



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI MERCİMEK KEPEĞİNİN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN
YAPISAL VE BESİNSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

CİHAN KEŞRE

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2019



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI MERCİMEK KEPEĞİNİN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN
YAPISAL VE BESİNSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

CİHAN KEŞRE

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
EYLÜL-2019**

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI MERCİMEK KEPEĞİNİN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN
YAPISAL ve BESİNSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Cihan KEŞRE

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi M. Tuğrul MASATCIOĞLU danışmanlığında hazırlanan bu tez
..... tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Başkan

Üye

Üye

Üye

Üye

Kod No:

Prof. Dr. Erdal SERTKAYA
Enstitü Müdürü

Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

11.09.2019

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Cihan KEŞRE

ÖZET

KIRMIZI MERCİMEK KEPEĞİNİN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN YAPISAL ve BESİNSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bu çalışmada mısır unu ve mısır ununa %5 ve %10 oranlarında kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek çerez gıda üretimi gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon prosesinde laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder kullanılmıştır. Namlu çıkış kalıp çapı (2 mm) sabit tutulup, sabit vida hızında (175 rpm), sabit besleme hızında (3 kg/saat) beslenmiştir. Ekstrüzyon sistem parametrelerinden namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriği ise değişken koşullar olarak seçilmiştir. Üretim koşulları 3 farklı namlu çıkış sıcaklığı (110-130-150°C), 2 farklı besleme nem içeriği (%19–21) olarak ayarlanmıştır. Üretilen mısır unu ve mısır ununa iki farklı oranda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüdatların genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, renk değerleri, tekstür özellikleri, toplam besinsel lif ve fitik asit içerikleri belirlenmiştir. Ekstrüzyon koşullarının ekstrüdatların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Fiziksel kalite özellikleri incelendiğinde, en yüksek genişleme indeksi, en düşük yığın yoğunluğu değerleri için en uygun ekstrüzyon koşullarının düşük besleme nemi içeriğinde (%19) ve yüksek namlu çıkış sıcaklığında (150°C) gerçekleştiği bulunmuştur. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin besinsel lif içeriği incelendiğinde en yüksek (%11.43-11.84) besinsel lif içeriğine %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli örneklerde ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışma ile yan ürün olarak açığa çıkan kırmızı mercimek kepeği değerlendirilerek yüksek besinsel lif içeriğine sahip fonksiyonel bir çerez ürün ortaya konulmuştur.

2019, 43 sayfa

Anahtar Kelimeler: Besinsel lif, ekstrüzyon işlemi, mısır unu, kırmızı mercimek kepeği, fiziksel ve kimyasal özellikler

ABSTRACT

THE EFFECT of RED LENTIL BRAN on STRUCTURAL and NUTRITIONAL PROPERTIES of EXTRUDED PRODUCTS

In this study, extruded products were produced by corn flour and adding different levels of red lentil bran (5% and 10%) into the corn flour. Extrusion process was carried out with laboratory type twin screw extruder. The barrel die diameter (2 mm) and feed rate (3 kg/h) were kept constant. Among the extrusion system parameters, barrel temperature and feed moisture content values were selected as variable conditions. Extrusion conditions were set to 3 different barrel die temperatures (110-130-150°C), 2 different feed moisture content (19–21%). The expansion index, bulk density, color values, textural properties, water solubility, water binding capacity, total dietary fiber, and phytic acid contents of the extrudates were determined. The effects of extrusion conditions on the physical and chemical properties of the extrudates were investigated. The physical quality characteristics were examined and was found that the optimum extrusion conditions for the highest expansion index, the lowest bulk density values were at low feed moisture content (19%) and high barrel die temperature (150°C). When the dietary fiber content of the products were examined, the highest dietary fiber content (11.43-11.84%) was obtained in 10% red lentil bran added samples. In this study, red lentil bran as a by-product was utilized as a functional snack product with a higher dietary fiber content.

2019, 43 pages

Key Words: Dietary fiber, extrusion process, corn flour, red lentil bran, physical and chemical properties

TEŞEKKÜR

Lisansüstü tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve bana destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Tuğrul MASATCIOĞLU'na saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin üretim aşamasının gerçekleşmesinde laboratuvarlarını tüm imkanlarıyla bizlere açan ve yardımlarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Hamit KÖKSEL'e ve laboratuvar çalışmalarında laboratuvarlarını kullanmama imkan sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Zehra GÜLER'e,

Analiz çalışmalarımın yürütülmesinde bana yardımcı olan Arş. Gör. Mücahide KÖKSAL'a,

Tez çalışmam boyunca iş yerimde bana destek olan ve izinler konusunda yardımlarını esirgemeyen Koray KUSEYRİ ve Şeniz PEKMEZCİ'ye,

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen ve manevi destek veren arkadaşlarım Selin ÇANKAYA SİN ve H. İbrahim ARSLAN'a,

Her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal	15
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. Ekstrüzyon Ürünlerinin Üretilmesi	15
3.2.2. Nem İçeriği.....	16
3.2.3. Protein Miktarı	16
3.2.4. Yağ Miktarı	16
3.2.5. Kül Miktarı.....	16
3.2.6. Genişleme İndeksi.....	16
3.2.7. Yığın Yoğunluğu.....	17
3.2.8. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi Özellikleri.....	17
3.2.9. Tekstür Özellikleri	18
3.2.10. Renk Özellikleri	18
3.2.11. Toplam Besinsel Lif Tayini	18
3.2.12. Fitik Asit Miktarı	18
3.3. Verilerin Değerlendirilmesi	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	20
4.1. Hammaddelerin Kimyasal Kompozisyonu	20
4.2. Ekstrüzyon Sistem Parametreleri	21
4.3. Mısır Unu ve Kırmızı Mercimek Kepeği İlave Edilerek Farklı Ekstrüzyon Koşullarında Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Görselleri	22
4.4. Genişleme İndeksi ve Yığın Yoğunluğu	24
4.5. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama.....	26
4.6. Tekstür Özellikleri	29
4.7. Renk Özellikleri	31
4.8. Toplam Besinsel Lif İçeriği	33
4.9. Fitik Asit İçeriği	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen %100 mısır unu ekstrüdatlarına ait fotoğraflar	23
Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen mısır ununa %5 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlara ait fotoğraflar.....	23
Şekil 4.3. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen mısır ununa %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlara ait fotoğraflar.....	24



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Ekstrüdatların üretilmesinde kullanılan ekstrüzyon koşulları.....	15
Çizelge 4.1. Hammaddelerin kimyasal kompozisyonu.....	20
Çizelge 4.2. Deneysel tasarım ve ekstrüzyon sistem parametreleri	22
Çizelge 4.3. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri	25
Çizelge 4.4. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin su bağlama ve suda çözünürlük değerleri	27
Çizelge 4.5. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin tekstür değerleri	30
Çizelge 4.6. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin renk (L^*,a^*,b^*) değerleri	32
Çizelge 4. 7. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin toplam besinsel lif değerleri.....	34

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

AACCI	: American Association Cereal Chemist International
TBL	: Toplam Besinsel Lif
RPM	: Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
kPa	: Kilo Paskal
Nm	: Newton Metre



1. GİRİŞ

Son yıllarda hızlı tüketim ürünlerine olan talebin artması öte yandan fiziksel aktivitelerin azalması ve yanlış beslenme alışkanlıkları sonucu; aşırı şişmanlık, diyabet kalp damar hastalıkları, sindirim sistemi hastalıkları ve bağırsak hastalıkları gibi bazı sağlık problemleri artış göstermiştir (Burdurlu ve Karadeniz, 2003). Tüketicilerin sağlık konusundaki bilincinin artmasıyla birçok hastalığa karşı etkisi çeşitli çalışmalarla ortaya konulan besinsel liflerin sağlıklı ve dengeli bir yaşam sürecinde önemli bir yer edindiği görülmektedir. Bunun sonucunda da gıda endüstrisinde yan ürün olarak açığa çıkan, genellikle hayvan yemi olarak kullanılan, ekonomik anlamda katma değeri düşük ve dikkate değer miktarda besinsel lif içeren gıdaların insan beslenmesinde değerlendirilme imkanları ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Gül, 2007).

Besinsel lif, bitkilerin yenilebilir kısımlarını oluşturan, sağlıklı ve dengeli beslenme için önemli, vücudumuzda ince bağırsakta sindirilmeyen buna karşılık kalın bağırsakta tamamen veya kısmen fermente olan gıda bileşenleridir (Ekici ve Ercoşkun, 2007). Sindirim enzimlerinden etkilenmediği için diğer besin öğeleri gibi sindirimi yapılamayan ve bitkilerde bulunan çeşitli kompleks bileşenler lif olarak adlandırılmaktadır. Bitki hücre duvarında bulunan lignin; kutin, mum, suberin gibi lignin türevleri (Vasanthan ve ark., 2002); selüloz, hemi-selüloz, pektin gibi yapı polisakkaritleri, inülin ve oligofruktoz gibi oligosakkaritler (Thebaudin, 1997; Vasanthan ve ark., 2002), besinsel lif olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında, yapı bileşikleri olmayan gum arabik ve guar gum gibi gum maddeleri ve karragenan, agar, aljinat gibi deniz yosunu polisakkaritlerinin de (Thebaudin ve ark., 1997; Jiménez-Escrig ve Sánchez-Muniz, 2000) besinsel lif olduğu bildirilmektedir.

Besinsel lifin enerji değeri düşük olması ve su emici özelliğinden dolayı mide içeriğinin viskozitesini arttırarak midenin boşalmasını geciktirmekte ve yeme isteğini azaltmaktadır. Ayrıca besinsel lif içeren gıdaların çiğnenerek yutulmasının uzun süre alması, tokluk hissi yaratmaktadır (Thompson ve Manore, 2005).

Yüksek oranda besinsel lif tüketimi ile kalsiyum, magnezyum, çinko ve fosfor gibi minerallerin emilimi arasında ters bir ilişki olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Besinsel lifin mineral absorpsiyonunu engellediği ve bu etkinin sebebinin bağlı fitik ve oksalik asitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca fitik asidin minerallerle birleşmesiyle oluşan fitatlar, fitat-protein kompleksleri oluşturarak protein

emilimini de negatif yönde etkilemektedir. Özellikle tahıl ürünlerinde ve soya gibi gıdalarda bulunan fitatın insan ve farelerde kalsiyum absorpsiyonunu inhibe ettiği bilinmektedir (Harrington ve ark., 2001).

Ekstrüzyon teknolojisi yoğurma, kesme gibi mekanik işlemler ile ısıtma işlemlerin bir veya birkaçının birlikte kullanıldığı ürüne şekil verme ve/veya pişirme amacıyla uygulanan bir gıda işleme prosesidir. Bu proses minimum kayıpla, çeşitli şekil, tat, renk ve yapıda gıda ürünleri üretimine imkan vermektedir (Yıldırım 1996). Çerez ve kahvaltılık ekstrüde gıda ürünleri önemli düzeylerde kalori içermektedir. Gıda endüstrisinde takip edilen hedeflerden biri besinsel lif miktarını arttırarak enerji yoğunluğunu düşürmektir. Besinsel lif düşük kalori ve sindirimi düzenlemenin yanı sıra kalp-damar sağlığı, diyabet, kilo yönetimine ve bağışıklık sistemine pozitif etkileri vardır (Anderson ve ark., 2009). Kodeks Alimentarius bir ürünün lif kaynağı olabilmesi için 100 g porsiyonda 3 g lif veya 100 kcal porsiyonda 1.5 g lif içermesi gerektiğini; yüksek lif içeriğine sahip ürün olarak nitelendirilebilmesi için ise; 100 g porsiyonda 6 g lif veya 100 kcal porsiyonda 3 g lif değerinde olması gerektiğini belirtmektedir (Codex, 2009). Genişlemiş ekstrüde tahıl ürünlerinde, besinsel lif içeriğinin arttırılarak bu düzeylere ulaşılması zordur. Besinsel lif ilavesi genellikle genişleme hacminin düşmesine, daha yüksek yoğunluğa, daha sert tekstüre (yapı), daha düşük gevrekliğe ve bundan dolayı daha az tercih edilen ürünlere yol açmaktadır (Lue ve ark., 1991).

Bu çalışmanın amacı, yan ürün olarak açığa çıkan, genellikle hayvan yemi olarak değerlendirilen, ekonomik anlamda düşük katma değere sahip kırmızı mercimek kepeğinin besinsel lif kaynağı olarak ekstrüzyon ürünlerinin üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması ve nihai ürünün fiziksel, yapısal ve besinsel kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesidir. Bu bağlamda, formülasyona dahil edilen mercimek kepeğinin son ürünün genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, renk ve tekstür gibi fiziksel özelliklerinin yanı sıra; fonksiyonel özelliklerden suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi değerleri de incelenmiştir. Çalışmada her ne kadar lif miktarı arttırıldıkça besinsel lif değerinde artış bekleniyor olsa da, toplam besinsel lif miktarları da kantitatif olarak belirlenmiştir. Besinsel lif tüketiminin kalsiyum, magnezyum, çinko vb. mineral absorpsiyonunu engellediği ve bu etkinin daha çok kendisine bağlı fitik ve oksalik asitlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle, hammadde ve ekstrüzyon ürünlerinde fitik asit miktarı tayini çalışmanın bir diğer hedefini oluşturmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür incelendiğinde besinsel lifçe zengin ekstrüdatların kalite karakteristikleri üzerine yapılan araştırmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir.

Wang ve ark. (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.

Jin ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada soya lifi, tuz ve şeker ile ekstrüde edilen mısır ununun fiziksel özelliklerini ve mikro yapısını incelemek üzere, iç içe ve birlikte dönen çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak üretim gerçekleştirmişlerdir. Lif, şeker ve vida hızının, su absorpsiyon indeksi ve suda çözünürlük indeksi üzerine etkileri, ekstrüdatların yığın yoğunluğu ve özgül hacmi ile iyi korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Artan vida hızı su absorpsiyon indeksini azalttığı ancak suda çözünürlük indeksini arttırdığı rapor edilmiştir. Soya lifi ile %20'ye kadar artan lif içeriğinin su absorpsiyon indeksini düşürdüğü ancak suda çözünürlük indeksini arttırdığı bildirilmiştir. Şeker içeriğindeki artışın, suda çözünürlük indeksini azalttığı saptanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), artan lif, şeker içeriği ve vida hızının daha küçük boyutta hava kabarcıkları ve daha kalın hücre duvarları ile daha az genişlemiş ekstrüdatlara yol açtığını bildirmişlerdir. Sertlik mukavemeti, artan şeker ve lif içeriği ile arttığı ve ekstrüdatların radyal genişlemesi ile negatif korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir. Tuzun (%0-2), su absorpsiyon indeksi, suda çözünürlük indeksi ve ekstrüdatların mikro yapısı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmadığı rapor edilmiştir.

Ilo ve ark. (1996) tarafından yapılan bir araştırmada, tam öğütülmüş 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.

Gualberto ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada sabit sıcaklık (162.7°C) ve farklı vida hızlarındaki (225-305-450 rpm) ekstrüzyon işleminin buğday, yulaf, pirinç kepeklerinin besinsel lifi ve fitik asit içeriğine etkisini araştırmışlardır. Ekstrüzyon işlemi buğday kepeğinin çözünmez lif içeriğini etkilemezken pirinç ve yulaf kepeğinde düşüş meydana geldiği bildirilmiştir. Pirinç kepeğinde çözünmez lif üzerine en büyük etki 225 ve 305 rpm hızlarında, yulaf kepeğinde ise 225 rpm’de gerçekleştiğini bulmuşlardır. Yulaf ve pirinç kepeği için çözünür lif en fazla 225 ve 305 rpm’de, buğday kepeğinde ise 305 rpm ve 450 rpm değerlerinde artış gösterdiği rapor edilmiştir. Ekstrüzyon prosesinin tahıl kepeklerinin fitat içeriğini ise etkilemediğini belirlemişlerdir.

Alonso ve ark. (1998), ekstrüzyon işleminin 3 farklı çeşit bezelye tohumunun fitik asit miktarına etkisini araştırmak için yaptıkları bir çalışmada 100 rpm vida hızında, %25 besleme nemi içeriğinde ve 148°C namlu sıcaklığında ekstrüzyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bezelye tohumlarının fitik asit miktarlarının 1.19-1.33 g/100g aralığında olduğu belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminin, ham tohumlara kıyasla fitik asit içeriğinde önemli bir azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir.

Mendonça ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, mısır kepeğinin atıştırmalık ürün üretiminde potansiyel bir bileşen olarak kullanımını araştırmışlardır. Mısır kepeği farklı oranlarda (180, 250 and 320 g/kg) karıştırılarak, farklı besleme nemi içeriğinde (160, 190 and 220 g/kg), farklı namlu sıcaklıklarında (150, 170 and 190°C) ve farklı oranda gliserol monosterat (0,4-8 g/kg) ekleyerek ekstrüzyon üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bağımlı değişkenler olan; radyal genişleme oranı, boylamsal genişleme, spesifik hacim, sertlik ve kırılmalık değerlerini belirlemişlerdir. Ayrıca ekstrüdatları eğitimsiz bir panelist grup kullanarak kabul testi ile değerlendirmişlerdir. Varyasyon analizi ile belirlenen genel kabul edilebilirliğin, genişlemenin ve yüksek oranda kepek içeriğinde en iyi kombinasyonun 250 g/kg mısır kepeği, yüksek namlu sıcaklığı (190°C), düşük rutubet (160 g/kg) ve orta derecede gliserol (4 g/kg) monostearat kullanılarak ulaşılabileceğini bildirmişlerdir. Mısır kepeği içeriğinin artışı ekstrüdatların radyal genişleme oranını, görünümü ve genel kabul edilebilirliğini önemli ölçüde etkilediğini rapor etmişlerdir.

Alonso ve ark. (2000) çalışmalarında ekstrüzyon işleminin bakla ve fasulyede bulunan polifenol ve antinöjenik olan fitik asitin üzerine etkisini incelemişlerdir. Ekstrüzyon koşullarını %25 besleme nem içeriği, 100 rpm vida hızı ve 156°C namlu çıkış sıcaklığı olarak belirlemişlerdir. Bakla ve fasulyede bulunan fitik asit içeriğini sırasıyla 21.7 ve 15.9 g/kg (KM) bulurken, ekstrüzyon işlemi sonrasındaki değerler sırasıyla 15.9 ve 12.6 g/kg (KM) olarak saptamışlardır. Araştırmacılar ekstrüzyon işleminin ham maddeye kıyasla fitik asit içeriğini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Vasanthan ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada farklı namlu çıkış sıcaklığı (90-100-120-140°C) ve besleme nem içeriği (%20-35-50) kombinasyonları altında ekstrüzyon pişirmenin, 2 farklı çeşit arpa ununda bulunan (Phonenix ve CDC-Candle) besinsel lif profiline etkisini araştırmışlardır. Çözünmez lif içeriğindeki değişimin çeşide bağlı olduğu bulunmuştur. CDC-Candle arpa çeşidinde çözünmez lif miktarında azalma gözlenirken, Phonenix çeşidinde tüm sıcaklık koşullarında çözünmez lif miktarında artış olduğu belirtilmiştir. Her iki çeşitteki çözünür lif artışı ise ekstrüzyon sırasında bazı çözünmez liflerin çözünür forma dönüşmesi ve transglukozidasyon yolu ile çözünür lif oluşumundan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca Phoneix çeşidindeki çözünmez lif artışının ekstrüzyon pişirme sırasındaki retrograde nişasta (RS-3) oluşumundan kaynaklanabileceği rapor edilmiştir.

Abd El-Hady ve Habiba (2003) araştırmalarında ıslatma işlemi (16 saat suda) ve ekstrüzyonun (namlu çıkış sıcaklıkları 140°C-180°C, besleme nem içeriği %18 ve %22, vida hızı 250 rpm) 4 farklı bakliyat (bezelye, nohut, bakla ve barbunya) çeşidindeki antinöjenler, toplam ve serbest fosfor, protein sindirilebilirliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, ıslatma işlemi ve ekstrüzyonun fitik asit, tanenler, fenoller, α -amilaz ve tripsin inhibitörleri gibi antinöjenleri önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Ekstrüzyon işlemi, fitik asit fosfor yüzdesini toplam fosfor oranına düşürdüğü saptamışlardır. Fitik asit içeriğinin 4 baklagil çeşidinde de en fazla azaldığı ekstrüzyon koşulları, %22 besleme nem içeriği ve 180°C namlu çıkış sıcaklığı olarak kaydetmişlerdir.

Ding ve ark. (2006) yaptıkları araştırmada, farklı ekstrüzyon koşullarında (20-32 kg/h besleme hızında, %14-22 besleme nemi içeriğinde, 180-320 rpm vida hızında ve 100-140°C namlu sıcaklığında) çalışarak buğdaydan elde edilen genişlemiş çerez

gıdaların fonksiyonel (su absorpsiyon indeksi, suda çözünürlük indeksi) ve fiziksel (yoğunluk, genişleme, tekstür) özelliklerini incelemişlerdir. Besleme hızının artması, daha sert ekstrüdatlar oluşmasına ve düşük genişleme enerjisine sebep olduğu bildirilmiştir. Ayrıca besleme nem içeriğinin artması yoğunluğun artmasına, genişlemenin düşmesine, düşük su absorpsiyon indeksine, yüksek suda çözünürlük indeksine, yüksek sertliğe ve düşük genleşme enerjisine sebep olduğu rapor edilmiştir. Vida hızının artmasının ise ekstrüdatların yoğunluk ve sertlik değerlerini azalttığı fakat suda çözünürlük indeksi ve genişleme enerjisini arttırdığı bildirilmiştir.

Brennan ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, buğday kepeğini %5, %10, %15 oranlarında farklı orandaki tahıl karışımına (650 g Buğday-200 g Mısır-150 g Yulaf) ekleyerek ekstrüzyon üretimi gerçekleştirmişlerdir. Buğday kepeği ilavesinin artması ile birlikte genişleme oranında düşüş ve yığın yoğunluğunda artış gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Kontrol grubu ile karşılaştırılan ekstrüdatların kepek oranının artmasıyla sertliğin arttığı rapor edilmiştir.

Sobota ve ark. (2010) yaptıkları bir araştırmada farklı oranlardaki mısır unu-buğday kepeği (%20-80) karışımlarındaki besinsel lif fraksiyonlarına ekstrüzyon koşullarının etkisini (farklı namlu sıcaklığı ve karışım besleme nem miktarı) araştırmışlardır. Ekstrüzyon işlemi sonrası, ekstrüdatlar hammaddeler ile karşılaştırıldığında toplam besinsel lif miktarında ve çözünmez besinsel lif fraksiyonunda azalma olurken çözünür besinsel lif fraksiyonunda artış olduğu bildirilmiştir. Toplam besinsel lif içeriğindeki değişimin, çözünmez fraksiyonların daha küçük olan çözünür fraksiyonlara dönüşmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca suda çözünürlük indeksinin besleme nem içeriğinin artmasıyla azalma, ekstrüzyon namlu sıcaklığının artmasıyla artış gösterdiği rapor edilmiştir. Bunun sebebinin hammaddenin yüksek besleme nem içeriğinin nişasta degradasyonunu azalttığını ve bu nedenle daha düşük suda çözünürlük indeksinin kaydedildiğini bildirmişlerdir.

Lazou ve Krokida (2010) yaptıkları çalışmada farklı ekstrüzyon koşullarının (170-200-230°C namlu sıcaklığı, 2.52-4.86-6.84 kg/h besleme hızı, %13-16-19 besleme nem içeriği) farklı oranda karıştırılan (%0-10-30-50) mısır ve mısır unu:mercimek unu karışımından elde edilen ekstrüdatların yapısal ve tekstürel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ekstrüdatların yoğunluk değerlerinin besleme hızı, besleme nem içeriği ve mercimek unu oranının artması ile arttığı ve namlu sıcaklığının artması ile

yoğunluğu azalırken genişleme oranının ise tam tersi bir yönelim gösterdiği bildirilmiştir. Tekstürel özellikler değerlendirildiğinde, esneklik katsayısının besleme kompozisyonu ile arttığı ekstrüzyon koşulları ile azaldığını saptamışlardır. Sıkıştırma sırasında oluşan pik sayısı, ekstrüzyon sıcaklığı ve besleme kompozisyonu ile azaldığı ve benzer sonuçların duyuşal olarak değerlendirilen yapısal ve dokusal özellikler için de bulunduğı rapor edilmiştir. Ayrıca makroyapı incelemesi ekstrüzyon koşullarının ve besleme bileşiminin yapısal ve dokusal özelliklere olan etkisini doğruladığı belirtilmiştir.

Lazou ve ark. (2010) ekstrüzyon koşulları üzerine yaptıkları bir çalışmada mısır ve mısır-mercimek unu karışımından üretilen ekstrüdatların duyuşal özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Ürünlerin görünüm özellikleri ekstrüzyon namlu sıcaklığı ve besleme nem içeriğı ile azalmış, ancak besleme oranı ile gelişmiştir. Ekstrüdatların rengi en çok mercimek-mısır oranından etkilendiğı, orandaki artışın daha koyu ürünlere yol açtığı bildirilmiştir. Ekstrüzyon sıcaklığı ekstrüdatların gevrekliğini ve erimesini arttırdığı ve besleme nemi içeriğinin ise ekstrüdatların gevrekliğini azalttığı ve sertliğini arttırdığı rapor edilmiştir. Ekstrüdatların genel kabul edilebilirliği, genellikle mercimek ununun (% 30 karışım oranı hariç) ilavesi ve besleme nem içeriğı ve sıcaklığındaki artış ile azaldığı bildirilmiştir. Duyuşal özelliklerin korelasyonu, tekstürel özelliklerin görünüm ve lezzet özellikleri ile ilişkili olabileceğini raporlamışlardır.

Lazou ve Krokida (2010) yaptıkları başka bir araştırmada farklı ekstrüzyon koşullarının (170-200-230°C namlu sıcaklığı, 2.52-4.86-6.84 kg/h besleme hızı, %13-16-19 besleme nem içeriğı) farklı oranda karıştırılan mısır unu ve mısır unu-mercimek unu (%0-10-30-50) karışımlarından elde edilen ekstrüdatların fonksiyonel özelliklerini incelemişlerdir. Ekstrüdatların su absorpsiyon indeksinin, ekstrüzyon sıcaklığı ve besleme nem içeriğı ile arttığı fakat besleme hızı ve mercimek unu ilave oranı ile düştüğü rapor edilmiştir. Ekstrüdatların suda çözünürlük indeksinin sıcaklık ile arttığı, besleme nem içeriğı ve besleme hızı ile azaldığını belirlemişlerdir. Genel olarak, mercimek unu kullanımının fonksiyonel özellikler açısından daha düşük değerlere sahip ürünlere yol açtığı bildirilmiştir.

Batista ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, 2 farklı çeşit (BRS grafit-BRS pontal) fasulye örneğini un haline getirdikten sonra 150 rpm, 150°C namlu sıcaklığında ve %20 besleme neminde, tek vidalı ekstrüder kullanarak ekstrüzyon işleminin

fonksiyonel ve antibesinsel özelliklere etkisini incelemişlerdir. Her iki çeşit karşılaştırıldığında, BRS grafiti çeşidinin, BRS pontal'a göre daha yüksek fitik asit içerdiğini belirlemişlerdir. Ekstrüzyon işlemi, fitik asit miktarında sırasıyla pontal %17 ve grafitte %26 oranında önemli bir azalmaya neden olduğunu bulmuşlardır. Antibesinsellerdeki azalmayı, fitat molekülünün kısmi degradasyonu ile açıklamışlardır. Her iki fasulye çeşidinin suda çözünürlüğü karşılaştırıldığında BRS grafitte, BRS pontal çeşidinden önemli ölçüde daha fazla bulunduğu bildirilmiştir. BRS pontal ve BRS grafiti çeşitlerinin ekstrüzyon prosesi sonrası suda çözünürlük değerlerini sırasıyla %18 ve %16 oranında arttırdığını raporlamışlardır.

Robin ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, buğday ununa iki farklı seviyede (%12.6-24.4) buğday kepeği ekleyerek, farklı namlu sıcaklıklarında (120-180°C), farklı besleme nem içeriğinde (%18-22) ve farklı vida hızında (400-800 rpm) ekstrüzyon üretimi gerçekleştirerek buğday kepeğinin ekstrüdatların genişleme özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Kepek içeriğinin artırılmasının kesitsel ve hacimsel genişlemeleri azalttığı, boylamsal genişlemeyi arttırdığı rapor edilmiştir. Daha küresel şekillere sahip küçük hücrelerin oluşumunun ekstrüzyon koşullarında gerçekleşen nükleasyon ile bağlantılı olabileceği rapor edilmiştir.

Singkhornart ve ark. (2014) yaptıkları bir araştırmada, tam buğday ve çimlendirilmiş buğday unlarından farklı kalıp sıcaklıklarında (90 ve 130°C), farklı vida hızlarında (150 ve 200 rpm) ve CO₂ enjeksiyonu uygulayarak çift vidalı ekstrüderde üretim gerçekleştirmişlerdir. Tam buğday unu ve ekstrüde tam buğday ununun (EWW) fitik asit içerikleri, çimlendirilmiş buğday unundan (EGW) ve ekstrüde çimlendirilmiş buğday unundan daha yüksek bulunmuştur. Tam buğday unu ve çimlendirilmiş buğday unu örneklerinin fitik asit içerikleri sırasıyla 1134.59 mg/g ve 989.10 mg/g bulunduğu ve çalışmada tüm ekstrüzyon parametrelerinde etkili bir şekilde azaltıldığını bildirmişlerdir. Vida hızının fitik asit içeriği üzerinde temel etkiye sahip olduğunu ve artan vida hızının, hem ekstrüde tam buğdayın hem de ekstrüde çimlenmiş buğdayın fitik asit içeriğini azalttığını belirlemişlerdir. Kalıp sıcaklığının artırılması, EWW ve EGW'nin fitik asit içeriğini de düşürdüğü, bunun sadece yüksek vida hızında meydana geldiğini raporlamışlardır.

Masatcioglu ve ark. (2014) yaptıkları başka bir çalışmada, mısır ununa farklı oranlarda (%15-30-45) arpa unu ekleyerek %20-25 besleme neminde, 80-130°C namlu

çıkış sıcaklığında ekstrüzyon üretimi gerçekleştirmişlerdir. Mısır ununa, arpa unu eklenmesiyle elde edilen ekstrüdatların besleme neminin yükselmesiyle suda çözünürlük değerlerinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir. Aynı besleme nemi içeriğinde, namlu sıcaklığının yükselmesiyle suda çözünürlük değerlerinin yükseldiği rapor edilmiştir. Artan arpa unu oranının kontrol grubuyla karşılaştırıldığında daha yüksek suda çözünürlük değerleri saptamışlardır. En belirgin artış seviyesi, 130°C namlu sıcaklığında ve %20 besleme nemi içeriğinde üretilen numunelerde belirlemişlerdir. Ekstrüzyon prosesi ile her iki sıcaklıkta üretilen ekstrüdatların, besleme nem içeriğinin artmasıyla su bağlama kapasitesinin arttığını saptamışlardır. En yüksek artış 130°C’de gözlemlendiği rapor edilmiştir. Tüm besleme nemi ve sıcaklıklarda elde edilen arpa unu eklenmiş mısır ekstrüdatlarının su bağlama kapasiteleri, genel olarak geleneksel ekstrüzyon işlemi ile üretilen kontrol numunelerinden (Kontrol 1-Kontrol 4) daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, eklenen arpa unu ilavesinin artmasıyla, su bağlama kapasitesinde azalma görüldüğü rapor edilmiştir (130°C namlu çıkış sıcaklığında ve %20 besleme neminde üretilen %45 arpa unu ilaveli mısır ekstrüdatları hariç).

Oliveira ve ark. (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 eklenmesi ile birlikte ekstrüdatların besinsel lif ve dirençli nişasta miktarında dikkate değer bir artış olduğu rapor edilmiştir. Tam tahıl buğday unu miktarının artmasıyla toplam ve sindirilebilir nişasta içeriğinde düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir. Ekstrüdatların hücre yapısı, besleme nem miktarına ve tam tahıl buğday unu ilave oranına bağlı olduğunu saptamışlardır. En uygun koşulların %50 tam tahıl buğday unu ilaveli, %17-21 besleme neminde, yaklaşık 110°C namlu sıcaklığını tavsiye edilebilir olarak belirlemişlerdir.

Rashid ve ark. (2015) araştırmalarında buğday kepeğinin ekstrüzyon pişirmeye uygunluğu ve farklı ekstrüzyon parametrelerinin besinsel lif ve suda çözünürlük indeksi üzerine etkisini araştırmışlardır. Ekstrüzyon koşulları, farklı besleme neminde (%20-23-26), farklı vida hızında (200-300-400 rpm) ve farklı namlu sıcaklığında (90-110-130°C)

gerçekleştirmişlerdir. Değişen proses parametreleri ile çözünmeyen besinsel lifinde belirgin bir düşüş gözlenirken çözünür besinsel lifinde bir artış meydana geldiği rapor edilmiştir. Çözünmeyen besinsel lifte azalma ve çözünür lifteki artışın karbonhidrat ve protein kısımlarındaki kovalent ve kovalent olmayan bağların bozulmasıyla daha küçük ve daha fazla çözünür moleküler parçalara yol açmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Suda çözünürlük indeksinin, ekstrüzyon namlu sıcaklığı ve vida hızı değiştirilerek büyük ölçüde arttığını bulmuşlardır. Nişastanın suda çözünürlüğünün artmasıyla genişleme indeksinde paralel bir artış olduğunu saptamışlardır. Azalan besleme nemi ile birlikte artan vida hızının daha yüksek suda çözünürlük değerlerine ulaştığını bildirmişlerdir. Aynı şekilde ısıtma işlemdeki artış suda çözünürlük indeksini %11'e kadar arttırdığını belirlemişlerdir. Bunu kısmen, ekstrüzyonun ağır çalışma koşullarında nişastanın parçalanmasının artmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Suda çözünürlük indeksinin namlu sıcaklığı (110-130°C) ile pozitif ve besleme nemi ile negatif olan ilişkisini, ekstruderin artan mekanik enerji tüketiminin bir sonucu olduğunu raporlamışlardır. Sonuç olarak buğday kepeğinin ekstrüzyon pişirmede yararlı bir şekilde kullanılacağı rapor edilmiştir.

Kaur ve ark. (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 içeriği 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 koşulları ise 115°C namlu çıkış sıcaklığı ve %20 besleme nem içeriği olarak kaydetmişlerdir. 115°C namlu sıcaklığında ve %20 besleme nem içeriğinde, 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 düşüş (%55.83) %20 nem içeriğinde 140°C namlu sıcaklığında gözlemlendiği bildirilmiştir. Araştırmacılar düşük besleme nem içeriğinde olan örneklerde fitik asit içeriğinde daha az azalma ve düşük namlu çıkış sıcaklığında ise en fazla azalma

olduğunu vurgulamışlardır. Ham materyallerin fitik asit indirgemelerindeki bu farklılığın sebebini materyallerin elenme oranlarına, genotiplere ve çevresel etkilerin farklı olmasından kaynaklı olabileceğini bildirmişlerdir.

Albarracín ve ark. (2015) yaptıkları araştırmada ham pirinç tanesinde ıslatma ve ekstrüzyon işlemlerinin kombinasyonları, ekstrüzyon namlu sıcaklığının (160-175-190°C) ve besleme nem içeriğinin (14-16.5-19%) ürün özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Ham pirinçte bulunan fitik asit içeriği 740.09 mg/100g, ıslatılmış (45°C-24 saat) ham materyalde bu oran 352.19 mg/100g, ıslatma ve ekstrüzyon (160°C ve %16.5 besleme nem içeriği) işleminin ikisi uygulandığında ise 163.47 mg/100g değerlerinin bulunduğu rapor edilmiştir. Araştırma sonuçları fitik asit içeriğinin ıslatma ile %52 oranında, ıslatma ve ekstrüzyon işlemleri ile %77 oranında azalttığını bildirmişlerdir.

Rathod ve Annapure (2016) mercimek kullanarak yaptıkları çalışmada, farklı ekstrüzyon koşullarının antibesinsel faktörler üzerine etkisinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Ekstrüzyon koşullarından besleme nem içeriğini %14-18-22, namlu çıkış sıcaklığını 140-160-180°C ve vida hızını 150-200-250 rpm olarak belirlemişlerdir. Mercimek ekstrüdatlarının genişleme indeksi değerlerinin 1.91-3.27 arasında değiştiğini ve besleme nemi ile namlu çıkış sıcaklığının önemli bir etkisinin bulunduğunu saptamışlardır. Ekstrüzyon prosesinin fitik asit ve polifenol seviyelerini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. Ekstrüzyon namlu sıcaklığındaki artışın (140°C'den 180°C'ye) etkisi, %99.30'a kadar fitik asitin azalmasına neden olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada ayrıca, ekstrüzyon işlemi sırasında besleme neminin %14'ten %22'ye yükseltildiğinde önemli bir değişiklik olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek besleme nem içeriğindeki ekstrüdatların daha az nem içerenlere kıyasla yüksek fitik asit değerleri ile sonuçlandığı vurgulanmıştır. Genel olarak ve duyuşal değerlendirme ile optimum koşulları, %18 besleme nem içeriği, 160°C namlu çıkış sıcaklığı ve 200 rpm vida hızında üretilen ekstrüdatlar olarak belirlemişlerdir.

Oliveira ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, farklı besleme nem içeriğinde (13.96-16.0-19.0-22.0-24.04), farklı namlu sıcaklıklarında (76.40-90-110-130-143.60°C) ekstrüzyon parametrelerinin, farklı oranlarda karıştırılan tam buğday unu : mısır unu (%0-20-50-80-100) karışımlarına etkisini incelemişlerdir. Ekstrüzyon parametrelerinin genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, renk, tekstür özellikleri üzerine etkisini

ölçmüşlerdir. Genişleme indeksi ve yığın yoğunluğunun tam tahıl buğday unundan ziyade nem miktarıyla değiştiği bildirilmiştir. Tam tahıl buğday unu eklenmesi ile daha koyu ürün elde edildiği ve yüksek tam tahıllı buğday unu ilaveli örneklerin yüksek sıcaklık ve düşük besleme nem seviyeleri ile birlikte daha iyi renk görünümü gösterdiği bildirilmiştir. Yüksek tam tahıl buğday unu/mısır unu oranı nem yaklaşık %22 'den düşük olduğu sürece arzu edilen düşük sertlik ve istenilen gevreklikte ekstrüdatlar üretildiğini belirtmişlerdir. Ekstrüdatlar için optimum koşulları %80 tam tahıl buğday unu, %16 besleme nem içeriği, 90-100°C namli sıcaklık aralığı olarak önermişlerdir.

Rathod ve Annapure (2017) ekstrüzyon işlemi kullanılarak kabul edilebilir fiziksel ve duyuşal özelliklere sahip ve besinsel açıdan zengin ekstrüde edilmiş erişte üretmeyi amaçlamışlardır. Ekstrüzyon koşullarını, besleme nem oranını %16-20-24, namli çıkış sıcaklığını 70-95-120°C, vida hızını ise 150-250 rpm olarak belirlemişlerdir. Ekstrüzyon işleminin eriştenin fitik asit miktarını %93.18 azalttığını belirlemişlerdir. Maksimum azalma koşullarının 120°C ve %24 besleme nemi içereğimde üretilen ekstrüdatlarda olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar %20 besleme nemi, 95°C namli çıkış sıcaklığında 150 rpm vida hızında, en kaliteli erişte elde edildiğini vurgulamışlardır.

lv ve ark. (2018) mercimek unu üzerine yaptıkları bir araştırmada, mercimek unu ve pre-jelatinize patates nişastası karışımına 90-99.5°C namli sıcaklıklarında ve 40-80-120 rpm vida hızlarında süper kritik akışkan (Karbondiyoksit) uygulayarak ekstrüzyon prosesi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen ekstrüde ürünlerin gözeneklilik (0.34-0.40-0.45), rehidrasyon oranı (82.46-82.68-84.37), genişleme oranı (3.17-3.46-4.89) ve gevreklik (5.42-6.71-7.33) gibi fiziksel özelliklerinin vida hızının artmasıyla arttığını belirlemişlerdir. Öte yandan yoğunluk, suda çözünürlük indeksi, ekstrüdatların kırılmalık ve sertlik değerlerinin vida hızının artmasıyla azaldığını raporlamışlardır.

Kumar ve ark. (2018) yaptıkları bir araştırmada soya ve sorgum karışımları için ekstrüzyon koşullarını soya fasulyesi oranı %10-30, besleme nemi içeriğini %12-20, namli çıkış sıcaklığını 110-150°C ve vida hızını 250-450 rpm olarak belirlemişlerdir. Yanıt yüzey metodolojisini kullanarak ekstrüzyon koşullarının fitik asit üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Soya fasulyesi oranının arttırılması ile antibesinsel bileşiklerin arttığı fakat ekstrüzyon işlemi ile ekstrüdatların antibesinsel içeriklerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Fitik asit içeriğinin %57'ye kadar azaltıldığını rapor

etmişlerdir. Ekstrüdatlardaki fitik asit içeriğinin, soya ilave oranından, namlu sıcaklığı, vida hızı ve besleme nem içeriğinden etkilendiğini vurgulamışlardır. Farklı formülasyonlara sahip hammaddelerin fitik asit içeriği 377.83-455.64 mg/100g bulunurken ekstrüzyon sonrasında bu değerleri 177.53-311.83 mg/100g bulmuşlardır. Fitik asit içeriğindeki en yüksek azalma %20 soyafasulyesi ilaveli, %16 besleme nem içeriği, 150°C namlu çıkış sıcaklığı ve 350 rpm vida hızı ekstrüzyon koşullarında elde etmişlerdir. Minimum azalma koşullarını ise %20 soyafasulyesi, %16 besleme nem içeriği 110°C namlu çıkış sıcaklığı ve 350 rpm vida hızı olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak ekstrüzyon işlemi ile fitik asit içeriğindeki en çok azalmanın orta namlu çıkış sıcaklıklarında (140-150°C) ve daha düşük vida hızlarında (300-350 rpm) gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Samray ve ark. (2019) ekmek israfının değerlendirilmesi adına yaptıkları bir çalışmada, galeta unundan elde edilen ekstrüdatları buğday unu ekstrüdatlarıyla karşılaştırmışlardır. Besleme hızı, vida hızı ve kalıp çapı sabit tutulmuş (sırasıyla 4.0 kg/saat, 200 rpm ve 2.0 mm), namlu çıkış sıcaklığı 120, 135, 150°C'ye ayarlanmış, besleme nemi içeriği %13, 15, 17 olarak ayarlanmıştır. Özellikle düşük besleme nem içeriğinde (%13), galeta unlarından elde edilen ekstrüdatların genişleme indeks değerleri (7.57–8.07), buğday unu ekstrüdatlarından (5.88–6.01) daha yüksek genişleme indeksi değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Genel olarak, hem buğday unu ekstrüdatlarının hem de galeta unu ekstrüdatlarının yığın yoğunluğu değerleri, her çıkış kalıbı sıcaklığında artan besleme nem içeriği ile birlikte önemli ölçüde artmıştır ($p < 0.05$). Hem buğday unu ekstrüdatları hem de galeta unu ekstrüdatları için yığın yoğunluğu değerleri kalıp sıcaklığının 120°C'den 150°C'ye çıkarılmasıyla azalmıştır ancak düşüşler her durum için istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Galeta unu ekstrüdatları, incelenen tüm ekstrüzyon koşullarında buğday unu ekstrüdatlarına göre önemli ölçüde daha yumuşak ve daha gevrek dokuya sahip olduğu belirlenmiştir. Galeta unu ekstrüdatlarının besinsel lif içerikleri (%5.75-7.28) buğday unu ekstrüdatlarından (%4.58-5.50) daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Buğday unu ekstrüdatlarının, çalışılan tüm çıkış kalıp sıcaklıklarında besleme nemi içeriğinin artmasıyla suda çözünürlük değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir. Düşük besleme nemi içeriğinde (%13) namlu çıkış sıcaklığının yükselmesiyle suda çözünürlük artarken, daha yüksek besleme nemi değerlerinde (%15-17) tam tersi etki görüldüğünü belirlemişlerdir. Su bağlama

kapasitesi değerleri, besleme nemi içeriğinin %13'ten %17'ye çıkarılmasıyla arttığını bildirmişlerdir ($p < 0.05$). Düşük besleme nemi içeriğinde (%13), buğday unu ekstrüdatlarının su bağlama kapasitelerinin artan çıkış kalıp sıcaklıkları ile azalırken, yüksek besleme nemi içeriğinde (%15 ve %17), tam tersi bir eğilim gösterdiğini belirlemişlerdir.



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Ekstrüzyon ürünlerinin üretilmesinde kullanılan mısır unu Ankara Halk Ekmek ve Un Fabrikası A.Ş.'den, kırmızı mercimek kepeği ise Öncü Bakliyat İç ve Dış Tic. San. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Ekstrüzyon Ürünlerinin Üretilmesi

Çalışmada Feza Makina (İstanbul, Türkiye) firması tarafından üretilen laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder kullanılarak öncelikle %100 mısır ununa (Kontrol grubu) ekstrüzyon pişirme tekniği uygulanmıştır. İkinci aşamada Mercimek kepekleri mısır ununa iki farklı (%5 ve %10) oranda ilave edilerek paçallar hazırlanmıştır. Mısır unu ve paçallar ekstrüdere sabit besleme hızında (3 kg/saat), vida konfigürasyonunda, namlu çıkış kalıbı çapında (2 mm) ve vida hızında (175 rpm) beslenmiştir. Sistem parametrelerinden namlu çıkış sıcaklığı (110-130-150°C) ve besleme nem içeriği (%19 ve %21) ise değişken koşullar olarak seçilmiştir. Ön deneme çalışmaları ile karar verilen parametrelerde üretimi gerçekleştirilen örnekler 55°C'ye ayarlı fanlı kurutucularda 1 gece bekletilip nemi uzaklaştırıldıktan sonra fiziksel analizler yapılarak kadar hava geçirmez polietilen poşetlerde muhafaza edilmiştir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Ekstrüdatların üretilmesinde kullanılan ekstrüzyon koşulları

Besleme nem içeriği (%)	19-21
Mısır ununa ilave edilen kırmızı mercimek kepeği düzeyi (%)	5-10
Ekstrüzyon namlu çıkış sıcaklığı (°C)	110-130-150
Besleme hızı (kg/saat)	3
Vida hızı (rpm)	175
Namlu çıkış kalıbı çapı (mm)	2.00
Vida uzunluğunun çapa oranı (L/D)	25:1

Fiziksel analizler tamamlandıktan sonra örnekler gözenek açıklığı 212 µm elekten geçecek şekilde öğütülmüş (Fakir Hausgeräte Aromatic, İstanbul, Türkiye) ve ileri aşamada gerçekleştirilecek analizlere kadar ağız kilitli poşetler içerisinde +4°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Nem İçeriği

Tez kapsamında kullanılan hammaddelerde nem içeriği (mısır unu, mısır ununa %5 ve %10 düzeyinde kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek hazırlanan paçallarda) AACC Metot No: 44-15A (AACC, 1990)’e göre belirlenmiştir.

3.2.3. Protein Miktarı

Tez kapsamında kullanılan hammaddelerde protein miktarı Kjeldahl yöntemi kullanılarak AACC Metot No: 46-12 (AACC, 2000)’e göre belirlenmiştir. Hesaplamadaki azot faktörü 6.25 olarak alınmıştır.

3.2.4. Yağ Miktarı

Hammaddelerde yağ miktarı AACC Metot No: 30-25 (AACC, 2000)’ e göre belirlenmiştir.

3.2.5 Kül Miktarı

Hammaddelerde kül miktarı AACC Metot No: 08-01 (AACC, 2000) ‘e göre belirlenmiştir.

3.2.6. Genişleme İndeksi

Hava sirkülasyonlu kurutma fırınlarında nem içerikleri düşürülen ekstrüzyon ürünlerinin çapları kumpas ile 0.01 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar

ekstrüder çıkış kalıbı çapına (2 mm) bölünerek genişleme indeksi değerleri hesaplanmıştır (Masatcioglu ve ark., 2014).

3.2.7. Yığın Yoğunluğu

Ekstrüzyon ürünlerinin yığın yoğunluğu değerleri (g/cm^3) Hwang ve Hayakawa (1980) ve Meng ve ark. (2010) tarafından tanımlanan hacimsel yer değiştirme prensibine göre amaranth tohumu kullanılarak saptanmıştır. Yığın yoğunluğu değerleri Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\rho_{eks} = \frac{W_{eks} (g)}{V_c (cm^3) \times \left(1 - \frac{W_{eks+pm} (g)}{W_{pm} (g)}\right)} \quad (1)$$

ρ_{eks} : Ekstrüzyon ürününün yığın yoğunluğu

W_{eks} : Ekstrüzyon ürününün ağırlığı

V_c : Ölçüm yapılan silindirik kabın hacmi

W_{eks+pm} : Sabit hacimde ekstrüzyon ürünü ve amarant ile birlikte ağırlığı

W_{pm} : Sabit hacimde amaranth ağırlığı

3.2.8. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi Özellikleri

Ekstrüzyon prosesi ile üretilen ekstrüdatların suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi özelliklerinin belirlenmesi için Singh ve Singh (2003) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek Masatcioglu ve ark. (2014)'e göre belirlenmiştir. Bu amaçla deney tüplerine 0.5 g örnek tartılıp üzerine 5 ml saf su ilave edilip 5 dakika aralıklarla 15 saniye vorteks ile karıştırılmıştır (8 kez). Karıştırma işlemi sonunda örneklerle $2100 \times g$ hızda 10 dakika santrifüj uygulanmıştır. Süpernatant kurutma kabına aktarılarak tartılmış ve etüvde 100°C ' de 1 gece bekletilerek kurutulmuştur. Çökelen kısım da tartılarak etüvde 100°C 'de 1 gece bekletilerek kurutulmuştur. Çözünürlük ve su bağlama değerleri sırasıyla aşağıda verilen Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'ten yararlanılarak % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Suda çözünürlük (\%)} = (M_2 / M_1) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Su bağlama kapasitesi (\%)} = [(M_3 - M_4) / M_1] \times 100 \quad (3)$$

M_1 : örnek miktarı, g

M_2 : kuru ağırlık, g

M_3 : tüpteki yaş çökelti, g

M_4 : tüpteki kuru çökelti, g

3.2.9. Tekstür Özellikleri

Farklı koşullarda üretilen ekstrüde örneklerin her birinden 20 adet seçilerek (3 cm) tekstür analizörü ile (TA.XT plus, Godalming, Surrey, İngiltere) ekstrüdatların sertlik ve gevreklik özellikleri tespit edilmiştir. Analizde yük hücresi 5 kg, test hızı 2 mm/sn ve test başlangıç yüksekliği 17 mm, olarak ayarlanmıştır. Maksimum pik yüksekliği sertlik değeri; pik sayısı ise gevreklik değeri ifade etmektedir.

3.2.10. Renk Özellikleri

Farklı koşullarda üretilen ekstrüdatların L^* , a^* , b^* renk değerleri Konica Minolta Chromameter (CR-400, Japonya) kullanılarak tespit edilmiştir. CIE renk değerleri L^* parlaklığı ifade ederken; (+) a^* kırmızı, (-) a^* yeşil; (+) b^* sarı ve (-) b^* mavi olarak değerlendirilmiştir

3.2.11. Toplam Besinsel Lif Tayini

Araştırmada farklı ekstrüzyon koşullarında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin toplam besinsel lif (TBL, %) miktarı Megazyme Total Dietary Fiber Assay Kit (Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland) kullanılarak AOAC Approved Method 991-43 yöntemine göre belirlenmiştir.

3.2.12. Fitik Asit Miktarı

Mısır unu, %100 kırmızı mercimek kepeği ve mısır ununa %10 kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin fitik asit miktarı Megazyme Phytic

Acid K-PHYT Assay Kit (Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland) kullanılarak AOAC Method 986.11 yöntemi ile tayin edilmiştir. Analiz kiti ile ürün içindeki fosfor miktarı modifiye kolorimetrik yöntemle belirlenip 100 g örnek başına g cinsinden fitik asit olarak verilmiştir. Her bir örnek için 2 ölçüm yapılmıştır.

3.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Araştırma sonuçları SPSS 16.0 istatistik programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Farklar önemli bulunduğunda ($p < 0.05$) ortalamalar DUNCAN testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Hammaddelerin Kimyasal Kompozisyonu

Tez çalışması kapsamında ekstrüzyon ürünlerinin geliştirilmesinde hammadde olarak kullanılan mısır unu ve mısır ununa iki farklı oranda ilave edilen kırmızı mercimek kepeği mısır unu paçallarının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1.’de görüldüğü üzere ekstrüzyon ürünlerinin üretiminde kullanılan mısır ununun nem içeriği %10.3, protein miktarı %5.7, yağ miktarı %1.2 ve kül miktarı ise %0.59 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Hammaddelerin kimyasal kompozisyonu

	Nem içeriği (%)	Kül miktarı (%)*	Protein miktarı (%)*	Yağ miktarı (%)
Mısır unu	10.3±0.05	0.59±0.016	5.7±0.24	1.2±0.13
%5 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli	10.5±0.09	0.79±0.008	6.2±0.06	1.9±0.06
%10 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli	10.9±0.12	0.86±0.001	6.5±0.05	2.6±0.14

(*) KM: Kurumadde üzerinden hesaplanmıştır.

Ilo ve ark. (1996) yaptıkları ekstrüzyon çalışmasında hammadde olarak kullandıkları mısır irmiğinin kimyasal bileşimini 10.14g/100g protein, 1.7g/100g yağ, 0.71g/100g kül, toplam lif değerini ise 6.49g/100g olarak bildirmişlerdir. Seth ve ark. (2015) çalışmalarında kullandıkları mısır unu kimyasal kompozisyonunu %11.29 rutubet, %11.18 protein, %1.50 yağ, %4.65 besinsel lif oranlarında olduğunu rapor etmişlerdir. Başka bir araştırmada Singha ve ark. (2018), çalışmalarında kullandıkları mısır irmiğinin kimyasal kompozisyonunun %11.46 rutubet, %6 protein, %1.5 yağ, %2.0 kül, %0.83 toplam besinsel lif içeriğine sahip olduğunu saptamışlardır. Tez

alışmasında hammadde olarak kullanılan mısır ununun kimysal bileşimi literatür ile uyum göstermektedir.

4.2. Ekstrüzyon Sistem Parametreleri

Tez çalışmasında kullanılan ekstrüzyon üretim koşulları (namlu çıkış sıcaklığı, besleme nem içeriğı, vida hızı) ile mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeğı ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin tork ve namlu basıncı değeri Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. incelendiğinde tork değeri 4.58 ile 8.87 Nm aralığında değıştiğı görülmüştür. En düşük tork değeri mısır ununa %5 kırmızı mercimek kepeğı ilave edilerek 150°C namlu çıkış sıcaklığı ve %21 besleme nem içeriğı ekstrüzyon koşullarında üretilen örneklerde tespit edilirken en yüksek değeri ise; mısır ununa %10 mercimek kepeğı ilave edilerek 110°C namlu çıkış sıcaklığı ve %19 besleme nem içeriğı koşullarında ulaşılmıştır. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeğı ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin tork değeri besleme nem içeriğı arttırıldıkça düşüş göstermiştir. Aynı besleme nem içeriğinde namlu çıkış sıcaklığı arttırıldığında ekstrüzyon sistem parametrelerinden tork değeri azalma saptanmıştır.

Tez çalışmasında geliştirilen ekstrüzyon ürünlerinin basınç değeri incelendiğinde, tork değeri benzer bir eğilim görülmektedir. Bir diğeri ifadeyle, besleme nem içeriğı ve namlu çıkış sıcaklığı arttırıldıkça basınç değeri azalma tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.).

Bhattacharya ve Hanna (1987) ekstrüzyon parametrelerinin etkisini incelemek üzere mısır gluten yeminde yaptıkları araştırmada besleme nem içeriğindeki artışın basını azalttığını, benzer şekilde artan namlu çıkış sıcaklığının da basını düşüreceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun doğrudan hamur viskozitesiyle ilgili olduğunu rapor etmişlerdir. Akdoğan (1996) ekstrüzyon parametrelerinin pirinç nişastası üzerine etkisini incelemek üzere yaptığı ekstrüzyon çalışmasında, besleme nem içeriğinin artmasıyla, tork ve basınç değeri düşüş meydana geldiğini; ayrıca sabit besleme neminde artan namlu çıkış sıcaklığı ile tork ve basınç değeri de düştüğünü

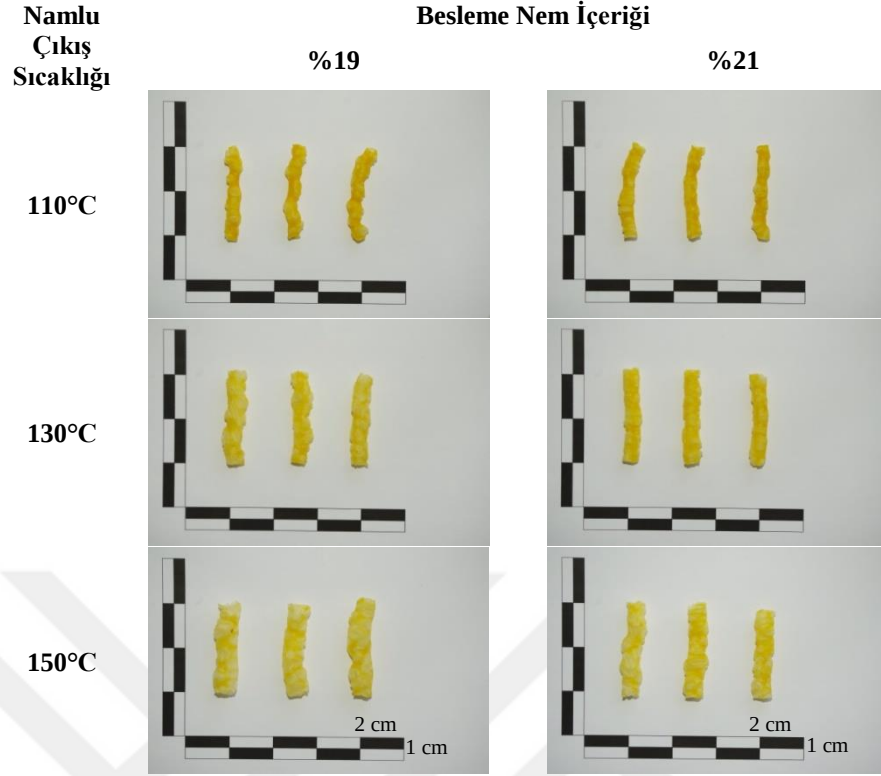
belirlemiştir. Bu değişimin eriyik viskozitesinde meydana gelen değişimden kaynaklı olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.2. Deneysel tasarım ve ekstrüzyon sistem parametreleri

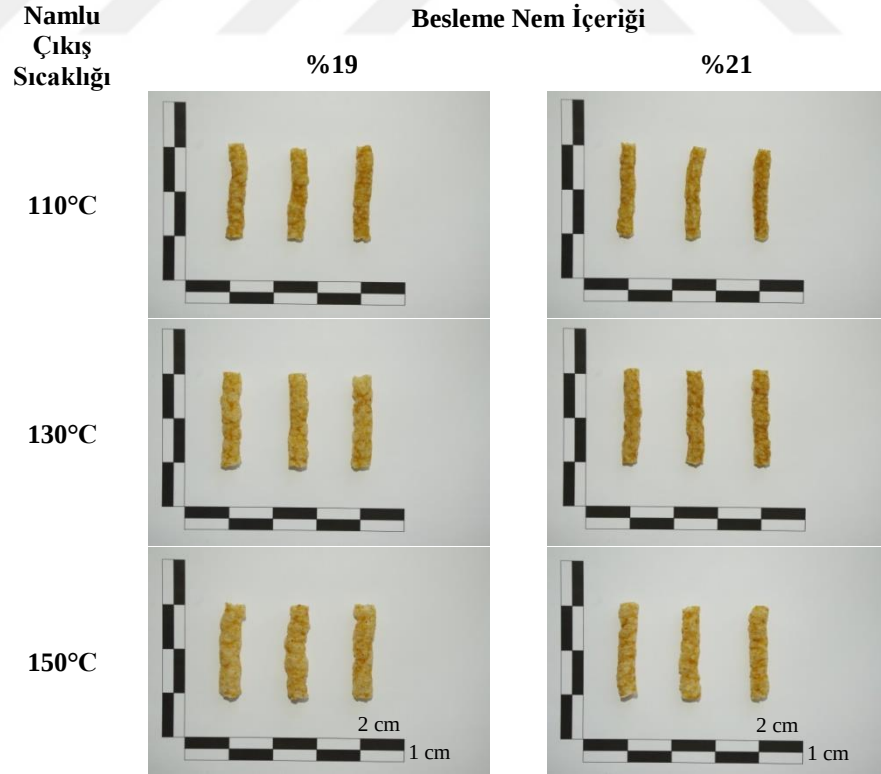
	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Vida Hızı (rpm)	Tork (Nm)	Basınç (kPa)
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	175	7.31	5470
		21		6.22	4660
	130	19		6.68	4240
		21		5.55	3760
	150	19		5.86	3225
		21		4.75	2730
%5 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	175	7.52	5380
		21		6.09	4450
	130	19		6.55	4500
		21		5.25	3520
	150	19		5.59	3300
		21		4.58	2720
%10 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	175	8.87	5305
		21		6.97	4370
	130	19		7.86	4220
		21		6.34	3880
	150	19		6.39	3150
		21		6.18	2575

4.3. Mısır Unu ve Kırmızı Mercimek Kepeği İlave Edilerek Farklı Ekstrüzyon Koşullarında Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Görselleri

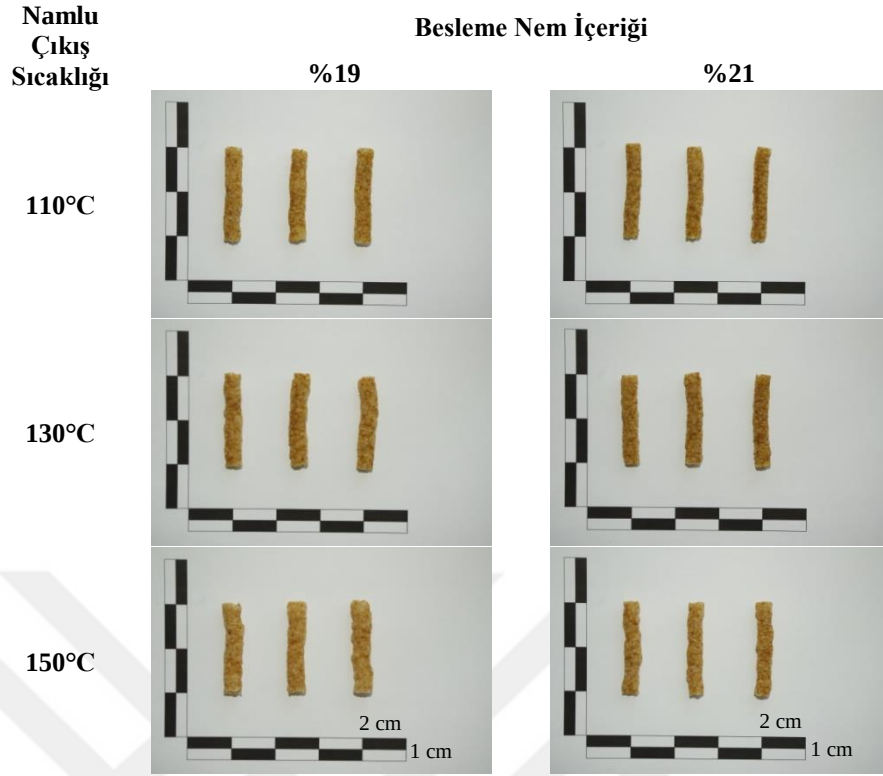
Farklı namlu sıcaklığı ve besleme nem içeriği koşullarında, mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin fotoğrafları otomatik zoom yapılmaksızın, aynı ölçülü zemin kullanılarak çekim yüksekliği eşit olacak şekilde çekilmiştir. Tez kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerine ait görseller Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.’te sunulmuştur. Elde edilen görseller ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi ve renk değerleri gibi fiziksel kalite özellikleri hakkında ön-fikir verir niteliktedir.



Şekil 4.1. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen %100 mısır unu ekstrüdatlarına ait fotoğraflar



Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen mısır ununa %5 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlara ait fotoğraflar



Şekil 4.3. Farklı sıcaklık ve besleme nem içeriğinde üretilen mısır ununa %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlara ait fotoğraflar

4.4. Genişleme İndeksi ve Yığın Yoğunluğu

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.3.'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. incelendiğinde farklı ekstrüzyon koşullarında üretilen ekstrüdatların ortalama genişleme indeksi değerleri 2.92 ile 4.87 aralığında bulunmuştur. En yüksek genişleme indeksi değerine 150°C namlu çıkış sıcaklığı, %19 besleme nemi içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında ulaşılmıştır. Tez kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi değerleri besleme nem içeriği arttırıldıkça, sadece mısır unu kullanılarak 110°C'de üretilen örnekler hariç, istatistiksel olarak azalmıştır ($p<0.05$). Aynı besleme nem içeriğinde mısır unu ve mısır ununa %5 oranında kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon örneklerinde, namlu çıkış sıcaklığı arttırıldıkça genişleme indeksi değerleri istatistiksel olarak artış göstermiştir ($p<0.05$). Mısır ununa %10 oranında kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon

ürünlerinin genişleme indeksi değerlerinde de benzer bir artış eğilimi gözlenmiş ancak bu artış yüksek nemli çıkış sıcaklıklarında (130 ve 150°C) istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerleri

	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Genişleme İndeksi	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	2.99 h	0.660 a
		21	2.92 h	0.691 a
	130	19	3.92 de	0.328 de
		21	3.49 f	0.349 cd
	150	19	4.87 a	0.162 h
		21	4.43 b	0.226 g
%5 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	3.77 e	0.338 c-e
		21	3.23 g	0.459 b
	130	19	4.11 c	0.236 g
		21	3.56 f	0.390 c
	150	19	4.46 b	0.164 h
		21	4.10 c	0.251 fg
%10 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	3.58 f	0.291 ef
		21	3.28 g	0.391 c
	130	19	3.84 de	0.264 fg
		21	3.50 f	0.355 cd
	150	19	3.99 cd	0.175 h
		21	3.50 f	0.272 fg

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin yığın yoğunluğu değerleri besleme nem içeriği arttırıldıkça genel olarak artış göstermiştir (Çizelge 4.3.). Namlu çıkış sıcaklığının ekstrüzyon ürünlerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerine etkisi incelendiğinde ise, genişleme indeksinin aksine namlu çıkış sıcaklığı arttırıldıkça yığın yoğunluğu değerleri

istatistiksel olarak azalmıştır ($p<0.05$). Tez çalışmasında üretilen tüm örneklerde genel olarak genişleme indeksi değerleri ile yığın yoğunluğu değerleri arasında ters bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Benzer şekilde Ilo ve ark. (1996) mısır unu kullanarak ürettikleri ekstrüzyon ürünlerinde genişleme indeksinin önemli düzeyde besleme nem içeriğine bağlı olduğunu ve artan besleme nem içeriği ile radyal genişleme indeksinin azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca artan besleme nem içeriğinin yığın yoğunluğunda artışa yol açtığı rapor etmişlerdir.

Ding ve ark. (2006) buğday unu kullanarak ürettikleri ekstrüzyon ürünlerinde besleme nemindeki artışın genişleme indeksinde düşüşe sebep olduğunu ve bunun artan besleme nem içeriğinin hamurun elastikiyatını azalttığı, plastikleştirici etkiyi ve jelatinizasyon oluşumunu düşürmesini takiben meydana geldiğini ön görmüşlerdir.

Jin ve ark. (1995) mısır ununa soya lifi ekleyerek yaptıkları çalışmada artan lif miktarının genişleme indeksi değerlerini azalttığı ve yığın yoğunluğu ile arasında negatif korelasyon olduğunu belirlemişlerdir.

Mendonça ve ark. (2000) tarafından mısır kepeğinin ekstrüzyon üretiminde potansiyel bir bileşen olarak kullanımının araştırıldığı çalışmada farklı oranlarda uygulanan mısır kepeğinin, nem içeriği ve namlu çıkış sıcaklığındaki azalmanın ekstrüdatların radyal genişleme ve görünümelerini önemli derecede etkilediğini ve artışa sebep olduğunu belirlemişlerdir. Boylamsal genişlemenin ise namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriğinin artmasıyla ters orantılı olduğunu ve bunun eriyik vizkozite ile ilişkilendirildiğini bildirmişlerdir.

Oliveira ve ark. (2017) mısır ununa tam buğday unu ekleyerek ürettikleri ekstrüzyon ürünlerinde genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinin eklenen tam tahıl buğday unundan ziyade besleme nem içeriğiyle değiştiği bildirilmiştir. Samray ve ark. (2019) benzer şekilde buğday unu ve galeta unu ekstrüdatlarının yığın yoğunluğu değerlerinin, her bir namlu çıkış kalıbı sıcaklığında artan besleme nemi ile birlikte önemli ölçüde arttığını saptamışlardır.

4.5. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin su bağlama ve suda çözünürlük değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde en yüksek su bağlama ve en düşük suda çözünürlük değeri 110°C namlu çıkış sıcaklığında %21 nem içeriğinde mısır unundan üretilen ekstrüdatlarda saptanmıştır. En düşük su bağlama değeri ve en yüksek suda çözünürlük değeri ise 110°C namlu çıkış sıcaklığında %19 besleme nem içeriğinde üretimi gerçekleştirilen %10 mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin su bağlama ve suda çözünürlük değerleri

	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Su Bağlama (%)	Suda Çözünürlük (%)
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	452.98 d	27.50 gh
		21	492.38 a	23.23 i
	130	19	442.83 e	29.04 fg
		21	488.98 a	25.92 h
	150	19	428.76 f	31.86 e
		21	467.99 c	29.24 f
%5 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	392.60 i	37.05 bc
		21	489.26 a	27.05 h
	130	19	394.62 i	36.51 bc
		21	478.16 b	28.94 fg
	150	19	406.72 h	35.58 c
		21	444.04 e	31.82 e
%10 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	360.18 k	38.73 a
		21	395.74 i	33.92 d
	130	19	370.32 j	37.89 ab
		21	414.52 g	32.84 de
	150	19	376.95 j	37.22 a-c
		21	412.51 gh	31.94 e

Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama değerleri mısır unu için %428.76-492.38 aralığında, %5 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda %392.60-489.26 aralığında, %10 mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda %360.18-414.52 aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Her 3 farklı hammaddeden üretilen ekstrüdatlarda aynı namlu çıkış sıcaklığında besleme nem içeriğinin %19'dan %21'e arttırılmasıyla su bağlama değerleri artış göstermiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Mısır unu ekstrüdatlarında düşük besleme nem içeriğinde (%19), namlu çıkış sıcaklığı arttırıldıkça su bağlama değerleri istatistiksel olarak azalmıştır ($p<0.05$). Ancak bu azalma eğilimi kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek geliştirilen ekstrüzyon ürünlerinde gözlenmemiştir. Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama suda çözünürlük değerleri mısır unu için %23.23-31.86 aralığında, %5 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda %27.05-37.05 aralığında, %10 mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda ise %31.94 - 38.73 aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Her 3 farklı hammaddeden üretilen ekstrüdatlarda aynı sıcaklıkta besleme nem içeriğinin arttırılmasıyla suda çözünürlük değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede azaldığı bulunmuştur ($p<0.05$). Öte yandan %19 besleme nemi içeriğinde üretilen örnekler namlu çıkış sıcaklığının 110°C'den 150°C'ye çıkartılmasıyla mısır unu örneklerinde suda çözünürlük değeri istatistiksel olarak önemli derecede artış gösterirken ($p<0.05$), %5 ve %10 mercimek kepeği ilaveli örnekler için değişimin önemsiz seviyede olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde %21 besleme nemi içeriğindeki sonuçlar karşılaştırıldığında sıcaklığın 110°C'den 150°C'ye yükselmesi ile mısır unu ve %5 mercimek kepeği ilaveli örneklerde önemli bir artış bulunurken ($p<0.05$), %10 mercimek kepeği ilaveli örneklerde değişimin istatistiksel olarak önemsiz seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Jin ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada %0-20 ye artan lif içeriği miktarının su absorpsiyon indeksini düşürdüğü, ancak suda çözünürlük indeksini arttırdığını bildirmişlerdir. Masatcioglu ve ark. (2014) mısır ununa farklı oranlarda kavuzsuz arpa unu ilave ederek yaptıkları çalışmada, ekstrüdatların besleme neminin yükselmesiyle suda çözünürlük değerlerinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir. Aynı besleme neminde, sıcaklığın yükselmesiyle de suda çözünürlük değerlerinin yükseldiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar ayrıca ekstrüzyon prosesi ile 80°C ve 130°C'de üretilen ekstrüdatların, besleme neminin artmasıyla su bağlama kapasitesinin arttığını belirlemişlerdir.

Samray ve ark. (2019) buğday ununda yaptıkları çalışmada benzer şekilde, çalışılan aynı namlu çıkış sıcaklıklarında besleme nemi içeriğinin artmasıyla suda çözünürlük değerlerinin azaldığını, su bağlama değerlerinin ise besleme nem içeriğinin artmasıyla (%13'ten %17'ye) arttığını bildirmişlerdir.

4.6. Tekstür Özellikleri

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin tekstür özellikleri Çizelge 4.5.'te gösterilmiştir. Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerleri 471.95 ile 1525.40 (g) aralığında; ortalama gevreklik (pik sayısı) değerleri ise 4.65 ile 16.20 aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.5.).

En yüksek sertlik değerine (1525.40 g) sahip olan örnek 110°C namlu çıkış sıcaklığı, %21 besleme nem içeriğinde üretilen %5 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda; en düşük sertlik değerine (149.88 g) ise 150°C namlu çıkış sıcaklığı, %19 besleme nem içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda ulaşılmıştır (Çizelge 4.5.). Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerleri genel olarak besleme nemi içeriğindeki artış ile doğru orantılı; namlu çıkış sıcaklığındaki artış ile ters orantılı olarak bir değişim göstermiştir.

En yüksek gevreklik değerine (16.20 pik sayısı) sahip olan örnek 150°C namlu çıkış sıcaklığı ve %19 besleme nem içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında elde edilmiştir. 110°C namlu çıkış sıcaklığı ve %21 besleme nem içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında ise en düşük gevreklik değerine (4.65 pik sayısı) ulaşılmıştır (Çizelge 4.5.). Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama gevreklik değerleri genel olarak besleme nem içeriğinin artışıyla ters orantılı, artan namlu çıkış sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Daha önce yapılan benzer çalışmalarda da besleme nem içeriği artışının ekstrüdat sertliğini arttırdığı; bu artışın besleme nem içeriğinin genişlemeyi azaltmasından kaynaklanabileceği rapor edilmiştir (Liu ve ark. 2000).

Ding ve ark. (2005) pirinç ununda yaptıkları ekstrüzyon çalışmasında, besleme neminin ekstrüdatların sertliği üzerine önemli etkisinin olduğunu ve artan besleme nemi içeriği ile sertlik değerinin arttığını belirlemişlerdir. Öte yandan namlu çıkış sıcaklığının

artması ile ekstrüdatların gevrekliğinin arttığını, bunu eriyik kütle vizkozitesinin azalmasına ve yoğunluğu düşük daha ince hücrelere sahip ekstrüdatlar oluşmasına bağlamışlardır.

Çizelge 4.5. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin tekstür değerleri

	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Sertlik (g)	Gevreklik (pik sayısı)
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	1318.70 a-c	5.65 i
		21	1430.9 ab	4.65 hi
	130	19	817.13 f-h	10.00 b-f
		21	974.16 d-g	7.75 d-i
	150	19	492.89 j	16.20 a
		21	732.99 g-i	11.55 bc
%5 Kırmızı Mercimek Kepesi İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	1054.10 d-f	7.05 e-i
		21	1525.40 a	6.40 f-i
	130	19	779.11 gh	10.80 b-d
		21	1087.20 c-e	6.20 g-i
	150	19	574.69 h-j	13.50 ab
		21	718.74 g-i	10.20 b-e
%10 Kırmızı Mercimek Kepesi İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	956.18 d-g	9.20 c-h
		21	1199.30 b-d	6.20 g-i
	130	19	796.08 gh	9.80 c-g
		21	1056.90 d-f	9.50 c-g
	150	19	471.95 j	15.40 a
		21	860.77 e-g	9.80 c-g

Ding ve ark. (2006) benzer şekilde buğday ununda yaptıkları çalışmada besleme nem içeriğinin artması ile sertlik değerlerinde artış olduğunu; artan namlu çıkış sıcaklığının ise ekstrüdat sertliğini düşürdüğü, bunun eriyik hamur viskozitesinin azalması ve su buharı oluşumunun pozitif yönde etkilemesinden kaynaklandığı rapor

edilmiştir. Meng ve ark. (2010) nohut ununda yaptıkları ekstrüzyon çalışmasında, düşük besleme nem içeriği, yüksek namlu sıcaklığı ve yüksek vida hızında tüketici tarafından istenilen düşük sertlikte ekstrüdatların elde edileceğini bildirmişlerdir.

Lazou ve Krokida (2010) mısır ununa mercimek unu ilave ederek yaptıkları ekstrüzyon çalışmasında, besleme nem içeriğinin azalması ile ekstrüdat sertliğinin azaldığını; ekstrüdatların gevrekliğinin ise, besleme nem içeriği artışı ile azaldığını; namlu çıkış sıcaklığı artışı ile gevrekliğin arttığını bunun sebebinin sıcaklık artışı ile hava kabarcık oluşumunu etkileyerek daha ince hücre duvarları oluşmasından kaynakladığını bildirmişlerdir. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında elde edilen tekstür sonuçları literatür ile uyum göstermektedir.

4.7. Renk Özellikleri

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin renk (L^*, a^*, b^*) değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. incelendiğinde L^* (parlaklık) değerleri 68.58 ile 86.95 aralığında, a^* (kırmızılık) değerleri -3.49 ile 2.35 aralığında, b^* (sarılık) değerleri ise 18.47 ile 30.11 aralığında saptanmıştır. En yüksek L^* değeri 130°C namlu çıkış sıcaklığında, %21 besleme nemi içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında bulunurken; en düşük değer 150°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nemi içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda belirlenmiştir.

En yüksek a^* değeri 150°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nemi içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda saptanırken; en düşük değer 110°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nemi içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında bulunmuştur.

En yüksek b^* değeri 130°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nemi içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında görülürken; en düşük değer 150°C namlu çıkış sıcaklığında, %21 besleme nemi içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda belirlenmiştir. Çizelge 4.6. incelendiğinde beklenildiği gibi mısır ununda üretilen ekstrüdatların L^* parlaklık değerleri yüksek bulunurken kırmızı mercimek kepeği ilave oranının artmasıyla (%5 ve %10) kademeli olarak parlaklık değerlerinde dikkate değer bir düşüş meydana geldiği görülmektedir ($p<0.05$). Mısır unu ekstrüdatları, mısır ununa %5 ve %10 kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek

üretileen ekstrüdatlar kendi içinde değerdendirildiğinde genel olarak namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriğinin, parlaklık değerdelerindeki değışimin önemli derecede olmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda kırmızı mercimek kepeğı ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin renk (L^* , a^* , b^*) değerdeleri

	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriğı (%)	L^*	a^*	b^*
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	86.59 b	-3.49 s	30.02 b
		21	86.22 d	-3.20 o	29.31 c
	130	19	86.84 ab	-3.33 r	30.11 a
		21	86.95 a	-3.26 p	28.89 e
	150	19	86.39 cd	-2.90 m	28.89 e
		21	86.24 d	-3.01 n	29.22 d
%5 Kırmızı Mercimek Keppeğı İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	76.23 e	0.11 k	21.23 f
		21	76.53 e	-0.06 l	21.01 g
	130	19	76.30 e	0.53 i	20.80 h
		21	76.44 e	0.25 j	21.17 f
	150	19	75.88 f	1.28 f	19.97 j
		21	75.79 f	0.98 h	20.36 i
%10 Kırmızı Mercimek Keppeğı İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	70.94 j	1.78 d	19.28 l
		21	72.14 g	1.22 g	19.41 k
	130	19	71.24 h	1.99 c	19.38 k
		21	71.07 j	1.61 e	19.00 m
	150	19	68.58 k	2.35 b	18.57 n
		21	71.42 h	2.18 a	18.47 o

Ekstrüde ürünler kırmızılık değerleri bakımından incelendiğinde beklenildiği gibi kırmızı mercimek kepeği ilave oranının artmasıyla kırmızılık değerlerinde dikkate değer bir artış meydana gelmiştir ($p<0.05$; Çizelge 4.6.).

Kırmızı mercimek kepeği ilave oranının sarılık değerleri üzerine etkisi incelendiğinde; ilave oranının arttırılması ile b^* değerlerinde istatistiksel olarak düşüş tespit edilmiştir ($p<0.05$; Çizelge 4.6.).

Oliveira ve ark. (2017) mısır ununa farklı oranlarda tam buğday unu ilave ederek yaptıkları çalışmada, L^* parlaklık değerinin namlu çıkış sıcaklığı, ve tam buğday unu ilave oranından etkilendiğini saptamışlardır. Tam buğday unu ilave oranının artmasıyla ekstrüdatların parlaklık değerlerinin düştüğü bildirilmiştir. Ayrıca parlaklık değerlerinin namlu çıkış sıcaklığındaki artış ile arttığını ve bunun sebebinin yükselen sıcaklık ile pigmentlerin degradasyonundan kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir. Kırmızılık değerlerinin ise tüm değişkenlere bağlı olduğu özellikle yüksek sıcaklık ve düşük besleme nem içeriğinde kırmızılık değerlerinin arttığı araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Öte yandan mısır ununa ilave edilen tam buğday unu oranının artması ile sarılık (b^*) değerleri daha düşük sonuçların bulunduğu ortaya konulmuştur. Tez kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin renk değerleri değerlendirildiğinde literatürle genel olarak uyum gösterdiği görülmektedir.

4.8. Toplam Besinsel Lif İçeriği

Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin toplam besinsel lif değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. incelendiğinde toplam besinsel lif değerleri %4.92 ile %11.84 aralığında bulunmuştur. En düşük besinsel lif değeri 110°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nem içeriğinde üretilen mısır unu ekstrüdatlarında belirlenirken; en yüksek besinsel lif değeri 150°C namlu çıkış sıcaklığında, %19 besleme nem içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ürünlerde saptanmıştır. Bu çalışmada uygulanan farklı ekstrüzyon koşullarının (namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriği) ekstrüdatların besinsel lif miktarına etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, beklenildiği gibi artan mercimek kepeği ilave oranının besinsel lif miktarını arttırdığı açıkça görülmektedir. Tez çalışması kapsamında en yüksek besinsel lif içeriği %10 kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinde tespit edilmiştir.

Sobota ve ark. (2010) yaptıkları bir araştırmada ekstrüzyon koşullarının farklı oranlardaki mısır unu-buğday kepeği (%20-80) karışımlarındaki besinsel lif fraksiyonlarına etkisini araştırmışlar ve ekstrüzyon işlemi sonrası, ekstrüdatlar hammaddeler ile karşılaştırıldığında toplam besinsel lif miktarında ve çözünmez besinsel lif fraksiyonunda azalma olurken çözünür besinsel lif fraksiyonunda artış olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam besinsel lif içeriğindeki değişimin, çözünmez fraksiyonların daha küçük olan çözünür fraksiyonlara dönüşmesi ile ilgili olduğu rapor edilmiştir.

Çizelge 4. 7. Mısır unu ve mısır ununa farklı oranlarda mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinin toplam besinsel lif değerleri

	Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Toplam Besinsel Lif (%)
Mısır Unu Ekstrüdatları	110	19	4.92 d
		21	5.22 d
	130	19	5.42 d
		21	4.99 d
	150	19	5.48 d
		21	5.38 d
%5 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	8.60 b
		21	8.39 b
	130	19	7.70 c
		21	8.18 bc
	150	19	8.24 bc
		21	7.74 c
%10 Kırmızı Mercimek Kepeği İlaveli Ekstrüdatlar	110	19	11.43 a
		21	11.67 a
	130	19	11.70 a
		21	11.59 a
	150	19	11.84 a
		21	11.50 a

Oliveira ve ark. (2015) ise ekstrüzyon proses parametrelerinin tam tahıl buğday ununun kahvaltılık gevrek üretiminde kullanımının besinsel ve teknolojik kalite özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Mısır unu ve tam buğday ununun toplam besinsel lif değerlerinin sırasıyla %2.89 ve %12.82 olarak belirlendiği çalışmada tam buğday ununun mısır ununa ilave oranının artmasıyla toplam besinsel lif miktarının arttığı bildirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında hem %5 hem de %10 kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek geliştirilen ekstrüzyon ürünleri; Türk Gıda Kodeksi Gıda Etiketleme ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliği ve Codex Alimentarius da bildirilen yüksek lif içerikli (100 gr gıdadaki lif miktarının en az 6 gr olması) gıdalar olarak nitelendirilebilir. Bu bağlamda elde edilen bulgular tez çalışmasının en önemli çıktısını oluşturmaktadır.

4.9. Fitik Asit İçeriği

Ekstrüzyon çalışmasında kullanılan mısır unu ve %100 kırmızı mercimek kepeği hammaddelerinin fitik asit içerikleri sırasıyla 0.3238 g/100g ve 0.1915 g/100g olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin fitik asit içeriği, önceki çalışmalar da dikkate alınarak, sadece %10 mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda ekstrem namlu çıkış sıcaklıkları olan 110°C ve 150°C’de üretilen örneklerde gerçekleştirilmiştir. 110°C namlu çıkış sıcaklığı, %21 besleme nemi içeriğinde üretilen %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatların ortalama fitik asit içeriği 0.3018 g/100g olarak tespit edilirken; aynı besleme nem içeriğinde 150°C namlu çıkış sıcaklığında üretilen örneklerde ise bu değer 0.3104 g/100 g olarak saptanmıştır. Hammaddelerin fitik asit içeriği, %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatların ortalama fitik asit içeriği ile kıyaslandığında ekstrüzyon koşullarının beklenildiği gibi fitik asit içeriğini azaltıcı bir etki yaratmadığı, %10 kırmızı mercimek kepeği ilave oranı ile seyreltmeye sebep olduğu belirlenmiştir.

Okazaki ve Katayama (2005) buğday, arpa, pirinç gibi tek çenekli hububat ürünlerinde fitik asitin daha çok alevron kısmında biriktiğini, mısırdaki ise tersine fitik asit içeriğinin %80’den fazlasının embriyo kısmında biriktiği rapor edilmiştir. Wang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada ise mercimek tohumunda kabuk soyma işlemi sonrası

fitik asit içeriğinde dikkate değer bir düşüş olduğu, bunun da fitik asit içeriğinin kabuk kısmından çok embriyo kısmında daha yoğun bulunmasından kaynaklı olduğu bildirilmiştir.

Gualberto ve ark. (1997) yaptıkları çalışmada, sabit namlu çıkış sıcaklığında (162.7°C), %15 besleme nem içeriğinde ve farklı vida hızlarındaki (225-305-450 rpm) ekstrüzyon işleminin buğday, yulaf ve pirinç kepeklerinin fitik asit içeriğine etkisi araştırmışlardır. Yulaf, pirinç ve buğday kepeği hammaddelerinin fitat içerikleri sırasıyla; %1.42, %4.32 ve %5.27 olarak saptanırken, ekstrüzyon işlemi sonra fitat içerikleri yulaf kepeğinde %1.05-1.26, pirinç kepeğinde %4.45-4.53, buğday kepeğinde ise %4.59-5.26 değerleri arasında olduğu bildirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonrasındaki belirlenen fitat değişim değerlerinin istatistiksel olarak önemsiz seviyede olduğu araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Fitat içeriğindeki değişimin, öğütme sırasındaki ekstraksiyon oranından, genotip farkından ve çevresel faktörlerden kaynaklanabileceği rapor edilmiştir.

Alonso ve ark. (1998), ekstrüzyon işleminin 3 farklı çeşit bezelye çeşidinde fitik asit miktarına etkisini araştırmak için yaptıkları bir çalışmada 100 rpm vida hızında, %25 besleme nem içeriğinde ve 148°C namlu sıcaklığında ekstrüzyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Ham bezelye çeşitlerinin fitik asit miktarlarının 1.19-1.33 g/100g aralığında; ekstrüzyon üretimi sonrasında ise; 1.12-1.21 g/100g aralığında olduğu rapor edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonrası bu değişimin, hammaddelere kıyasla fitik asit içeriğinde dikkate değer bir azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kabuk soyma işleminin ham tohumla kıyasla fitik asit içeriğini %11'e kadar arttırdığını belirlemişlerdir.

Alonso ve ark. (2000) yaptıkları bir başka araştırmada ekstrüzyon koşullarının bakla ve fasulyedeki fitik asit içeriğine etkisini incelemek için, %25 besleme nem içeriği, 100 rpm vida hızı ve 156°C namlu çıkış sıcaklığında üretim gerçekleştirmişlerdir. Bakla ve fasulyede bulunan fitik asit içeriğini sırasıyla 21.7 ve 15.9 g/kg (KM) bulurken, ekstrüzyon işlemi sonrasındaki değerler sırasıyla 15.9 ve 12.6 g/kg (KM) olarak saptamışlardır. Araştırmacılar ekstrüzyon işleminin ham maddeye kıyasla fitik asit içeriğini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında mısır unundan ve mısır ununa iki farklı oranda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek, farklı ekstrüzyon koşullarında (namlu çıkış sıcaklığı 110-130-150°C ve besleme nem içeriği %19 ve %21) ekstrüdatlar üretilmiştir. İşlenmemiş hammaddelerin kompozisyonu ve ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen mısır unu ve mısır ununa iki farklı oranda kırmızı mercimek kepeği ilave edilerek üretilen ekstrüdatların fiziksel, kimyasal, yapısal özellikleri belirlenmiştir. Ekstrüde ürünlerin fiziksel ve yapısal özellikleri kapsamında genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, tekstür özellikleri (sertlik, gevreklik), renk değerleri, toplam besinsel lif ve fitik asit içerikleri incelenmiştir.

Ekstrüdatların genişleme indeksi değerleri her üç farklı üretim için genel olarak artan besleme nemi içeriği ile azaldığı, artan namlu çıkış sıcaklığının ise pozitif yönde etkilediği ve yığın yoğunluğu değerlerinde ise genişleme indeksi ile ters orantılı bir etki yarattığı saptanmıştır. Ayrıca, genel olarak kırmızı mercimek kepeği ilave oranının artması ile genişleme indeksi ve yığın yoğunluğu değerlerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Her 3 farklı hammaddeden üretilen ekstrüdatlarda aynı sıcaklıkta besleme nem içeriğinin arttırılmasıyla (%19'dan %21'e) su bağlama değerleri artış göstermiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Öte yandan aynı sıcaklıkta besleme nem içeriğinin artmasıyla suda çözünürlük değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede azaldığı bulunmuştur ($p<0.05$). Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerleri genel olarak besleme nem içeriği ile doğru orantılı; namlu çıkış sıcaklığı ile ters orantılı olarak bir değişim göstermiştir. Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama gevreklik değerleri ise genel olarak besleme nem içeriğinin artışıyla ters orantılı, artan namlu çıkış sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ekstrüzyon ürünlerinin renk değerleri kıyaslandığında artan kırmızı mercimek kepeği ilave oranı ile L^* (parlaklık) ve b^* (sarılık) değerlerinde düşüş gözlemlenirken a^* (kırmızılık) değerlerinde ise artış belirlenmiştir ($p<0.05$). Namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriği ekstrüdatların besinsel lif miktarına etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, beklenildiği gibi artan mercimek kepeği ilave oranının besinsel lif miktarını arttırdığı açıkça görülmüştür. Mısır unu ekstrüdatlarında %4.92-5.38 aralığında belirlenen besinsel lif içeriği, %10 kırmızı mercimek kepeği ilave oranı ile %11.43-11.84 aralığındaki değerlere ulaştığı

saptanmıştır. %10 kırmızı mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarda ekstrem namlu çıkış sıcaklıkları olan 110°C ve 150°C’de üretilen örneklerde değerlendirilen fitik asit içerikleri hammaddelerle kıyaslandığında ekstrüzyon koşulları ile değişmediği belirlenmiştir.

Genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, tekstür ve renk değerleri tüketici istekleri ve tercihleri düşünüldüğünde büyük önem arz etmektedir. Bu bakımdan mısır unu ekstrüdatları, %5 ve %10 mercimek kepeği ilaveli ekstrüdatlarla karşılaştırıldığında genel olarak ciddi bir fark gözlenmemiştir ve kırmızı mercimek kepeği ilavesi ile daha yüksek besinsel lif içerikli ürünler elde edilmiştir. Tez kapsamında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; kırmızı mercimek kepeğinin katma değeri yüksek ürünlere işlenmesi bakımından en uygun ekstrüzyon üretim koşullarının 150°C namlu çıkış sıcaklığında ve %19 besleme nem içeriğinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tez çalışması kırmızı mercimeğin işlenmesi ve paketlenmesi süreçlerinde bir atık olarak ortaya çıkan ve genellikle hayvan beslenmesinde kullanılan mercimek kepeğinin Sıfır Atık Yönetmeliği’de göz önüne alınarak değerlendirilmesini kapsamaktadır. Tez kapsamında yüksek lif içerikli, sağlıklı, fonksiyonel ve katma değeri yüksek ekstrüzyon ürünleri geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- AACC, 1990. American Association of Cereal Chemists, Approved methods of the AACC, 8th Edition, The Association, St. Paul, MN.
- AACC, 2000. American Association of Cereal Chemists Approved methods of the AACC, 10th Edition, The Association, St. Paul, MN.
- Abd El-Hady, E.A. and Habiba, R.A., 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. **LWT-Food Sci. Technol.** 36(3): 285-293.
- Akdoğan, H., 1996. Pressure, torque, energy responses of a twin screw extruder at high moisture contents. **Food Research International**, 29, 423-429.
- Albarracín, M., González, R.J., Drago, S.R., 2015. Soaking and extrusion effects on physicochemical parameters, phytic acid, nutrient content and mineral bio-accessibility of whole rice grain. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 66(2), 210–215.
- Alonso, R., Orue, E., Marzo, F., 1998. Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. **Food Chemistry**, Vol. 63, No. 4, pp. 505-512.
- Alonso, R., Aguirre, A., 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 (2000), pp. 159-165.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis Jr., R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., 2009. Health benefits of dietary fiber. **Nutrition Reviews**, 67(4), 188-205.
- Batista, K.A., Prudêncio, S.H., Fernandes., K.F., 2010. Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Journal of Food Science**, 75, C286–C290.
- Bhattacharya, M. & Hanna, M. A., 1987. Influence of process and product variables on extrusion energy and pressure requirements. **J. Food Eng.**, 6, 153-163.
- Brennan, M., Monro, J.A., Brennan, C.S., 2008. Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. **International Journal of Food Science and Technology** 43, 2278–2288.
- Burdurlu, H.S., Karadeniz, F., 2003. Gıdalarda Diyet Lifinin Önemi. **Gıda Mühendisliği Dergisi**. 7(15): 18-25.
- Codex Alimentarius, 2009. Guidelines for use of nutrition and health claims.
- Ding, Q-B., Ainsworth, P., Tucker, G. & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, 66, 283-289.
- Ding, Q-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G. & 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.
- Ekici, L., Ercoskun, H., 2007. Et ürünlerinde diyet lif kullanımı. **Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi**. 1: 83-90.
- Gualberto, D.G., Bergman, C. J., Kazemzadeh, M., & Weber, C. W., 1997. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. **Plant Foods for Human Nutrition**, 51(3), 187–198.

- Gül, H., 2007. Mısır ve Buğday Kepeğinin Hamur ve Ekmek Nitelikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Harris, P.J., Ferguson, L.R., 1999. Dietary fibres may protect or enhance carcinogenesis. **Nutr Res**, 443; 95-110.
- Hwang, M.P., Hayakawa, K.I., 1980. Bulk densities of cookies undergoing commercial baking processes. **Journal of Food Science**, 45(5), 1400-1407.
- Ilo, S., Tomschik, U., Berghofer, E., & 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.
- Jiménez-Escrig, A. and Sánchez-Muniz, F.J. 2000. Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. **Nutr Res**, 20; 585-598.
- Jin, Z., Hsieh, F. & Huff, H.E., 1995. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. **Journal of Cereal Science**, 22, 185-194.
- 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.
- Kumar, A., Aradwad, P., Jha, S.K., Sahoo, P.K., 2018. Effect of extrusion technique on antinutritional factors of sorghum-soya blends. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, 88(3), 420-8.
- Lazou, A. and Krokida, M., 2010. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. **Food Research International**, 43, 609-616.
- Lazou, A. and Krokida, M., 2010. Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, 100, 392-408.
- Lazou, A. and Krokida, M., 2010. Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. **Journal of Sensory Studies**, 25, 838-860.
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H., & Huff, H. E. (2000). Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. **Journal of Food Science**, 65, 1253-1259.
- Lue, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 1991. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization and dietary fiber content. **Cereal Chemistry**, 68(3), 227-234.
- Lv, Y., Glahn, R.P., Hebb, R.L., Rizvi S.S.H., 2018. Physico-chemical properties, phytochemicals and DPPH radical scavenging activity of supercritical fluid extruded lentils. **LWT - Food Science and Technology**, 89, 315-321.
- Masatcioglu, M.T., Yalcin, E., Hwan, P.J., Ryu, G.H., Celik, S., Koksels, H., 2014. Hull-less barley flour supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process. **Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.**, 26, 302-309.
- Mendonça, S., Grossmann, M.V.E., & Verhe, R., 2000. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, 33, 2-8.
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., Driedger, D., 2010. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, 43, 650-658.

- Okazaki Y., Katayama T., 2005. Reassessment of the nutritional function of phytic acid, with special reference to myo-inositol function. **J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.**, 58: 151-156.
- Oliveira, L.C., Rosell, C.M., & 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., Rosell, C.M., & Steel, C. J., 2017. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. **LWT - Food Science and Technology**, 75, 261-270.
- Rashid, S., Rakha, A., Anjum, F.M., Ahmed, W. & Sohail, M., 2015. Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and water solubility index of wheat bran extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, 50, 1533–1537.
- Rathod, R.P., Annapure, U.S., 2016. Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits **LWT-Food Science and Technology**, 66, 114-123.
- Rathod, R.P., Annapure U.S., 2017. Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. **LWT-Food Science and Technology**, 80 (2017), pp. 121-130.
- Robin, F., Dubois, C., Pineau, N., Schuchmann, H.P. & Palzer, S., 2011. Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. **Journal of Food Engineering**, 107, 80–89.
- Samray, M.N., Masatcioglu, M.T., Koksel, H., 2019. Bread crumbs extrudates: A new approach for reducing bread waste. **Journal of Cereal Science**, 85, 130–136.
- Singh, J., Singh, N., 2003. Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. **Food Hydrocolloids**, 17, 63–72.
- Singkhornart, S., Edou-ondo, S., Ryu, G.H., 2014. Influence of germination and extrusion with CO₂ injection on physicochemical properties of wheat extrudates. **Food Chemistry**, 143, 122-131.
- Sobota, A., Sykut-Domańska E., Rzedzicki, E., 2010. Effect of extrusion-cooking process on the chemical composition of corn-wheat extrudates, with particular emphasis on dietary fibre fractions. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, 60(3), 251-259.
- Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M., 1997. Dietary fibres:nutritional and technological interest, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 8, 41-48.
- Thompson, J., Manore, M., 2005. Fiber, nutrition; an applied approach. Publishing at **Benjamin Cummings**, 1302 Sansome, St., San Francisco, p: 123-139.
- Vasanthan T., Gaosong J., Yeung J., Li J., 2002. Dietary fiber profile of barley flours as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, 77, 35–40.
- Wang W.M., Klopstein C.F., 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., Hatcher D.W., Toews R., Gawalko E.J., 2009. Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). **LWT-Food Science and Technology**, 42, 842-848.
- Yıldırım, Z., Ercan, R., 1996. Gıda Endüstrisinde Ekstruzyonla Pişirme Tekniğı. **Gıda Dergisi** 2, 9-16.



ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı, 1992 yılında Antakya/HATAY’da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise öğrenimini Antakya’da tamamladı. Lisans eğitimine Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümünde 2011 yılında başladı ve 2015 yılında mezun oldu. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında 2015 yılında Yüksek Lisansa başladı.

