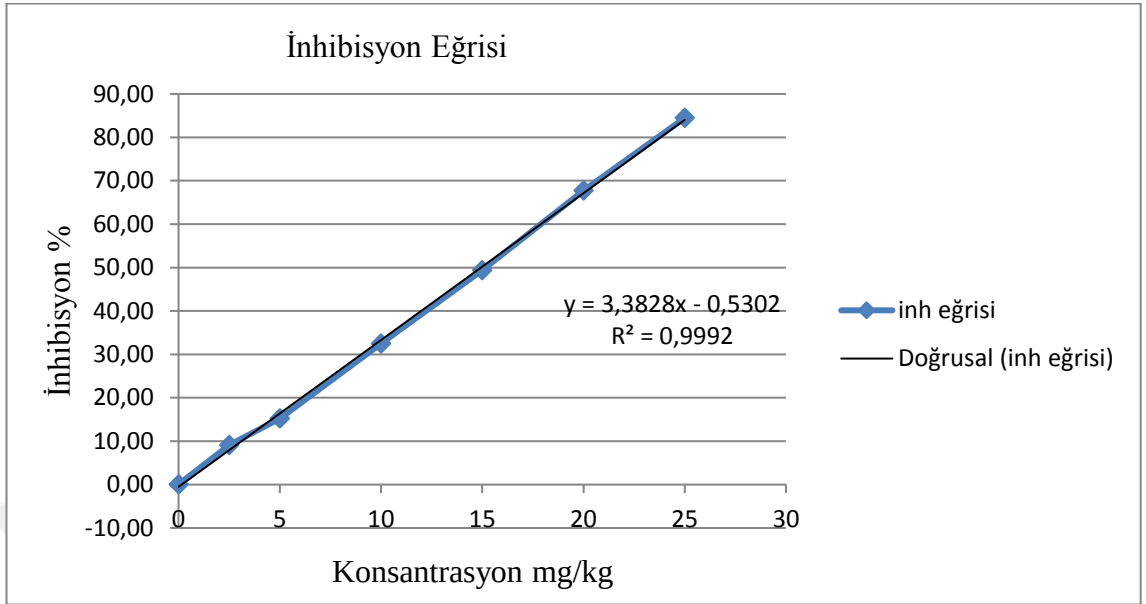
EK 2 Gallik Asit ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi



EK 3 Trolox ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi



EK 4 Trolox İnhibisyon Eğrisi



EK 5 Glikoz ile Hazırlanan Kalibrasyon Eğrisi

