

**ENZİME DİRENÇLİ NİŞASTA İLAVESİNİN GALETA
UNUNDAN ÜRETİLEN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN
FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**EFFECTS OF ENZYME RESISTANT STARCH
SUPPLEMENTATION ON PHYSICAL AND CHEMICAL
PROPERTIES OF EXTRUDATES PRODUCED FROM
BREAD CRUMBS**

MARKUS NAIL SAMRAY

PROF. DR. HAMİT KÖKSEL

Tez Danışmanı

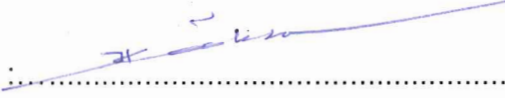
Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

MARKUS NAİL SAMRAY'ın hazırladığı “**Enzime Dirençli Nişasta İlavesinin Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Berrin ÖZKAYA
Başkan


.....

Prof. Dr. Hamit KÖKSEL
Danışman


.....

Prof. Dr. Ferruh ERDOĞDU
Üye


.....

Dr. Öğr. Üyesi F. Ceyda DUDAK ŞEKER
Üye


.....

Dr. Öğr. Üyesi M. Tuğrul MASATCIOĞLU
Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☒ **Tezimin/Raporumun 12/06/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

11 /06 / 2018

Markus Nail SAMRAY

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/06//2018

MARKUS NAIL SAMRAY

ÖZET

ENZİME DİRENÇLİ NİŞASTA İLAVESİNİN GALETA UNUNDAN ÜRETİLEN EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Markus Nail SAMRAY

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

Haziran 2018, 74 sayfa

Bu çalışmanın birinci bölümünde, ekmeklik buğday unundan ve aynı un kullanılarak üretilen ekmeklerden elde edilen galeta unu ile ekstrüde ürünler üretilmiştir. Sabit besleme hızı (4,0 kg/saat), vida hızı (200 rpm) ve namlu çıkış kalıbı çapı (2,0 mm) koşullarında, 3 farklı besleme nem içeriği (% 13, 15 ve 17) ve 3 farklı namlu çıkış sıcaklığı (120, 135 ve 150°C) kullanılmıştır.

Buğday unu ekstrüdatları (BUE'ler) ile galeta unu ekstrüdatları (GUE'ler), genişleme indeksi (Gİ), yığın yoğunluğu (YY), tekstür özellikleri (sertlik ve gevreklik), suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, besinsel lif (BL) ve enzime dirençli nişasta (EDN) içerikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Genel olarak GUE'lerin BUE'lere göre daha iyi fiziksel özelliklere sahip oldukları tespit edilmiştir. En iyi sonuçlar düşük besleme nem içeriğindeki (% 13) GUE'lerde alınmıştır. Diğer yandan çalışılan namlu çıkış sıcaklıklarının ürün özellikleri üzerinde sadece sınırlı bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Bu çalışmada, besleme nem içeriğinin ekstrüzyon ürünü fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Namlu çıkış sıcaklığının ekstrüdatların fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi, % 15 ve % 17 besleme nem içeriklerinde daha belirgin olmuştur. GUE'lerin BL içerikleri (% 5,75 - 7,28) BUE'lerin BL içeriklerinden (% 4,58 - 5,50) önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). EDN içerikleri de benzer bir eğilim göstermiştir. Bu sonuçlar ile galeta ununun ekstrüzyon pişirmede umut vadeden bir hammadde olduğu ve ekstrüzyonla galeta unundan katma değerli yeni bir ürün grubunun geliştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünün amacı, GUE'lere EDN ilave edilmesi suretiyle Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği'ne uygun olarak, "Lifi artırılmış" beyanı yapılabilecek fonksiyonel bir çerez gıda elde edilmesidir. Bu nedenle galeta ununa iki farklı ticari EDN (bir EDN2 ile bir EDN4) 3 farklı oranda (% 0, 15 ve 30) eklenerek GUE'ler üretilmiştir.

GUE'ler; GI, YY, tekstür özellikleri (sertlik ve gevreklik), suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, BL içeriği ve EDN içeriği bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. EDN ilavesi ile GI ve gevreklik değerleri azalmış, YY ve sertlik değerleri ise artmıştır. GUE'lerin BL içerikleri, ilave edilen EDN miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Genel olarak, GUE'lerin BL içerikleri artan besleme nem içeriği ile birlikte artış gösterirken, namlu sıcaklığının GUE'lerin BL içerikleri üzerine bir etkisi olmamıştır.

EDN ilavesi GUE'lerin özellikleri (GI ve YY gibi) üzerinde olumsuz bir etki göstermiş ve bu etki genellikle EDN4 için daha fazla olmuştur. Genel olarak EDN2 eklenen GUE'lerin gevreklik değerlerinin daha iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca EDN2 eklenen GUE'lerin suda çözünürlük değerleri, EDN4 eklenenlere göre daha yüksek bulunurken; su bağlama kapasitesi değerleri için ise bu eğilim tersine dönmüştür.

Çalışmada, endüstriyel fırınlardaki üretim hatalı ekmeklerin, yenilikçi fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılabileceği ve ekstrüzyon pişirmenin EDN eklenmiş galeta unlarının işlenmesinde iyi bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ekstrüzyon pişirme, besinsel lif, galeta unu, fonksiyonel gıda, enzime dirençli nişasta, yüksek lifli çerez.

ABSTRACT

EFFECTS OF ENZYME RESISTANT STARCH SUPPLEMENTATION ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF EXTRUDATES PRODUCED FROM BREAD CRUMBS

Markus Nail SAMRAY

Post Graduate, Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

June 2018, 74 pages

In the first part of this study, extrudates were produced from both bread wheat flour and bread crumbs obtained from the breads produced by using the same wheat flour. Three different feed moisture contents (13, 15 or 17%) and three different exit die temperatures (120, 135 or 150°C) were used at the constant extrusion parameters of feed rate (4.0 kg/h), screw speed (200 rpm) and die hole diameter (2.0 mm).

The wheat flour extrudates (WFE) and bread crumbs extrudates (BCE) were compared based on their expansion index (EI), bulk density (BD), textural characteristics (hardness and crispness), water solubility, water holding capacity, dietary fiber (DF) and resistant starch (RS) contents. In general, BCEs determined to have better physical properties than WFEs. The best results were obtained for BCEs produced at lower feed moisture contents (13%). On the other hand, the exit die temperatures studied were found to have only a limited effect on product properties.

In the present study, it was determined that the effect of feed moisture content on the physical properties of the extrudates was significant ($p < 0.05$). The effect of the die exit temperature on the physical properties of the extrudates was more pronounced at 15 and 17% feed moisture contents. DF contents of BCEs (5.75-7.28%) were significantly higher ($p < 0.05$) than those of WFEs (4.58-5.50%). Their RS contents also demonstrated a similar trend. The results proved that bread crumbs is a promising raw material in extrusion cooking and a new value added product group can be developed from bread crumbs by means of extrusion.

The aim of the second part of this study was to obtain a functional snack food by supplementing BCEs with RS and thus to meet the requirements of the Turkish Food Codex, Nutrition and Health Statement Regulations for the “increased fiber” declaration for foods. Therefore, BCEs were produced by supplementing bread crumbs with two different commercial RSs (a RS2 and a RS4) at three different ratios (0, 15 and 30%).

The BCEs were compared in terms of EI, BD, textural properties (hardness and crispness), water solubility, water binding capacity, DF content and RS content. RS addition decreased EI and crispness and increased BD and hardness values. The DF content of BCEs increased directly proportional to the amount of RS added. In general, the DF contents of BCEs increased with increasing feed moisture contents, while the die exit temperature had no significant effect.

RS supplementation had an adverse effect on the properties (e.g. EI and BD values) of BCEs which was generally higher for RS4. In general, RS2 supplemented BCEs had better crispness values. Furthermore, the water solubility values of RS2 supplemented BCEs were higher than RS4 supplemented ones; whereas for the water binding capacity values this tendency was reversed.

It can be concluded that, breads with manufacturing defects can be utilized in industrial bakeries for developing innovative functional food products and extrusion-cooking might be a good alternative for the processing of bread crumbs supplemented with RS.

Keywords: Extrusion cooking, dietary fiber, bread crumbs, functional food, resistant starch, high fiber snack

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren ilgi, destek, yardım ve bilgisini esirgemeyen ve bu çalışmanın gerçekleştirilmesini mümkün kılan, beni her zaman cesaretlendirerek teşvik eden ve güven veren, birlikte çalışmaktan onur duyduğum tez danışman hocam Prof. Dr. Hamit KÖKSEL'e,

Tezimin başta ekstrüzyon üretim aşaması olmak üzere her aşamasındaengin bilgi birikimi ve tecrübesiyle destek ve yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi M. Tuğrul MASATCIOĞLU'na,

Tezimin analiz bölümünde değerli vaktini ayırarak yardımlarını esirgemeyen ve tezin başarılı bir şekilde tamamlanmasında büyük katkısı olan Dr. Öğr. Üyesi Kevser KAHRAMAN'a,

Tez çalışmam boyunca yardıma ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Dilek SİVRİ ÖZAY, Prof. Dr. Arzu BAŞMAN ve Prof. Dr. İsmail Hakkı BOYACI'ya,

Tez çalışmamda hammadde olarak kullandığım ekmeklik buğday unu ve galeta ununu sağlayan ve tekstür analizleri konusunda yardımlarını esirgemeyen Ankara Halk Ekmek Fabrikası A.Ş. çalışanlarına,

Tez döneminde bana her türlü destek olan sevgili arkadaşlarım Gıda Yük. Müh. Oğuz ACAR, Gıda Yük. Müh. Buket ÇETİNER, Gıda Yük. Müh. Aslıhan ÜNÜVAR, Gıda Yük. Müh. Aslı CİHAN, Gıda Yük. Müh. Zeynep SÜMER, Dr. Esmail GHANBARİ, Gıda Yük. Müh. Eda AKTAŞ, Gıda Yük. Müh. Ferda ÜNSAL CANAY, Gıda Müh. Ahmet GÖRGÜÇ, Gıda Müh. Gizem ÖNER ve Gıda Müh. Türkan Gözde DEVŞİR'e,

Tez çalışmam boyunca işyerimde bana destek olan çalışma arkadaşlarıma ve özellikle izinler konusunda yardımlarını esirgemeyen Şube Müdür Yardımcım MS Uzm. Onur DEMİRDÖĞEN, Şube Müdürüm Albay Ayşegül CULHA ile Daire Başkanım Cengiz YILMAZ'a,

Her anımda yanımda olan, sonsuz desteği, sabrı, koşulsuz sevgisi ve anlayışıyla beni ayakta tutan, motive eden ve onunla geçirdiğim her dakikayı anlamlı kılan sevgili eşim Esin SAMRAY'a,

Varlığıyla bana güç veren, başarılarıyla beni gururlandıran, “iyi ki varsın” dediğim sevgili kızım Selin SAMRAY'a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Ekstrüzyon Pişirme Teknolojisi	4
2.2. Ekstrüzyon pişirme teknolojisinde malzemelerin fonksiyonel rollerine göre sınıflandırılması	7
2.3. Ekstrüzyon pişirme teknolojisinde işlem parametreleri	9
2.4. Ekstrüzyon ürünü özellikleri ve bu özellikleri etkileyen etmenler.....	10
2.4.1. Genişleme indeksi	10
2.4.2. Yığın yoğunluğu	13
2.4.3. Tekstür özellikleri	15
2.4.4. Suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi.....	17
2.5. Besinsel lif.....	19
2.5.1. Enzime dirençli nişasta (EDN)	20
2.6. Ekstrüzyon pişirme işleminin besinsel liflerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisi	21
2.7. Besinsel lif ilavesinin ekstrüzyon ürün özelliklerine etkisi	22
2.8. Ekstrüzyon işleminde hammadde olarak gıda sanayi yan ürünlerinin kullanımı ve katma değer yaratılması	23
2.8.1. Ekstrüzyon işleminde hammadde olarak ekmek sanayi yan ürünlerinin kullanımı ve katma değer yaratılması	24
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1. Materyal	26
3.2. Metot.....	26
3.2.1. Ekstrüzyon Ürünlerinin Üretimi	26

3.2.2. Yapılan Analizler	28
3.2.2.2. Yığın Yoğunluğu	28
3.2.2.3. Tekstür Özellikleri	28
3.2.2.4. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi	30
3.2.2.5. Toplam Besinsel Lif İçeriği.....	30
3.2.2.6. Enzime Dirençli Nişasta İçeriği	31
3.2.3. İstatistiksel Analiz	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Ekmeklik Buğday Unu ve Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürün Özelliklerinin Karşılaştırılması	32
4.1.1. Genişleme indeksi (Gİ)	33
4.1.2. Yığın yoğunluğu (YY).....	36
4.1.3. Tekstür özellikleri	38
4.1.4. Suda çözünürlük	41
4.1.5. Su bağlama kapasitesi.....	43
4.1.6. Besinsel lif içeriği	45
4.1.7. Enzime dirençli nişasta (EDN) içeriği	46
4.2. Farklı Oranlarda EDN İlave Edilen Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması	48
4.2.1. Genişleme indeksi (Gİ)	48
4.2.2. Yığın yoğunluğu (YY).....	51
4.2.3. Tekstür özellikleri	53
4.2.4. Suda çözünürlük	55
4.2.5. Su bağlama kapasitesi.....	57
4.2.6. Besinsel lif içeriği	58
4.2.7. EDN içeriği.....	60
5. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Tek vidalı bir gıda ekstrüderi	6
Şekil 2.2. Ekstrüzyon pişirmede hammadde özellikleri, işlem değişkenleri ve ürün özelliklerinin etkileşimi	10
Şekil 3.1. Çift vidalı ekstrüder	26
Şekil 3.2. Vida konfigürasyonu	27
Şekil 3.3. Tekstür analiz cihazında ekstrüde ürün için kullanılan tipik kesme grafiği	29
Şekil 4.1. Üretilen buğday unu ve galeta unu ekstrüzyon ürünlerinin resimleri	32
Şekil 4.2. % 0, % 15, ve % 30 EDN ilave edilen galeta unu kullanılarak farklı namlu sıcaklığı ve besleme nemi değerlerinde üretilen ekstrüzyon ürünlerine ait resimler	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Üretimlerde kullanılan ekstrüzyon sistem parametreleri	27
Çizelge 4.1. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama genişleme indeksi değerleri	33
Çizelge 4.2. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri	37
Çizelge 4.3. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri	39
Çizelge 4.4. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama suda çözünürlük değerleri	42
Çizelge 4.5. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri	43
Çizelge 4.6. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri	45
Çizelge 4.7. Buğday unu ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri	46
Çizelge 4.8. Galeta unu ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri	47
Çizelge 4.9. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama genişleme indeksi değerleri	49
Çizelge 4.10. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri	52
Çizelge 4.11. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri	54
Çizelge 4.12. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama suda çözünürlük değerleri	56
Çizelge 4.13. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri	57
Çizelge 4.14. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri	59
Çizelge 4.15. Farklı oranlarda Hi-Maize ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BL	Besinsel lif
BUE	Buğday unu ekstrüzyon ürünü
EDN	Enzime dirençli nişasta
EDN2	Tip 2 enzime dirençli nişasta
EDN4	Tip 4 enzime dirençli nişasta
Gİ	Genişleme indeksi
GUE	Galetta unu ekstrüzyon ürünü
SME	Spesifik mekanik enerji
TMO	Toprak Mahsulleri Ofisi
YY	Yığın yoğunluğu

1. GİRİŞ

Günlük diyetimizde önemli bir yer tutan ekmek, aynı zamanda en çok israf edilen ürünlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Fırıncılık ürünlerinde israf oranının toplam üretim miktarının % 7 - 10'u civarında olduğu tahmin edilmektedir. Buna göre dünyadaki yıllık ekmek üretiminin, 2011 yılı rakamlarına göre, yaklaşık 125 milyon ton olduğu göz önüne alındığında küresel bazda israf edilen ekmek miktarının yıllık 12,5 milyon tonu bulunduğu görülmektedir. Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) tarafından yürütülen çalışmalar, 2013 yılında ülkemizde israf edilen ekmek miktarının tahminen 1,79 milyar adet olduğunu ve bu konuda en büyük pay sahibinin % 62,1 ile üretim yerleri (fırınlara) olduğunu göstermektedir.

Fırınlarda meydana gelen israfın nedenleri arasında üretim kaynaklı hatalar (az pişme, fazla pişme veya şekil bozuklukları) ile satılmayan iade ekmekler önemli bir yer almaktadır. Endüstriyel fırınlar için bu tarz atıkların işlenerek değerlendirilmesi önemli bir problem teşkil etmektedir. Genellikle bu ekmekler kurutma, öğütme ve eleme aşamalarından geçirildikten sonra galeta unu olarak pazarlanmaktadır. Galeta unu çoğunlukla kızartma ürünlerinde kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Çerez gıdalar başta çocuklar olmak üzere, tüketicilerin büyük bir bölümü tarafından zevkle tüketilen popüler bir gıda grubudur. Bu grupta ekstrüde ürünler önemli bir paya sahiptir. Bunlar sahip oldukları gevreklik, ilgi çekici görünüş ve tat, küçük boyut ve şekil çeşitlilikleri gibi özel duysal ve fiziksel özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ekstrüde çerez gıdaların nihai tekstürü ve diğer kalite parametreleri büyük ölçüde kullanılan hammaddelere bağlıdır. Bu kapsamda hububat ürünleri gibi nişastalı malzemeler en iyi hammaddeler olarak ön plana çıkmaktadır [1][2].

Ekstrüzyon, gıda hammaddelerinin belirli koşullar (yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvveti ile nispeten düşük besleme nem içeriği) altında, belli bir hızda bir kalıptan geçmeye zorlandığı ve bu suretle yeni fiziksel ve kimyasal özellikler kazandığı, kesikli olmayan (sürekli) bir pişirme ve şekillendirme işlemidir. Hammaddeler ekstrüder içerisindeki vida-namlu düzeneğinde oluşturulan yüksek sıcaklık, basınç ve kesme kuvveti şartlarında termomekanik olarak pişirilerek erimiş halde bir kütle haline gelmekte ve sonra bir kalıptan geçirilerek nihai şekil ve

yapısına kavuşturulmaktadır. Sağladığı otomatik kontrol, yüksek kapasite, sürekli işleme, yüksek verimlilik ve düşük maliyet imkânı sebebiyle, ekstrüzyon pişirme yönteminin popüleritesi diğer işleme yöntemlerine göre giderek artmaktadır.

Bilimsel çalışmalar, artan besinsel lif tüketimine bağlı olarak kalp damar hastalıkları, şeker, obezite ve bazı kanser türlerinin ortaya çıkma riskinin, azaldığını göstermektedir [3]. Besinsel liflerin kalın bağırsak sağlığının korunmasına ve kabızlığın önlenmesine de katkı sağladığı bildirilmektedir [4].

Ekstrüde ürünlere besinsel lif katılması genellikle ürünün genişlemesinde azalma, yoğunluğunda artış, yapısında sertleşme ve gevrekliğinde azalma gibi istenmeyen etkilere neden olmakta ve bunun sonucunda tüketici tarafından daha az beğenilen bir ürün elde edilmektedir [5]. Besinsel liflerin bu istenmeyen etkileri büyük ölçüde nişasta ile olan etkileşimleri ile moleküler ve fizikokimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum farklı besinsel liflerin ekstrüde ürünler üzerindeki etkilerinin incelenmesine yol açmıştır [5].

EDN, nişastanın ince bağırsakta D-glukoz birimlerine hidrolize olmayan, ancak kalın bağırsakta fermente olabilen kısmı olarak tanımlanmaktadır [6]. Dünyada son yıllarda EDN, besinsel lif içeriğinin artırılması amacıyla ticari gıdalara ilave edilmiş ve önemi gittikçe artan bir fonksiyonel gıda bileşeni haline gelmiştir. EDN geleneksel besinsel liflerden daha az su tutmakta ve bu şekilde yapışkanlığa neden olmadığından gıdanın daha kolay işlenmesine imkân vermektedir. Çoğu uygulamada gıdanın tadında, kokusunda ve görünüşünde bir değişikliğe neden olmadığından tüketici taleplerini karşılamaktadır [7].

Bu çalışmanın amacı ekmeklik buğday unu ve bu undan üretilen ekmeklerden elde edilen galeta unundan, aynı üretim parametreleri kullanılarak ekstrüde ürünlerin üretilmesi ve bunların fiziksel ile kimyasal özelliklerinin karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda 3 farklı besleme nem içeriği ve 3 farklı kalıp çıkış sıcaklığında ekstrüde ürünler üretilmiştir. Elde edilen örnekler; genişleme indeksleri, yığın yoğunlukları, tekstür özellikleri, suda çözünürlük değerleri, su bağlama kapasiteleri, toplam besinsel lif değerleri ve EDN içerikleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca galeta unundan elde edilen ekstrüde ürünlerin besinsel lif içeriklerinin dışarıdan farklı oranlarda EDN ilave edilerek artırılması suretiyle, ürünlere fonksiyonel özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Ekstrüde ürünlerin

fiziksel özelliklerinde EDN ilavesinden dolayı meydana gelebilecek olumsuzlukların en düşük seviyede tutulması için farklı sistem parametrelerinde üretimler gerçekleştirilerek parametrelerin optimize edilmesi amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ekstrüzyon Pişirme Teknolojisi

Gıda sanayinde "ekstrüzyon pişirme" olarak bilinen ve son yıllarda popülaritesi giderek artan ekstrüzyon teknolojisi, plastik sanayinde uzun zamandır kullanılmakta olan bir teknolojidir [8].

Ekstrüzyon pişirme, hammaddelerin dönüştürülmesinde kullanılan koşullar dikkate alındığında, gıda ve yem işleme yöntemleri arasında benzeri olmayan bir işleme şeklidir. Genel olarak ifade edildiğinde; bitkisel hammaddelerin ekstrüzyon pişirme yöntemi ile işlenmesi, öğütülmüş materyalin yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında (20 MPa'lık basınç, 200 °C'luk sıcaklık değerlerine kadar) ekstrüzyonunu anlatmaktadır. Geleneksel pişirme veya hamur işleme teknikleri ile karşılaştırıldığında nispeten düşük nem içerikli bir işleme şeklidir. Bu düşük nem seviyelerine rağmen, ekstrüder içerisinde vidanın dönmesi ile ortaya çıkan kesme gerilimi ve namlunun ısıtılması sonucunda hammaddeler erime noktası veya plastikleşme noktasına ısıtılmakta, reolojik durumları değişerek erimiş akışkan bir kütleye dönüşmektedir. Erimiş haldeki kütle ekstrüder içerisinde çeşitli işlemlere tabi tutularak karıştırılmakta, yüksek basınç altında bir kalıptan geçirilmekte ve genişleyerek son şeklini almaktadır. Bu işlem sonucunda, kullanılan hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden tamamen farklı yeni fonksiyonel özelliklere sahip ekstrüzyon ürünleri elde edilebilmektedir. Bu olağandışı işlem koşulları nedeniyle hammaddelerin partikül büyüklüğü, sertlik, partiküllerin sürtünme özellikleri ile sıvıların kayganlaştırma ve plastikleştirme gibi fiziksel özellikleri, ekstrüzyon pişirme yönteminde diğer gıda ve yem işleme yöntemlerine nazaran daha fazla önem kazanmaktadır [8][9].

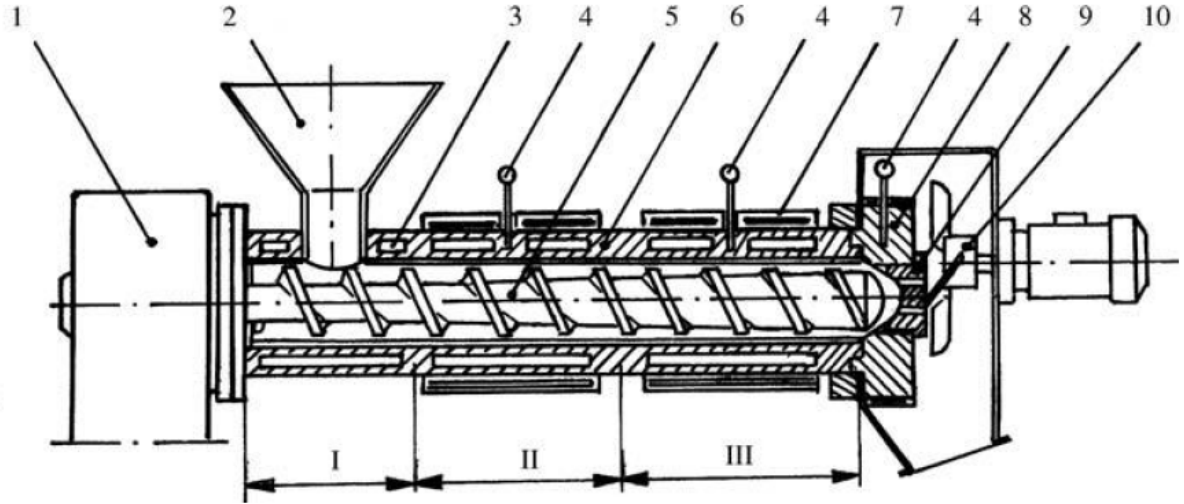
Ekstrüzyon pişirme yönteminin son yıllardaki popülaritesinin artmasında etkili olan faktörler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- ✓ Çok yönlülük: Hammadde, ekstrüder çalışma koşulları ve namlu çıkış kalıbında yapılan değişiklikler ile, birçoğu başka bir işlemle kolayca üretilemeyen geniş bir ürün yelpazesi içerisinde yer alan ürünler üretilmektedir [9].

- ✓ Düşük maliyet: Diğer pişirme ve şekillendirme işlemlerine nazaran daha düşük işletme maliyetlerine ve daha yüksek verimlilik değerlerine sahiptir [9].
- ✓ Ürün kalitesi: Hammaddelerin yapısında bulunan ısıya duyarlı bileşenlerinin birçoğunun korunmasını sağlayan yüksek sıcaklık/kısa süre uygulamasını içermektedir. Yüksek basınç altında pişirme imkânı sunması, hassas gıda ve yemler için bir avantaj teşkil etmektedir. Bunun nedeni, sadece kısa bir süre için yüksek sıcaklıklara maruz kalan proteinler, aminoasitler, vitaminler, nişasta veya enzimlerde istenmeyen jelatinizasyon/denatürasyon etkisinin kısıtlanmasıdır [8][9].
- ✓ Çevre dostu olma özelliği: Düşük nem içerikli bir işlem olması nedeniyle sıvı atık oluşmamakta, bu şekilde su arıtma maliyeti ve çevre kirliliği seviyesi düşük olmaktadır [9].

Ekstrüzyon pişirme yöntemi, ekonomik olarak büyük bir önem taşımayan ve hatta atık olarak kabul edilen hammaddelerin kullanılmasına da imkân tanımaktadır. Bu açıdan uygulama kapsamı neredeyse sınırsızdır. Ekstrüzyon pişirme tekniğinin biyokütlenin, maya fabrikası atıklarının, damıtma tesisi ve biracılık atıklarının işlenmesinde; ayrıca meyve posaları ile sütçülük ve fırıncılık atıklarının değerlendirilmesinde kullanışlı olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır [8].

Ekstrüzyon pişirme işlemi, en etkin bölümü namlu içerisine oturtulan bir veya bir çift vida olan gıda ekstrüderlerinde (Şekil 2.1.) gerçekleştirilmektedir. İşlenen materyalin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerindeki değişimin derecesi, ekstrüzyon işleminin parametrelerine ve ekstrüderin çalışma kapasitesine bağlıdır [8].



Şekil 2.1. Tek vidalı bir gıda ekstrüderi: 1 motor, 2 besleyici, 3 soğutma ceket, 4 ısı ölçer (thermo couple), 5 vida, 6 namlu, 7 ısıtma ceket, 8 baş, 9 kalıp, 10 bıçak, I aktarma bölümü, II sıkıştırma bölümü, III eritme ve plastikleştirme bölümü [8].

Günümüzde ekstrüzyon pişirme yöntemi, en basit çerez gıdalardan yoğun biçimde işlem gören et analoglarına kadar değişen pek çok gıda maddesinin üretiminde kullanılmaktadır. Bu gıda maddelerinin en popüler olanları;

- ✓ Ekstrüde çerez ürünleri, yenmeye hazır tahıl gevrekleri ve tahıllardan farklı şekil, renk ve tatlarda üretilen kahvaltılık gıdalar;
- ✓ Kızartılmış veya sıcak hava ile genişletilmiş çerez üretimine yönelik ara ürün çerez pelletleri, ön pişirme uygulanmış makarna;
- ✓ Bebek mamaları, ön pişirme uygulanmış unlar, kullanıma hazır konsantreler, fonksiyonel bileşenler;
- ✓ Evcil hayvan yemleri, balık yemi, yem konsantreleri;
- ✓ Et analoglarının üretiminde kullanılan şekillendirilmiş bitkisel proteinler (genellikle soya fasulyesinden);
- ✓ Galeta unu;
- ✓ Eczacılık, kimya, kağıt ve biracılık sektörlerine yönelik barotermal işlenmiş ürünler [8].

2.2. Ekstrüzyon pişirme teknolojisinde malzemelerin fonksiyonel rollerine göre sınıflandırılması

Guy Sınıflandırma Sistemi'ne göre ekstrüzyon pişirmede kullanılan bileşenler, fizikokimyasal bir yaklaşım kullanılarak fonksiyonel rollerine göre 6 gruba ayrılabilir [10]. Bunlar;

- a. Yapı oluşturan malzemeler: Ekstrüde ürünün yapısı, biyopolimerlerin erimiş haldeki akışkan bir kütle haline getirilmesi ve bunun içerisinde, bir köpük elde edecek şekilde su buharı kabarcıklarının oluşturulması ile meydana gelmektedir. Biyopolimer filmi, atmosfer basıncında süper ısıtılmış suyun çok hızlı çıkışı sırasında kabarcıkların genişlemesine imkân tanınmalıdır. Erimiş haldeki akışkan biyopolimer kütlesi gaz kabarcıklarının hücre duvarlarını oluşturmakta ve onların, patlayana kadar büyümelerini sağlamaktadır. Genişlemeden sonra, buharlaşmanın neden olduğu sıcaklıktaki hızlı azalma ile nem kaybından kaynaklanan viskozitedeki artış hücresel yapıyı sertleştirmektedir. Viskozitedeki hızlı artışı camsı halin oluşması izler. Nişasta polimerleri bu fonksiyonu çok iyi yerine getirmekte ve buğday, mısır, pirinç veya patates nişastasından iyice genişlemiş hücresel yapılar elde edilebilmektedir [10].

Yapı oluşturan polimerler, ekstrüde ürünün maksimum genişlemesine ulaşması ve gaz hücrelerinin çatlamasından sonra ürünün büzülmesini önleyecek veya kontrol edecek yeterli viskoziteyi sağlayabilecek bir molekül ağırlığına sahip olmalıdır. Bu noktada ekstrüde ürün viskozitesinin çok yüksek olması halinde, üründe hızlı büzülme ve genişlemede belirgin kayıplar söz konusu olacaktır [10].

- b. Dağınık-fazlı dolgu malzemeleri: Nişastaca zengin bir reçeteden üretilen bir ekstrüde çerez ürününün mikroskopik incelemesi yapıldığında, nişasta polimerinden oluşan sürekli bir faz ile birlikte, bu yapının içerisinde dağınık olarak yer alan çok sayıda fazın bulunduğu görülecektir. Bu dağınık fazların en belirgin olanlarını, beslenen hammadde içerisinde mevcut olan proteinler ile selüloz veya kepek gibi lifli malzemeler oluşturmakta ve bunlar, sürekli nişasta fazı içerisinde ayrı fazlar meydana getirmektedir. Bu fazların bir ekstrüde üründeki şekil ve boyutları, onların özgün partikül boyutuna ve

ekstrüzyon işlemi sırasında kesme gerilimine karşı gösterdikleri dirence bağlıdır [10].

% 30'dan daha düşük oranlarda ilave edilen ve suda hidrate olup yumuşak hamurlar oluşturan gluten gibi proteinler, işlemin şiddeti oranında vida tarafından parçalanır. Albüminler gibi suda çözünen proteinler ise yüksek sıcaklık ile birlikte koagüle olur ve vida tarafından benzer şekilde parçalanır [10].

Ekstrüzyon pişirme reçetelerinde bulunan lifli malzemeler, daha çok tahıl ve tohumların kabuk ve kepek bölümlerinden gelen hemiselüloz, selüloz ve lignin gibi maddelerdir. Bu malzemeler ekstrüzyon işlemi boyunca sert ve stabil kalma eğilimi göstermekte ve boyutça fazla ufalanmamaktadır [10].

Dağınık fazlı malzemelerin varlığı ekstrüzyon işleminin doğasını iki şekilde etkilemektedir: İlk olarak bunların hücre duvarları içerisindeki varlığı, nişasta filminin genişleme potansiyelini azaltmaktadır. İkinci etki ise, akışkanın namlu çıkış kalıbını terk ederken elastik geri tepme veya kalıpta genişleme etkisiyle ilgilidir. Saf nişastadan oluşan erimiş haldeki akışkan kütleler çok elastiktirler ve namlu çıkış kalıbına girip deforme olduklarında elastik enerjiyi (elastikiyetlerini) moleküler yapılarında depolarlar. Bu enerji, akışkanın namlu çıkış kalıbından çıkışı sırasında serbest kalır ve akışkanın kalıp içerisindeki akış yönüne dik yönde bir genişleme etkisine (die swell - kalıpta genişleme) neden olur. Protein veya kepek içeren buğday nişastasının ekstrüzyonunda, protein veya kepek oranı arttırıldıkça kalıpta genişleme azalmakta, belli bir oranın üzerine çıkıldığında ise tamamen kaybolmaktadır [10].

- c. Plastikleştirici ve kayganlaştırıcı olarak davranan bileşenler: Düşük nem içerikli ekstrüzyon pişirme işlemlerinde ilk fiziksel etkileşimler sürtünme ve mekanik enerji kayıplarına yol açar. Bu durum, hamur kütlelerinin ısınmasını sağlar. Düşük nem içerikli sistemlerde bu ısınma çok hızlı olmakta; o kadar ki % 25 nem içeriğinde, 150°C'lik bir işletme sıcaklığına ulaşmak için dışarıdan herhangi bir ilave ısıtmaya ihtiyaç dahi duyulmaz. Su gibi bileşenlerin ilavesi, kuru polimer formlarının plastikleştirilmesi ve katı halden, deforme olabilen plastik akışkanlara dönüştürülmesi suretiyle etkileşimlerin azalmasını sağlar. Suyun artan oranlarda eklenmesi mekanik enerji kaybını ve buna bağlı olarak sisteme olan ısı girişini azaltır [10].

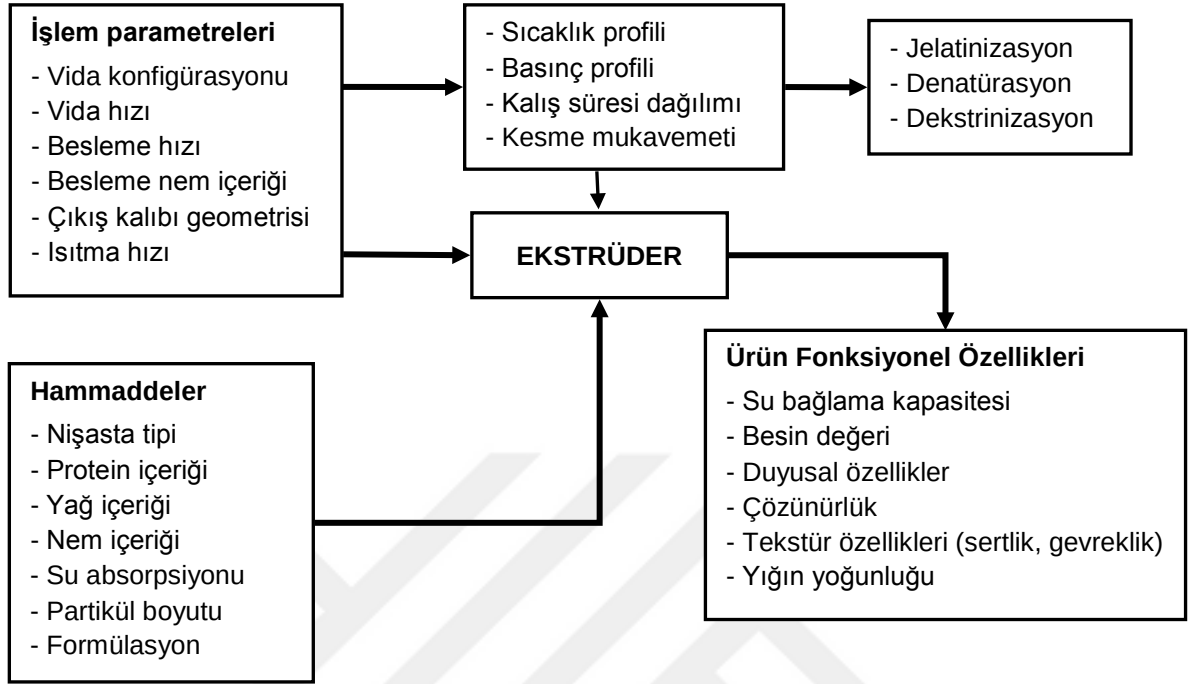
Nişasta, lif ve protein partikülleri ekstrüderin, vida sistemi vasıtasıyla mekanik olarak kesme gerilimine maruz kalarak fiziksel formlarını değiştirir. Uygulanan kesme geriliminin seviyesi, sıvı ve katı yağların varlığı ile azaltılabilir. Bu malzemeler hem hamur kütlesi içerisinde etkileşen partikülleri, hem de namlu ve vidaların metal yüzeylerine sürtünen partikülleri kayganlaştırır [10].

- d.   z  nen katılar: şeker ve tuzlar gibi düşük molekül ağırlığına sahip bazı malzemeler reçeteye tatlandırma veya nem tutma amaçlı ilave edilebilir. Çözünebilir olan bu malzemeler, ekstrüzyon pişirme işleminin   n karıştırma safhasında serbest hamur suyunda   z  n  r. Bunların ekstrüzyon işlemi üzerindeki etkileri konsantrasyonlarına ve nişasta ile protein polimerleriyle olan kimyasal etkileşimlerine bağlıdır. Bir reçeteye eklenen tüm küçük moleküller diğer bileşenlerin seyrelmesine neden olur. Bunların nişastanın yerine eklenmesi durumunda büyük polimerlerin viskoz etkisi azalacak ve su seviyesi d  ş  r  lmedik  e, erimiş haldeki kütlenin viskozitesi azalacaktır. Polimerler   zerine sadece kuvvetli asitlerin doğrudan bir etkisi bulunmakta ve bu etki nişastanın parçalanması şeklinde olmaktadır [10].
- e.   ekirdekleştirici (kabarcık oluşturucu) maddeler: Toz kalsiyum karbonat ile talkın (magnezyum silikat) genişleyen bir ekstrüzyon ürününde kabarcık sayısını arttırdığı iyi bilinmektedir. Hamur içerisine; çözünmeden kalan, ince toz haline getirilmiş bir malzeme ilavesi ile; kabarcık oluşumunda ihtiyaç duyulan enerji azalması için gerekli yüzeyler sağlanmakta ve böylece kabarcıkların sayısı arttırılabilmektedir [10].
- f. Tatlandırıcı (  eşni verici) maddeler: Tatlandırıcılar ekstrüzyon esnasında eklenebileceği gibi, ekstrüzyon sonrası ikincil işlemler vasıtasıyla da ilave edilebilmektedir. Ayrıca termal tepkimeler sonucunda tat oluşumuna yol açan öncül maddeler (precursor) de ekstrüderde istenen tadın oluşumu için ilave edilebilmektedir [10].

2.3. Ekstrüzyon pişirme teknolojisinde işlem parametreleri

Ekstrüzyon pişirmede biyopolimerler (nişasta ve proteinler), beklenen ekstrüde ürün yapısına ve modifiye nişasta ve/veya protein için istenen belirli fonksiyonel özelliklere ulaşılması için su ile plastikleşerek mekanik ve termal enerji işlemine

maruz kalmaktadır. Hammadde özellikleri, işlem değişkenleri ve ürün özellikleri arasındaki etkileşimler Şekil 2.2.'de verilmiştir [11].



Şekil 2.2. Ekstrüzyon pişirmede hammadde özellikleri, işlem değişkenleri ve ürün özelliklerinin etkileşimi [11].

Ekstrüzyon işlemlerinin kontrolü; kütle, enerji ve momentum aktarımları arasındaki güçlü etkileşimler ile birlikte son ürün özelliklerini etkileyen karmaşık fizikokimyasal dönüşümler nedeniyle zordur. Ekstrüzyon işleminin temel parametreleri besleme bileşimi, besleme nem içeriği, besleme hızı, vida hızı, namlu sıcaklık profili ile vida ve namlu çıkış kalıbı geometrisidir. Ekstrüzyon pişirme uygulamalarının çoğunda son ürün kalitesinin dolaylı olarak takibi için kalıp basıncı, kalıp sıcaklığı ve motor torku ölçülen işlem çıktıları olarak kullanılmaktadır. Besleme hızı, besleme nem içeriği, vida hızı ve namlu sıcaklığı ise işlem girdisi olan değişkenlerdir [11].

2.4. Ekstrüzyon ürünü özellikleri ve bu özellikleri etkileyen etmenler

2.4.1. Genişleme indeksi

Genişleme indeksi, ekstrüzyon ürününün namlu çıkış kalıbından çıkışı esnasında meydana gelen genişlemenin derecesini tarif etmektedir [12].

Genişlemenin derecesi oldukça değişkenlik arz eden bir konudur ve hem uygulanan işlem parametrelerine, hem de besleme malzemesinin özelliklerine

bağlıdır. İşlem parametreleri ile besleme malzemesinin ana bileşenleri, ekstrüzyon işlemi sırasında gerçekleşecek fiziksel ve kimyasal değişikliklerin tipini ve boyutunu belirlediğinden, genişleme derecesine önemli miktarda etki edebilme potansiyeline sahiptir [13].

Genişleme indeksi, artan besleme nem içeriği ile birlikte keskin bir şekilde azalmaktadır. Ekstrüde ürünün genişlemesi, ekstrüder içerisindeki erimiş haldeki kütlenin viskozite ve elastikiyet özelliklerine bağlıdır. Besleme nem içeriğindeki artış ile, erimiş haldeki kütle ile namlu/vida arasındaki sürtünme azaldığından, kütlenin sıcaklığı düşmektedir. Bu durumun nişasta jelatinizasyonu üzerinde olumsuz etkisi bulunmakta ve böylece ürün genişlemesi azalmaktadır [12].

Ekstrüde ürünün genişleme miktarı, namlu çıkış kalıbı ile atmosfer arasındaki basınç farkına bağlı olduğu kadar; çıkan ürünün, gerçekleşmiş olan genişlemeyi sürdürebilme yeteneğine de bağlıdır. Bunların ikisi de kısmen erimiş haldeki kütlenin viskozitesi ile ilişkilidir. Genellikle yüksek besleme nem içeriklerinde, düşük besleme nem içeriklerine göre daha düşük viskoziteler söz konusu olmaktadır. Bundan dolayı düşük besleme nem içerikleri için basınç farkı daha büyük olmakta ve genişlemesi fazla olan ürünler elde edilmektedir [14].

Ekstrüzyon koşullarının mısır unu ekstrüzyon ürünlerinin özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, besleme hızı ve besleme nem içeriğinin ekstrüzyon ürünü genişlemesi üzerine etkisinin önemli bulunduğu bildirilmiştir. Besleme hızının artırılması ile genişlemenin önemli derecede arttığı, buna karşılık besleme nem içeriğindeki artışın genişleme indeksinde keskin bir düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir [15].

Sebio ve Chang [16] tarafından tatlı patates unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinde, işlem parametrelerinin ürün özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, daha yüksek namlu sıcaklığı ve daha düşük besleme nem içeriği değerlerinde genişleme indeksi değerlerinin artış gösterdiği bildirilmiştir.

Mısır nişastası ekstrüzyon işleminde farklı amiloz içeriklerinin ürün genişleme özelliklerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, en fazla genişlemenin % 50 amiloz içeren mısır nişastası ekstrüzyon ürünlerinde gözlemlendiği bildirilmiştir [17].

Mısır irmiği üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme özelliklerini inceleyen Ali et al. [18], radyal genişlemenin çalışma kapsamındaki tüm sıcaklık değerlerinde

(100 °C - 200 °C aralığında) artan vida hızı ile birlikte artış gösterdiğini; öte yandan düşük vida hızlarında (< 160 rpm) radyal genişlemenin 160 °C'a kadar olan sıcaklık artışları ile birlikte arttığını, bu değerin üzerine çıkıldığında ise azaldığını bildirmiştir. Vida hızının 160 rpm üzerine çıkarılması durumunda ise radyal genişlemenin sıcaklığın artması ile birlikte azaldığı rapor edilmiştir [18].

Sıcaklığın ekstrüzyon ürünü genişlemesi üzerine etkisi konusunda Chinnaswamy ve Hanna [17] ve Hagenimana et al. [19] tarafından sırasıyla mısır nişastası ve pirinç unu için benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Chinnaswamy ve Hanna [17] mısır nişastasında genişlemenin, namlu sıcaklığının 110 °C'den 140 °C'ye çıkarılması ile artış gösterdiğini; ancak sıcaklığın daha fazla artırılması ile azaldığını bildirmiştir. Araştırmacılar genişlemedeki artışı, nişasta jelatinizasyonunun 110 °C - 140 °C aralığında daha yüksek seviyede gerçekleşmesine; azalışı ise nişastanın daha yüksek sıcaklıklardaki moleküler parçalanmasına bağlamışlardır [17].

Yuliani et al. [20] da yüksek sıcaklıklarda genişlemenin azaldığını bildirmiştir. Araştırmacılar bu durumu açıklamak için iki gerekçe önermiştir. Bunlardan birincisine göre, yüksek sıcaklıkta hamur viskozitesinin azalmasına bağlı olarak gözenek gelişiminde artış olmakla beraber, oluşan gözeneklerin duvarları düşük viskozite nedeniyle daha fazla genişleyip incelmekte ve içerisindeki buhar basıncına karşı yeterli direnci gösterememektedir. Bunun sonucunda ekstrüzyon ürününün gözenek duvarları çatlamakta ve hızlı basınç kaybına bağlı olarak çökmektedir. İkinci olarak ise, yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon ürün yüzeyinin hızlı soğumasının genişlemede bir azalma ile sonuçlanacak şekilde gözenek büyümesini durdurabileceği belirtilmiştir [20].

Buğday unu ve tam mısır unu ekstrüzyon ürünlerinde su enjeksiyon miktarı, namlu sıcaklığı ve vida hızı gibi sistem parametrelerinin genişleme üzerine etkileri Ryu ve Ng [21] tarafından çalışılmış ve su enjeksiyon hızının azalması ve/veya namlu sıcaklığın artması ile birlikte kesitsel genişleme indeksi değerlerinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir. Besleme malzemesinin nem içeriği namlu içerisindeki erimiş haldeki kütlenin reolojik özelliklerini etkileyerek buhar basıncını oluşturmaktadır. Böylece, erimiş haldeki kütlenin namlu çıkış kalıbından çıkışı esnasında daha fazla nem hızla uzaklaşmaktadır. Bununla birlikte erimiş haldeki kütlenin viskozitesi kabarcık büyümesini etkilediği gibi, oluşmuş olan kabarcıkların büzülmesinde de etkilidir. Daha yüksek nem içeriği değerlerinde erimiş haldeki

kütlenin viskozitesi daha düşük olmakta; bu nedenle kalıp çıkışı esnasındaki su buharının ani uzaklaşması sırasında kabarcıklar daha fazla büzülmekte ve çatlamaktadır. Buna ilave olarak daha yüksek nem içeriğine veya daha düşük viskozite değerlerine sahip kütlelerin daha düşük bir camsı geçiş sıcaklıkları olduğundan, kabarcıkların sertleşmesi (set olması) sırasındaki kabarcık çatlaması artmaktadır [21].

Hashimoto ve Grossmann [22], farklı oranlarda tapyoka lifi içeren tapyoka nişastası ekstrüzyon ürünlerinde farklı lif oranlarının, namlu sıcaklıklarının, nem içeriklerinin ve vida hızlarının ürün kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada besleme malzemesi içerisindeki tapyoka lifi oranının artırılması ile ürünlerdeki genişlemenin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun nedeni olarak lif varlığında hava hücresi duvarlarının lifler tarafından çatlatılması ve bu durumun hava hücrelerinin potansiyelleri kadar genişleyememesi gösterilmiştir [22][23]. Çalışma sonucunda ayrıca artan namlu sıcaklıklarının ve 150 rpm ve daha yüksek vida hızlarında yapılan üretimler için artan nem içeriklerinin radyal genişleme indekslerinde düşüşe neden oldukları ifade edilmiştir [22].

Ekstrüzyon parametrelerinin kavuzsuz arpa ekstrüzyonu ürün özellikleri üzerine etkilerini araştıran Köksel et al. [24], genişleme indeksi değerinin besleme nem içeriği ile ters orantılı olarak değişim gösterdiğini ifade etmiştir.

2.4.2. Yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu, çoğu ekstrüzyon ürününde ambalaj dolumunun hacim yerine ağırlık üzerinden yapılıyor olması nedeniyle, ekstrüzyon ürünlerinin ticari olarak üretiminde önemli bir kalite kriteridir. Üretim süresince yığın yoğunluğu değerinde yaşanabilecek dalgalanmalar, ambalajın tam olarak dolmaması veya ürünün taşması sonucunu doğurabilmekte ve bu nedenle düzenli olarak takip edilmesi gerekmektedir [11].

Radyal genişleme indeksi sadece ekstrüdat akışına dik doğrultudaki genişleme ile ilgili bir fikir vermekten ziyade, yığın yoğunluğu tüm doğrultulardaki genişlemeyi hesaba katan bir kriterdir [14][25][26][27].

Ekstrüzyon ürünlerinde genişleme derecesinin tarif edilmesinde yığın yoğunluğu genişleme indeksi ile birlikte değerlendirilmektedir [12]. Genişleme indeksi ile yığın

yoğunluğu arasında ters orantılı bir ilişki olduğu literatürde birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir [1][24][28][29][30][31][32].

Ekstrüzyon pişirme işleminde, besleme nem içeriğinin yükseltilmesi ile birlikte ürünlerin yığın yoğunluklarında artış meydana geldiği, farklı hammaddeler ile çalışmış olan birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Bu kapsamda çalışılmış olan hammaddelerden bazıları; pirinç-börülce-yer fıstığı karışımları [12], yağsız soya unu-mısır unu karışımları [29], tam tane durum buğdayı [33], mumsu kavuzsuz arpa unu [24], normal ve mumsu arpa unları [34], pirinç unu [15][19], buğday unu [35], buğday unu-benekli fasulye unu- buğday kepeği karışımları [36], nohut unu [1] ve sorgum unudur [37].

Besleme nem içeriğindeki artış sonucunda yığın yoğunluklarında meydana gelen artışın nedeni olarak Asare et al., [12] tarafından, yüksek besleme nem içeriklerinde ekstrüzyon pişirme işleminin nemin tümünü buharlaştırmaya yetmemesi ve bunun sonucunda bir miktar nemin ürün yapısında kalması gösterilmiştir. Ding et al. [35], nişasta esaslı besleme malzemesinin elastikiyet özellikleri üzerinde besleme nem içeriğinin etkisinin bulunduğunu, ekstrüzyon işlemi sırasındaki yüksek besleme nem içeriğinin, erimiş haldeki kütlenin plastikleşmesinde elastikiyetin azalmasına neden olduğunu; bunun ise daha düşük spesifik mekanik enerji değerine, daha düşük oranda jelatinizasyona ve daha yüksek yığın yoğunluğu değerlerine yol açtığını belirtmiştir.

Yığın yoğunluğu genel olarak namlu sıcaklığının artırılması ile azalma eğilimi göstermektedir [15][26][29][38]. Pirinç unu ekstrüzyonunda artan namlu sıcaklığı ile birlikte yığın yoğunluğu değerlerinde bir düşüş olduğu Hagenimana et al. [19] ve Guha ve Ali [30] tarafından da bildirilmiştir. Daha yüksek namlu sıcaklıklarının jelatinizasyon miktarında ve ayrıca ekstrüzyon ürününün daha çok genişlemesini sağlayan süper ısıtılmış buhar miktarında artış sağladığı; buna bağlı olarak düşük yoğunluklu bir ürünün üretimine olanak sağladığı ifade edilmiştir [24][30].

Chanvrier et al. [38] ise, yığın yoğunluğu değerindeki düşüşün, yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarının kesme viskozitesi üzerindeki azaltıcı etkisi ve bununla eşzamanlı olarak ürünün genişlemesine neden olan buhar basıncındaki artış ile ilgili olabileceğini değerlendirmiştir.

2.4.3. Tekstür özellikleri

Tekstür, tüketicilerin ekstrüzyon ürünü gıdaların kalitesi ve tazeliği hakkında karar vermek için kullandıkları başlıca kriterlerden birisini teşkil etmektedir. Erimiş haldeki nişastalı kütlenin ekstrüder kalıbından çıkışında, suyun aniden hızla uzaklaşması ekstrüzyon ürünlerinin karakteristik tekstürünü oluşturmaktadır. Basınç, ekstrüderdeki yüksek basınçtan atmosferik basınca ani bir şekilde düştüğünden, su sıvı fazdan buhar fazına geçmektedir. Su buharı kabarcıkları, erimiş haldeki kütleden çıktıkça, ürün uzamakta ve matris, buharlaşmadan kaynaklı soğuma nedeniyle katılaşmaktadır (set hale gelmektedir). Bu matriste hava kabarcıkları sıkışarak kalmakta ve karakteristik kabarmış (puffed) yapı oluşmaktadır. Ekstrüzyon ürünlerinin yapısı hücre büyüklüğü dağılımına ve hücre duvar kalınlığına bağlıdır [11].

Erimiş haldeki kütlenin reolojisi, genişleme mekanizması ve buna bağlı olarak son ürün tekstürü üstünde önemli bir etkiye sahiptir. Erimiş haldeki kütlenin reolojik özellikleri ise besleme malzemesi formülasyonu, namlu sıcaklık profili, besleme nem içeriği, vida hızı, ekstrüder içerisindeki kesme kuvvetlerini etkileyen vida profili ve namlu çıkış kalıbı tasarımına bağlıdır [11].

Ekstrüde çerez gıdalar için düşük sertlik ve kırılabilirlik değerlerinin arzu edildiği, tekstür kalitesi açısından en iyi kalite çerez ürünlerin düşük nem içeriği ve yüksek sıcaklık değerlerinde elde edildiği Mendonça et al. [39] tarafından bildirilmiştir.

Mısır unu-mercimek unu karışımları kullanılarak üretilen ekstrüde çerez ürünlerin tekstür özellikleri Lazou ve Krokida [40] tarafından incelenmiştir. Çalışma sonucunda namlu sıcaklığındaki artış ile birlikte ekstrüde ürünlerde sertliğin azaldığı ve gevrekliğin ise arttığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada besleme hızı ve besleme nem içeriğindeki artışın ürün yoğunluğu ve sertliğinde artışa neden olduğu gösterilmiştir [40].

Proses parametrelerinin tatlı patates unu ekstrüzyon ürünleri üzerine etkilerini araştıran Sebjo ve Chang [16], artan namlu sıcaklığı ve azalan besleme nem içeriği değerleri ile birlikte ürün sertliklerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Ding et al. [15] tarafından, pirinç ununun ekstrüzyon prosesinde, düşük besleme hızlarında besleme nem içeriğinin artışı ile ürün sertliğinde de artış olduğu; benzer şekilde düşük besleme nem içeriğinde besleme hızının artışı ile de ürün sertliğinde

belirgin bir artış olduğu ve bu artışın yüksek besleme nem içeriğinde daha az belirgin olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda artan besleme nem içeriğinin ekstrüzyon ürünlerinde gevrekliğin azalmasına neden olduğu, artan sıcaklığın ise gevreklikte az miktarda artış sağladığı rapor edilmiştir [15].

Yuliani et al. [20] da; süt proteini, nişasta ve D-limonen karışımlarının ekstrüzyonu konusunda yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon ürünlerinde sertliklerin artan sıcaklıkla beraber azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Buna neden olarak sıcaklıktaki artış ile birlikte azalan hamur viskozitesinin kabarcık büyümesinde sebep olduğu artış ile kabarcık duvar kalınlığında sebep olduğu incelme gösterilmiştir [20].

Duizer ve Winger [41] tarafından gevrekliği fazla olan bir ürünü kırmanın daha az güç gerektirdiği; bu nedenle ekstrüzyon ürünlerinin gevreklik değerlerinin, hücre yapısı ve buna bağılı olarak yığın yoğunluğu ve sertlik değerleri ile ilgili olmasından dolayı, artan sıcaklık ile beraber artmasının beklendiği bildirilmiştir.

Farklı yulaf çeşitlerinden üretilen ekstrüzyon ürün özelliklerini inceleyen Yao et al. [42] tarafından 165 °C ve 180 °C'ta yapılan üretimlerde, besleme nem içeriğinin % 16'dan % 21'e yükseltilmesi ile sertliklerde artış meydana geldiği ve daha yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarının kullanılması durumunda ise daha düşük sertlik değerlerinin söz konusu olduğu bildirilmiş; sertliğin ekstrüzyon ürünündeki genişlemeden büyük ölçüde etkilendiği rapor edilmiştir.

Buğday unundan üretilen ekstrüde çerez ürünlerinde ekstrüzyon koşullarının ürün özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada, besleme nem içeriğindeki artışın ürün sertliğinde artışa neden olurken, sıcaklığın arttırılması ile daha düşük sertlik değerlerinin gözlemlendiği rapor edilmiştir [35]. Araştırmacılar sıcaklık artışı ile birlikte hamur viskozitesinin azaldığını ve su buharı basıncının arttığını ifade ederek, bunun genişlemenin itici gücünü teşkil eden kabarcık oluşumunu olumlu yönde etkilediğini; bunun sonucunda daha düşük yoğunluklu ve daha düşük sertlik değerlerine sahip ekstrüzyon ürünlerinin üretildiğini bildirmişlerdir [35].

Ding et al. [35] ayrıca vida hızındaki artış ile, erimiş haldeki kütlenin viskozitesinin azalmasına bağılı olarak daha az yoğun ve daha düşük sertlik değerlerine sahip bir ürünün; buna karşılık besleme hızındaki artış ile karışımın viskozitesinin artmasına bağılı olarak daha yoğun ve daha sert bir ürünün elde edilebileceğini rapor etmiştir.

Pirinç unu, havuç posası unu ve bezelye ununun farklı oranlardaki karışımlarının ekstrüde edildiği ve elde edilen ürünlerin özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, sıcaklıktaki veya vida hızındaki artışın ürün sertliklerinde düşüşe neden olduğu gösterilmiştir [43].

Nohut unu ekstrüde çerez ürünlerinin özelliklerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada ürün sertliklerinin artan vida hızı, artan namlu sıcaklığı ve azalan besleme nem içerikleri ile birlikte azaldığı sonucuna ulaşılmış ve ürün sertliğinin ürün genişlemesi ve hücre yapısı ile ilgili olduğu bildirilmiştir [1].

Milet unu ekstrüzyon ürünlerinin özelliklerini inceleyen Gulati et al. [44], en düşük sertlik değerlerinin en düşük nem içeriği değerinde elde edildiğini rapor etmiştir.

2.4.4. Suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi

Suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi ekstrüde ürünün, su ile ne şekilde etkileşeceğini karakterize eden özelliklerdir. Bu özelliklere bakılarak, ekstrüzyon pişirme işlemi sonucunda nişastanın granüler formdan dönüşüm derecesi, değerlendirilebilmektedir [45]. Ekstrüzyon ürünlerinin suda çözünürlüğü, ekstrüzyon sonrasında esas olarak nişastadan salınan çözünebilir bileşenlerin miktarını ölçmekte ve moleküler bileşenlerin zedelenmesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Su bağlama kapasitesi ise ürün tarafından bağlanan su miktarı hakkında fikir vermektedir. Nişastaca zengin hammaddelerden üretilen ürünlerde ise ürünün aşırı su içinde dağılmasından sonra nişasta tarafından tutulan su miktarını ölçmekte olup, yüksek sıcaklık ve kesme koşullarındaki ekstrüzyon pişirme işleminde nişastanın jelatinizasyon ve parçalanmaya bağlı zedelenme derecesi ile ilişkilendirilebilmektedir [46]. Doğan ve Karwe [32]'ye göre de ekstrüzyon pişirme işlemi sonucunda dekstrinize nişasta miktarındaki artış suda çözünürlük değerinde artışa neden olmaktadır; ancak parçalanmış nişasta, protein ve lipid bileşenleri arasındaki moleküler etkileşimler, molekül ağırlıklarında artışa ve buna bağlı olarak suda çözünürlük değerlerinde azalmaya neden olabilmektedir. Su bağlama kapasitesi hidrofıl grupların varlığına ve makro moleküllerin jel oluşturma kapasitelerine bağlı olup, parçalanmış nişasta ile birlikte protein denatürasyonu ve yeni makromoleküler kompleks oluşumlarının bir ölçüsüdür [32].

Suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi indeksleri, gıda sanayi yan ürünlerinden geliştirilen ekstrüzyon ürünlerinin de fonksiyonel özellikleri hakkında fikir sahibi olmak için kullanılmaktadır [47].

Chang and Ng [46], buğday unu - ginseng tozu karışımlarından üretilen ekstrüzyon ürünlerinde, sabit vida hızı (200 rpm) ve namlu sıcaklığı (140 °C) koşullarında besleme nem içeriğinin % 25'ten % 35'e çıkartılması sonucunda su bağlama kapasitesinin arttığını; suda çözünürlüğün ise azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu, yüksek besleme nem içeriklerinde gerçekleştirilen ekstrüzyon pişirme işleminde aşırı suyun bir plastikleştirici vazifesi görerek, nişasta granüllerinin parçalanma derecesini azaltması ile açıklamışlardır. Ekstrüzyon pişirme işleminde besleme nem içeriğinin suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri üzerindeki bu etkisi, literatürde pek çok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir [15][19][31][32][36][37][44][48][49][50][51]. Ancak çalışmalarda kullanılan farklı hammaddeler ve farklı ekstrüzyon işlem koşullarına bağlı olarak literatürde besleme nem içeriğinin suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi üzerine etkisi konusunda farklı sonuçlara ulaşan araştırmacılar da bulunmaktadır [43].

Chang and Ng [46], sabit vida hızı (200 rpm) ve besleme nem içeriği (% 25) koşullarında namlu sıcaklığının 110 °C'den 140 °C'ye çıkartılması sonucunda su bağlama kapasitesinin azaldığını; suda çözünürlüğün ise arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu daha yüksek namlu sıcaklığı koşullarının buğday nişastası jelatinizasyonunda artışa neden olduğunu; ayrıca daha yüksek namlu sıcaklıklarında nişastanın termal ve mekanik enerjinin birlikte etkisi ile tamamen pişerek, daha yüksek oranda jelatinizasyon ve/veya parçalanma ile karşı karşıya kaldığını düşünmenin mantıklı olduğunu bildirmişlerdir. Ekstrüzyon pişirme işleminde namlu sıcaklığının suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri üzerindeki bu etkisi, literatürde pek çok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir [5][15][20][31][32][35][36][48]. Ancak çalışmalarda kullanılan farklı hammaddeler ve farklı ekstrüzyon işlem koşullarına bağlı olarak literatürde namlu sıcaklığının suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi üzerine etkisi konusunda farklı sonuçlara ulaşan araştırmacılar da bulunmaktadır. Örneğin ekstrüzyon çalışma koşullarının tapiyoka lifi/tapiyoka nişastası karışımı ekstrüzyon ürünleri üzerindeki etkilerini inceleyen Hashimoto et al. [22], namlu sıcaklığının 150 °C'tan 180 °C'a yükseltilmesi ile su bağlama kapasitesinde, nişasta parçalanmasındaki artıştan kaynaklanmış olabileceği değerlendirilen bir azalmanın; buna karşılık namlu sıcaklığının 180 °C'tan 210 °C'a yükseltilmesi ile bu sıcaklıklarda lif bileşenlerinde

meydana gelen ve suyun yapıya nüfuz etmesine ve burada tutulmasına izin veren yapısal değişimlerden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilen bir artışın söz konusu olduğunu bildirmişlerdir.

Chang and Ng [46], sabit besleme nem içeriği (% 25) ve namlu sıcaklığı (110 °C) koşullarında vida hızının 200 rpm'den 300 rpm'ye çıkartılması sonucunda su bağlama kapasitesinin azaldığını; suda çözünürlüğün ise arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu artan vida hızının daha fazla zedelenmiş polimer zincirlerine yol açarak, nişasta moleküllerinin su bağlama kabiliyetini azaltması ile açıklamışlardır. Ekstrüzyon pişirme işleminde vida hızının suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri üzerindeki bu etkisi, literatürde pek çok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir [5][19][26][32][48][50][52].

2.5. Besinsel lif

Son yıllarda gıda üretimi alanına yönelik tüketici talepleri önemli ölçüde değişmiş ve bunun sonucunda günümüzde gıdaların açlığı gidermesi ve gerekli besin öğelerini sağlamasının yanı sıra beslenme ile ilgili rahatsızlıklara karşı koruyucu etki sağlaması ve fiziksel ve mental sağlığı geliştirmesi de beklenmektedir. Bu bağlamda fonksiyonel gıdalar ürün kalitesinin geliştirilmesinde önemli fırsatlar sunmaktadır. Önceleri vitaminler ve/veya minerallerle takviye etme şeklinde karakterize edilen fonksiyonel gıdalarda, artık gıdaların besinsel lif ve ω -3 yağ asitleri, fitosterol gibi çeşitli mikro besin öğeleri ile zenginleştirilmesi üzerine çalışmalar ağırlık kazanmıştır [4].

Çerezler veya kahvaltılık tahıllar gibi ekstrüzyon ürünleri önemli miktarda kalori içermektedirler. Gıdaların enerji yoğunluklarının azaltılması için gıda sanayinin kullandığı yöntemlerden birisi gıdaların besinsel lif içeriklerini arttırmaktır [5].

Besinsel lif, insanların ince bağırsağında sindirime ve absorpsiyona dirençli, kalın bağırsakta kısmen ya da tamamen fermente olabilen, bitki ya da benzeri karbonhidratların yenilebilen kısımlarıdır. Besinsel lifler, polisakkaritler, oligosakkaritler, lignin ve ilgili bitkisel materyalleri içerir [53].

Codex Alimentarius Komisyonunun Özel Diyet Kullanımları için Beslenme ve Gıdalar Komitesi tarafından kabul gören daha yeni bir tanıma göre besinsel lif, ince bağırsaktaki enzimler tarafından hidrolize olmayan, 10 veya daha çok monomerik birimden oluşan yenilebilir karbonhidrat polimerleridir. Komite 3 - 9

monomerik birim içeren polimerlerin bu tanıma dahil edilmesi konusunda yerel makamlara karar verme iznini vermiştir [6].

Besinsel liflerin, laksatif etki ve/veya kan kolesterolünü düzenleyici etki ve/veya kan glukoz seviyesini düzenleyici etki gibi faydalı fizyolojik etkileri vardır [53].

Besinsel lifler fonksiyonel ve teknolojik amaçlar için, genel olarak sudaki çözünürlüklerine göre çözünür (oligosakkaritler, pektinler, β -glukanlar vb.) ve çözünmeyen (selüloz, hemiselüloz ve lignin) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır [4][5].

Besinsel liflerin insan sağlığı üzerinde önemli rolleri bulunmaktadır. Bunlar birkaç grup altında incelenebilmektedir:

- Besinsel liflerin bağırsak fonksiyonları üzerindeki etkileri
- Besinsel liflerin serum lipitleri üzerindeki etkileri
- Besinsel liflerin karbonhidrat metabolizması üzerindeki etkileri
- Besinsel liflerin mineral absorpsiyonu üzerindeki etkileri [54].

2.5.1. Enzime dirençli nişasta (EDN)

Nişasta insan beslenmesindeki başlıca karbonhidrat kaynağı olup, bitki kaynağına bağlı olarak, çoğu bitki dokusunda, genellikle 1 ila 100 μ m çapında granüller halinde bulunur. Kimyasal olarak, nişastalar α -D-(1-4) ve/veya α -D-(1-6) bağları ile bağlantılı α -D-glukopiranozil birimlerinden oluşan polisakkaritlerdir ve iki farklı moleküler tipten oluşurlar: Yaklaşık 1000 α -D-(1-4) bağlı glukoz biriminden oluşan düz zincirli poliglukan olan amiloz ile α -D-(1-6) bağlantıları ile dallanmalar yapan yaklaşık 4000 glikoz biriminden meydana gelen dallanmış bir glukan olan amilopektin [6].

Genel olarak sindirilebilir nişastalar, ince bağırsakta α -amilazlar ve glukoamilazlar gibi enzimler tarafından, absorbe edilebilen serbest glukoz birimlerine hidrolize edilmektedir. Bununla birlikte, beslenmedeki nişastaların tümü ince bağırsakta sindirilip absorbe edilememektedir [6].

İnce bağırsakta sindirime direnen nişasta ve nişasta parçalanma ürünleri EDN olarak tanımlanmaktadır. EDN'ler 5 grup altında incelenmektedir:

- Tip 1 EDN (EDN1): Sindirilemeyen bir matriks içinde tutuklu nişasta,
- Tip 2 EDN (EDN2): Granüler formdaki jelatinize olmamış nişasta,

- Tip 3 EDN (EDN3): Retrograde nişasta,
- Tip 4 EDN (EDN4): Kimyasal olarak modifiye edilmiş ve re-polimerize edilmiş nişasta,
- Tip 5 EDN (EDN5): Amiloz-lipit kompleksi içeren nişasta.

EDN'ler, Amerikan Hububat Kimyagerleri Birliği ve Ulusal Akademik Tıp Enstitüsü Gıda ve Beslenme Kurulu tarafından tanımlandığı gibi fonksiyonel bir besinsel lif olarak kategorize edilebilmektedir. EDN'ler neredeyse tamamen ince bağırsağı geçmekte ve probiyotik mikroorganizmaların çoğalması için bir substrat olarak davranabilmektedir [55].

2.6. Ekstrüzyon pişirme işleminin besinsel liflerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisi

Ekstrüzyon pişirme işlemi sırasında, besinsel lifler önemli ölçüde modifiye edilebilmektedir. Bu durum toplam besinsel lif içeriğinde ve lif çözünürlüğünde değişikliklere neden olmaktadır. Besinsel liflerin suda çözünürlük değerleri, ekstrüzyon esnasında spesifik mekanik enerjinin (SME) yükseltilmesi ile önemli derecede artırılabilir. Bu değişen sonuçlar, işlem koşulları ve hammadde özelliklerindeki (hammaddenin kaynağı ve partikül büyüklüğü gibi) farklılıklar ile açıklanabilmektedir [5].

Ekstrüzyon pişirme işleminden sonra lif içeren hammaddelerin toplam besinsel lif içeriğinde önemli azalma veya artışlar söz konusu olabilmektedir. Ekstrüzyondan sonra toplam besinsel lif içeriğindeki azalma, alkol ile çöktürülemeyen düşük molekül ağırlıklı çözünebilir besinsel lif miktarındaki artış ile ilişkilendirilebilmektedir. Ekstrüzyon sırasında ayrıca EDN'nin bir kısmı, toplam besinsel lif içeriğinde de azalmaya neden olan, *in vitro* olarak sindirilebilir nişastaya dönüşebilmektedir. Öte yandan, ekstrüzyondan sonra ölçülen toplam besinsel lif içeriğindeki artış, ekstrüzyon sırasında ortaya çıkan EDN oluşumu ve ayrıca, makrobesinler arasındaki kovalent etkileşimler sonucunda oluşan ve çözünmeyen, amilaz veya proteazlar tarafından sindirilemeyen bileşenler ile de açıklanabilir. Bu sindirilemeyen glukanlar, besinsel lif içeren matris içinde bulunan nişasta ve proteinler arasındaki kimyasal tepkimeler kaynaklı Maillard reaksiyonu ürünleri olabilir [5].

Ekstrüzyon sırasında yapısal özelliklerde ve besinsel liflerin çözünürlüğünde meydana gelen değişiklikler, fonksiyonel özelliklerde (viskozite ve su ile olan etkileşimler gibi) de önemli değişikliklere yol açmaktadır [5].

Ekstrüzyon sırasında besinsel liflerin morfolojisi (büyüklük ve şekil gibi) de değişmekte; partikül büyüklüğü azalmakta ve bu azalmanın derecesi mekanik enerji girişinin artışı ile birlikte artmaktadır [5].

2.7. Besinsel lif ilavesinin ekstrüzyon ürün özelliklerine etkisi

Nişasta, ekstrüzyon ürünü çerezlerin ana bileşenidir ve yapısal özelliklerinin çoğundan sorumludur. Ekstrüde tahıl ürünlerine besinsel lif ilave edilmesi çoğu zaman, yoğunluk ve sertlik değerlerinde artış ve gevreklik değerinde azalmaya bağlı olarak ürün kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Besinsel liflerin bu olumsuz etkileri büyük oranda lifin nişasta ile etkileşimine ve lifin moleküler yapısı ile fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu da farklı besinsel lifler için farklı etkilerin gözlenmesine neden olmaktadır [5].

Bilhassa çözünmeyen besinsel lifler, ekstrüde ürünlerin genişleme hacimlerini önemli ölçüde azaltmakta ve yoğunluklarını ise arttırmaktadır; bu da daha sert tekstüre yol açmaktadır. Bununla birlikte, lif içeriğinin genişleme hacmine etkisi esas olarak işlem koşullarına ve besleme nem içeriğine bağlıdır. Gerçekten de, buğday kepeği oranının % 20'ye kadar artırılmasının, ekstrüderde yüksek nem içeriğinde ekstrüde edilmiş buğday unu/pinto fasulyesi unu karışımının kesitsel genişlemesi üzerinde sadece sınırlı bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir [36].

Öte yandan düşük besleme nem içeriğinde artan buğday kepeği oranı kesitsel genişlemeyi önemli oranda azaltmaktadır. Buna ilave olarak çözünmeyen besinsel lif içeriğindeki artışlar sıklıkla boyuna genişlemede bir artışa [50][52], yığın yoğunluğunda bir artışa [25][52], daha düşük hücre boyutuna ve daha yüksek hücre yoğunluğuna sahip hücresel yapılara yol açmaktadır [5]. Hücre sayısında artış ve büyüklüklerinde azalma soya lifi [52] ve şeker pancarı lifi [23] için de rapor edilmiştir. Çözünmeyen besinsel lif ilavesi ile hücre yoğunluğundaki bu artış, ekstrüderdeki çekirdeklenme (nucleation) derecesinde bir artış ile ilişkilendirilebilmektedir [5].

Çözünmeyen besinsel liflerin aksine, çözünen besinsel lif ilavesi ekstrüzyon ürünlerinde daha iyi genişleme hacimlerine neden olmaktadır; yığın yoğunlukları

daha az etkilenmektedir [5]. Çözünen ve çözünmeyen bitkisel lifler arasında genişleme hacmi bakımından farklılıklar; su absorpsiyonundaki farklılıklar, ekstruder kalıbı çıkışındaki erimiş haldeki kütlenin viskoelastik özellikleri ve kabarcık büyümesi sırasında kabarcık membranının stabilizasyonu ile ilişkilendirilebilmektedir [25].

İnülin gibi çözünen besinsel lifler, buğday kepeği gibi çözünmeyen besinsel liflere göre daha fazla bir genişleme ve daha iyi tekstür oluşturma eğilimi göstermektedir [25]. Ancak Robin et al. [5] tarafından, çözünen besinsel lif içeriğinin ekstrüde tahılların genişleme özellikleri üzerine etkisinin belirsiz olduğu, artan çözünmeyen besinsel lif içeriğinin ise, kesitsel genişlemeyi sistematik olarak azaltırken yığın yoğunluğunu arttırdığı bildirilmiştir. Ekstrüde çerez ürünlerine besinsel lif ilavesinin etkisinin, sadece kullanılan besinsel lif tipine ve ekleme oranına değil; aynı zamanda besinsel lifin polimer molekül ağırlığı ile yapısına ve ekstrüzyonun karıştırma ve kesme aşamaları sırasında hidrasyon kabiliyetine de bağlı olduğu açıktır. Daha net olan şey; besinsel lif ilavesinin, kolayca sindirilebilen nişasta bileşenlerinin miktarında bir azalmayı ve yavaş sindirilebilir nişasta miktarında bir artışı ortaya çıkarmasıdır [4]. Bunun, beslenme sonrası glukoz yanıtının azaltılması anlamında potansiyel faydaları vardır ve artan bir tokluk hissini beraberinde getirebilmektedir [25].

2.8. Ekstrüzyon işleminde hammadde olarak gıda sanayi yan ürünlerinin kullanımı ve katma değer yaratılması

Dünyanın birçok ülkesinde gıda işleme endüstrisi, sınırlı kullanımı olan ve önemli ölçüde çevre kirliliği yaratan, prina, kabuk, kavuz, tohum, sap, kepek, küspe, pres kekleri gibi çok büyük miktarda yan ürün üretmektedir [56].

Ekstrüzyon ürünlerinde katma değer yaratılması; bu ürünlere, tekstürel ve besleyici kalitelerinin artırılması için malzemelerin dahil edilmesini içermektedir. Ekstrüzyon teknolojisi, biyoaktif bileşiklerin protein ile, insan vücudunda parçalanabilen ve böylece antioksidan aktivite sağlayan kompleksler oluşturmalarını sağlayarak, bunların biyoyararlılığını bir dereceye kadar arttırabilir. Ekstrüzyon ürünlerinde biyoaktif madde düzeyini arttırmak için çeşitli meyve ve sebze yan ürünleri ile ekstrüde çerez ürünlerin zenginleştirilmesi konusunda çalışmalar yürütülmektedir [57].

2.8.1. Ekstrüzyon işleminde hammadde olarak ekmek sanayi yan ürünlerinin kullanımı ve katma değer yaratılması

Günlük diyetimizde önemli bir yer tutan ekmek, aynı zamanda en çok israf edilen ürünlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Fırıncılık ürünlerinde israf oranının toplam üretim miktarının % 7 - 10'u civarında olduğu tahmin edilmektedir. Buna göre dünyadaki yıllık ekmek üretiminin, 2011 yılı rakamlarına göre, yaklaşık 125 milyon ton olduğu göz önüne alındığında küresel bazda israf edilen ekmek miktarının yıllık 12,5 milyon tonu bulunduğu görülmektedir.

Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) tarafından yürütülen çalışmalar, 2013 yılında ülkemizde israf edilen ekmek miktarının tahminen 1,79 milyar adet olduğunu ve bu konuda en büyük pay sahibinin % 62,1 ile fırınlar olduğunu göstermektedir [58].

Fırınlarda meydana gelen israfın nedenleri arasında üretim kaynaklı hatalar (az pişme, fazla pişme veya şekil bozuklukları) ile satılmayan iade ekmekler önemli bir yer kaplamaktadır. Endüstriyel fırınlar için bu tarz ekmeklerin işlenerek değerlendirilmesi, çözülmesi gereken önemli bir konudur.

Halen bu tarz ekmeklerin yeniden işlenebilmesi için sınırlı olanaklar bulunmaktadır. Bunların bir kısmı galeta ununa işlenebilmekte ve ekşi maya hazırlanırken unun bir bölümünün yerine kullanılabilmekte veya hayvan yemi olarak değerlendirilebilmektedir [59].

Bayatlamış ekmekler, gıda endüstrisinde gıda bileşeni olarak kullanılabilir. Ayrıca, bayatlama işleminin ekmek için bazı fonksiyonel özellikler sağlayabileceği de bilinmektedir. Bayatlamış ekmek daha fazla besinsel lif içermekte (EDN oluşumu nedeniyle), bundan dolayı daha düşük glisemik indeks değerine ve daha yüksek su bağlama kapasitesine sahiptir [60]. Ancak bayatlamış ekmeklerde sıklıkla mikrobiyal bozulmaların söz konusu olması, bunların insan ve hayvan beslenmesinde kullanımlarını, tüketici sağlığı açısından riskli hale getirmektedir [59]. Bu nedenle atık ekmekler çoğunlukla çöpe atılmakta veya biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır [59]. Literatürde atık ekmeklerin değerlendirilmesi konusunda değişik çalışmalar bulmak mümkündür.

Benabda et al. [61] tarafından, atık ekmek kullanılarak ekmek mayası üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda maya biyokütlesi üretiminin, atık ekmeklerin yeniden değerlendirilmesinde cazip bir alternatif olabileceği gösterilmiştir [61].

Yuksel ve Kayacier [60] tarafından, buğday cipsi üretiminde bayat ekmekten elde edilen galeta unu, buğday ununa % 50'ye varan oranlarda ilave edilmiş ve elde edilen cipslerin bazı özellikleri incelenmiştir. Araştırma neticesinde bayat ekmekten elde edilen galeta unu ilavesinin cips yapısını sıkılaştırdığı, cipslerdeki gözenekleri ve kırılmaları azalttığı ve bunun sonucunda kızartma işlemi sırasında yağ emilimini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır [60]. Bunların dışında atık ekmekten etanol üretimi veya biyohidrojen üretimi gibi atık ekmeklerin fermentasyonuna dayanan pek çok çalışma bulmak mümkündür [62].

Bu tez çalışmasında mikrobiyolojik ve hijyenik açıdan daha uygun olması nedeniyle, sadece üretim hatası bulunan ekmekler için, katma değer yaratılarak bir değerlendirme şeklinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan ekmeklik buğday unu ile aynı undan elde edilen galeta unu Ankara Halk Ekmek ve Un Fabrikası A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Galeta ununa ilave edilen iki farklı ticari EDN (Fibersym ve Hi-Maize) Ingredion Co.'dan (Argo, ABD) sağlanmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Ekstrüzyon Ürünlerinin Üretimi

Çalışmanın ilk bölümünde, ekmeklik buğday unu ve galeta unu kullanılarak, ekstrüzyon pişirme tekniği ile ayrı ayrı ekstrüzyon ürünleri üretilmiştir. Çalışmada kullanılan ekmeklik buğday ununun nem içeriği % 12,80 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan galeta ununun % 11,63 olarak tespit edilen nem içeriği ise, ekstrüzyon ürün üretiminde hedeflenen en üst besleme nem içeriği değeri olan % 17 değerine ulaşılabilmesi amacıyla, tavlama suretiyle % 13'e çıkartılmıştır.

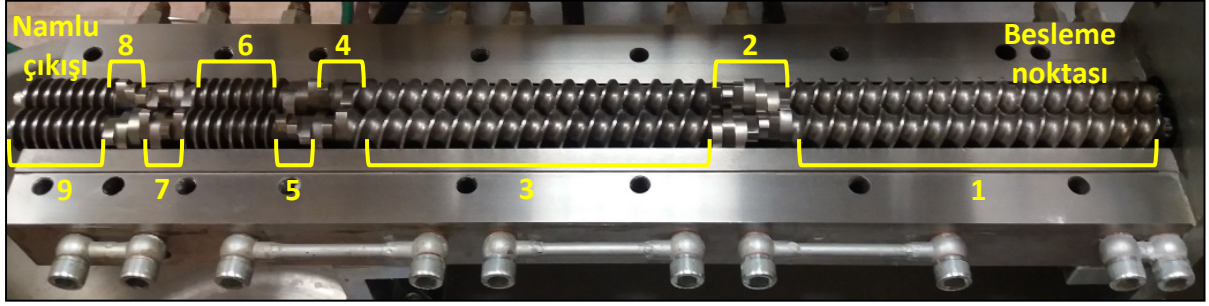
Çalışmanın ikinci bölümünde ise, galeta ununa, iki farklı ticari EDN (Fibersym ve Hi-Maize) sırasıyla % 15 ve % 30 oranlarında ilave edilmiştir. Hazırlanan toplam 4 karışımın nem içerikleri, üretimde hedeflenen besleme nem içeriği değerlerine ulaşılabilmesi amacıyla % 13'e gelecek şekilde tavlama işlemi uygulanmıştır.

Çalışmada Feza Makina (İstanbul, Türkiye) firması tarafından üretilen laboratuvar tipi çift vidalı ekstrüder (Şekil 3.1.) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Çift vidalı ekstrüder.

Çalışmada kullanılan ekstrüderin vida konfigürasyonu Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Vida konfigürasyon elemanları (besleme noktasından namlu çıkışına doğru)

- (1) 8D Çift hatveli besleme vidası
- (2) 7x30° İleri yönlü yoğurma pedalları
- (3) 8D Çift hatveli besleme vidaları
- (4) 3x60° İleri yönlü yoğurma pedalları
- (5) 3x30° Geri yönlü yoğurma pedalı
- (6) 2D Çift hatveli besleme vidaları
- (7) 4x60° İleri yönlü yoğurma pedalları
- (8) 3x30° Geri yönlü yoğurma pedalları
- (9) 2D Tek hatveli besleme vidaları

Vida çapı = 25,0 mm (1D)

Bir yoğurma pedalı = 0,25D

Şekil 3.2. Vida konfigürasyonu.

Ekstrüzyon ürünlerinin üretimi Çizelge 3.1.'de gösterilen ekstrüzyon sistem parametrelerinde yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Üretimlerde kullanılan ekstrüzyon sistem parametreleri

	Parametre Değeri	
	Birinci Bölüm	İkinci Bölüm
Besleme Nem İçeriği (%)	13 - 15 - 17	13 - 15 - 17
İlave Edilen EDN Miktarı (%)	0	0 - 15 - 30
Ekstrüzyon Namlu Sıcaklık Profili (°C)	120 - 135 - 150	120 - 150
Besleme Hızı (kg/saat)	4,0	4,0
Vida Hızı (rpm)	200	200
Namlu Çıkış Kalıbı Çapı (mm)	2	2
Vida Uzunluğunun Çapa Oranı (L/D)	25:1	25:1

Çalışma kapsamındaki ekstrüzyon ürünleri üretimi 2'şer paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen ekstrüde ürünler, sıcaklığı 50 °C'ye ayarlanmış etüvde (Şimşek Labortechnik Ltd. Şti., Ankara, Türkiye) bir gece bekletilmiş ve fiziksel analizleri (genişleme endeksi, yığın yoğunluğu ve tekstür özelliklerinin analizi) yapılana kadar 10 L'lik kapaklı plastik kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Fiziksel analizlerin tamamlanmasından sonra, ekstrüde ürün örnekleri, gözenek açıklığı 500 µm olan elekten geçecek şekilde öğütülmüş (Arzum AR 854 Bebbe Doğrayıcı, İstanbul, Türkiye) ve diğer analizler (suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, besinsel lif içeriği ve EDN içeriği) gerçekleştirilene kadar kilitli poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Yapılan Analizler

3.2.2.1. Genişleme İndeksi

Ekstrüzyon ürünlerinin çap ölçümleri, kumpas kullanılarak 0,01 mm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Genişleme indeksinin hesaplanması maksadıyla, her bir farklı üretimden 5 adet ekstrüde ürün alınmıştır. Alınan bu ürünlerin 10'ar farklı noktasından çap ölçümleri yapılarak (bir üretim için toplam 50 ölçüm) bulunan değerler namlu çıkış kalıbı çapına (2 mm) bölünerek genişleme endeksi değerleri elde edilmiştir [63].

3.2.2.2. Yığın Yoğunluğu

Yığın yoğunluğu değerleri, ölçülen hacim değerlerinin (cm³) ekstrüde ürün ağırlıklarına (g) bölünmesi suretiyle hesaplanmıştır [21]. Ekstrüde ürünlerin hacim ölçümleri, kuşyemi (pearl millet) ile hacimsel yer değiştirme esasına dayanan metotla gerçekleştirilmiştir. Her bir üretim için 10 ölçüm yapılmıştır.

3.2.2.3. Tekstür Özellikleri

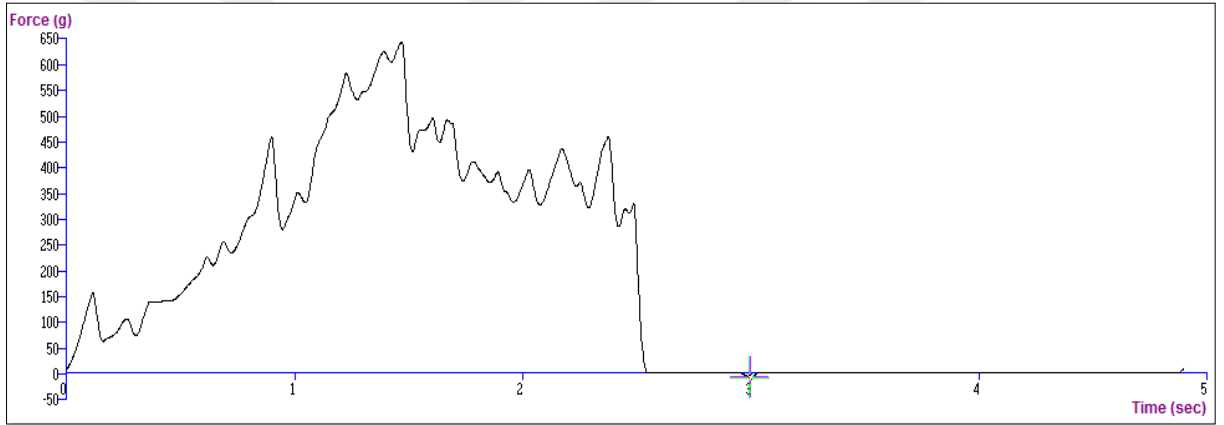
Tekstür özelliklerinin analizi Ankara Halk Ekmek ve Un Fabrikası A.Ş. laboratuvarında mevcut Stable Microsystem TA.XT plus Tekstür Analizörü cihazında (Godalming, Surrey, İngiltere), maket bıçağı (extended craft knife) şeklindeki kesici aparat kullanılarak yapılmıştır. Analiz için 5 kg'lık yük hücresi kullanılmıştır. Aparat için test başlangıç yüksekliği 35 mm, test öncesi hızı 10 mm/sn ve test hızı 2 mm/sn olarak ayarlanmıştır. Bu analiz ile örneklerin sertlik (g) ve pik sayısı (adet) özellikleri incelenmiştir.

Analizde, cihazın alt tablasına yaklaşık olarak 50 mm uzunluğundaki ekstrüde ürün örnekleri yerleştirilmiş ve kesme yapılmıştır. Tekstür analizleri her bir örnek için 8 kez tekrarlanmıştır. Analiz sonunda kuvvet (g) zaman (sn) grafiği elde edilmiştir. Elde edilen grafiklere ilişkin örnek Şekil 3.3.'te görülmektedir.

Ekstrüde ürün örneklerinin tekstür analizi sonucunda elde edilen grafikte;

- Sertlik değeri, maksimum pik yüksekliğini ifade etmektedir ve ürün sertliğinin bir göstergesidir,
- Pik sayısı (count peaks) değeri, toplam piklerin sayısını ifade etmektedir ve ürün gevrekliğinin bir göstergesidir,

Tez kapsamında bu tekstürel özellikler için kısaca sertlik ve gevreklik terimleri kullanılacaktır.



A	B	C	D	E
Test ID	Batch		Sertlik	Gevreklik
			g	
			Sertlik	Count Peaks+ F 1:2
Start Batch 1-	1-			
1-1	1-		642,812	22,000
1-2	1-		804,718	26,000
1-3	1-		660,078	27,000
1-4	1-		768,941	23,000
1-5	1-			27,000
1-6	1-		675,813	19,000
1-7	1-		698,510	20,000
1-8	1-		874,172	19,000
End Batch 1-	1-			
Average:	1- (F)	AVERAGE("BATCH")	732,149	22,875
S.D.	1- (F)	STDEV("BATCH")	85,898	3,441
Coef. of Variation	1- (F)	STDEV("BATCH") / AVERAGE("BATCH") * 100	11,732	15,042

Şekil 3.3. Tekstür analiz cihazında ekstrüde ürün için kullanılan tipik bir kesme grafiği.

Sonuçlar her bir paralel üretim için 8 ölçüm olmak üzere, toplam 16 ölçüm olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.2.4. Suda Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi

Ekstrüde ürünlerin suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi ölçümleri, Masatcioglu et al. [63] tarafından kullanılan metoda göre gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla deney tüplerine 1,0 g öğütülmüş ekstrüde ürün örneği tartılmış ve üzerine 10 mL saf su ilave edilmiştir. Deney tüpleri vorteks kullanılarak 5'er dakikalık aralıklarla 15'er saniye olmak üzere toplam 8 kez karıştırılmıştır. Daha sonra tüplere 4000 x g hızında 10 dakika santrifüj uygulanmıştır. Süpernatant petri kutusuna aktararak tartılmış ve 100 °C'ye ayarlanmış olan etüvde 1 gece bekletilerek kurutulmuştur. Tüpte kalan çökelen kısım da tartılmış ve 100 °C'ye ayarlanmış olan etüvde 1 gece bekletmek suretiyle kurutulmuştur.

Suda çözünürlük ve su bağlama değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

M_1 = örnek miktarı, g

M_2 = petri kutusunda kalan kuru çökelti, g

$$\text{Su bağlama (\%)} = \frac{M_3 - M_4}{M_1} \times 100$$

M_1 = örnek miktarı, g

M_3 = tüpte kalan yaş çökelti, g

M_4 = tüpte kalan kuru çökelti, g

Sonuçlar her bir paralel üretim için 2 ölçüm olmak üzere, toplam 4 ölçümün ortalaması alınarak sunulmuştur.

3.2.2.5. Toplam Besinsel Lif İçeriği

Gerek hammaddelerin, gerekse üretilen ekstrüde ürünlerin toplam besinsel lif içerikleri, AOAC (Association of Official Analytical Chemists)'nin toplam besinsel lif analiz metodu (AOAC Method 991.43) kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmalarda Megazyme Toplam Besinsel Lif Analiz Kiti (Megazyme International Ireland Ltd, Wicklow, Ireland) kullanılmıştır. Sonuçlar her bir paralel üretim için 2 ölçüm olmak üzere, toplam 4 ölçümün ortalaması alınarak sunulmuştur.

3.2.2.6. Enzime Dirençli Nişasta İçeriği

Gerek hammaddelerin, gerekse üretilen ekstrüde ürünlerin enzime dirençli nişasta içerikleri, Megazyme Enzime Dirençli Nişasta Analiz Kiti kullanılarak AOAC'nin enzime dirençli nişasta analiz metoduna (AOAC Method 2002.02) göre belirlenmiştir. Sonuçlar her bir paralel üretim için 2 ölçüm olmak üzere, toplam 4 ölçümün ortalaması alınarak sunulmuştur.

3.2.3. İstatistiksel Analiz

Deneysel verilerin istatistiksel değerlendirilmesi SPSS 16.0 istatistik programı kullanılarak, tek yönlü varyans analizi ile yapılmıştır. Ortalama değerler arasındaki farklar önemli bulunduğunda ($p < 0,05$) DUNCAN testi kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca, çalışmanın birinci bölümünde kullanılan iki farklı hammaddenin (ekmeklik buğday unu ve galeta unu) ve çalışmanın ikinci bölümünde ilave edilen iki farklı ticari EDN'nin (Hi-Maize ve Fibersym) üretilen ekstrüzyon ürünleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla t-testi kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Ekmeklik Buğday Unu ve Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürün Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çalışmanın birinci bölümünde hammadde olarak ekmeklik buğday unu ve galeta ununun kullanıldığı, farklı namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nemi değerlerinde ekstrüzyon ürünleri üretilmiştir. Bu ürünlere ait resimler Şekil 4.1.'de verilmiştir.

BUĞDAY UNU EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİ (BUE'LER)

	%13	%15	%17
120°C			
135°C			
150°C			

GALETA UNU EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİ (GUE'LER)

	%13	%15	%17
120°C			
135°C			
150°C			

Şekil 4.1. Üretilen buğday unu ve galeta unu ekstrüzyon ürünlerinin resimleri.

Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, tekstür, suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi, toplam besinsel lif içeriği ve enzime dirençli nişasta analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Genişleme indeksi (Gİ)

BUE'ler ve GUE'lerin ortalama genişleme indeksi değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama genişleme indeksi değerleri

Namlu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Genişleme İndeksi	
		BUE	GUE
120	13	5,91 bB	8,07 aA
120	15	5,69 cA	5,38 dB
120	17	4,30 gA	3,66 gB
135	13	6,01 aB	7,62 bA
135	15	5,78 cB	6,11 cA
135	17	4,85 fA	4,54 fB
150	13	5,88 bB	7,57 bA
150	15	5,60 dB	6,07 cA
150	17	4,95 eA	5,02 eA

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

*Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Ekstrüzyon ürünlerinde ortalama Gİ değerleri; BUE'ler için 4,30 - 6,01 arasında, GUE'ler içinse 3,66 - 8,07 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.1.).

Ekstrüzyon ürünlerinde ortalama Gİ değerleri artan besleme nem içeriği ile beraber istatistiksel olarak önemli derecede azalmıştır ($p<0,05$). Bu azalma, GUE'lerde daha belirgin olmuştur. Ulaşılan sonuçlar Ding et al. tarafından, pirinç unu [15] ve buğday ununun [35] kullanıldığı çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile uyushmaktadır.

Tatlı patates unu ekstrüzyon işlem parametrelerinin ürün özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir araştırmada, azalan besleme nem içeriği ve artan namlu

sıcaklığı ile birlikte genişlemede artış, yoğunluk ve sertlikte ise azalma gözlemlenmiştir [16].

Su enjeksiyon miktarı, namlu sıcaklığı ve vida hızı gibi sistem değişkenlerinin buğday unu ve mısır unu ekstrüzyon ürünlerinin genişlemesi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada da, ürünlerin kesitsel genişleme indeksinin azalan su enjeksiyon miktarı ile artış gösterdiği rapor edilmiştir [21].

Davidson et al. [64] genişlemenin, ekstrüzyon esnasındaki kesme kuvveti miktarının bir fonksiyonu olduğunu ve düşük besleme nem içeriğinin kesme kuvvetinde neden olduğu artışa bağlı olarak genişlemeyi arttırdığını bildirmiştir.

Nem içeriğinin genişlemeden sorumlu mekanizma içerisinde anahtar bir rol oynadığı Alvarez-Martinez et al. [65] tarafından da ifade edilmiştir. Araştırmacılar, nişastadaki elastikiyeti sağlayan amilopektin ağ yapısının artan besleme nem içeriği ile birlikte yumuşayarak elastik özelliklerinin zayıfladığını ve bunun sonucunda genişlemenin azaldığını bildirmiştir [65].

Moraru ve Kokini [13] artan besleme nem içeriğinin ekstrüder içerisindeki hamur viskozitesinin düşmesine neden olduğunu, bunun da ekstrüder içerisinde oluşan yüksek basınç altında ekstrüde üründe büzülme ve çökmeye yol açarak genişlemeyi azalttığını bildirmiştir.

Çalışmada üretilen ürünlerin GI değerleri ile namlu çıkış sıcaklıkları arasındaki ilişkinin besleme nem içeriğine göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Gerek ekmeklik buğday unu, gerekse galeta unu için; % 17 besleme nem içeriğinde namlu çıkış sıcaklığının 120 °C'den 150 °C'ye çıkarılması ile birlikte GI değerlerinde istatistiksel olarak önemli oranda artış gözlenmesine rağmen ($p < 0,05$), çalışılan diğer besleme nem içerikleri (% 13 ve % 15) için böyle bir artış gözlenmemiştir (Çizelge 4.1.).

Ding et al. [15], namlu çıkış sıcaklığındaki artışın hamur viskozitesini azalttığını, bunun da ekstrüzyon sırasındaki gözenek gelişimini olumlu yönde etkilemiş olabileceğini bildirmiştir. Bundan başka ekstrüder içerisindeki suyun süper ısınma derecesinin daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla olduğu, bunun da daha fazla genişleme sağladığı ifade edilmiştir [15].

Kokini et al. [66] genişlemenin, nişasta tipi ve nem içeriğine bağlı olan kritik bir sıcaklık değerinden sonra, artan sıcaklık ile birlikte azaldığını bildirmiştir. Araştırmacılar bunun erimiş nişastanın yapısal parçalanması ve aşırı yumuşaması neticesinde yüksek buhar basıncına direnç gösterememesi ve bu nedenle yapının çökmesinden kaynaklanmış olabileceğini savunmuştur [66].

Benzer şekilde Launay ve Lisch [67] ekstrüzyon ürünlerinde genişlemenin, hamurun viskozite ve elastikiyetine bağlı olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar artan sıcaklığın viskoziteyi düşürdüğünü ve bunun genişlemenin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir [67].

Doğan ve Karwe [32] de Gl'nin artan sıcaklıkla azalmasını, sıcaklığın hamur elastikiyeti üzerindeki olumsuz etkisi ile açıklamıştır.

Sıcaklığın ekstrüzyon ürünü genişlemesi üzerine etkisi konusunda Chinnaswamy ve Hanna [17], Ali et al. [18] ve Hagenimana et al. [19] tarafından sırasıyla mısır nişastası, mısır unu ve pirinç unu için benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Chinnaswamy ve Hanna [17] mısır nişastasında genişlemenin, namlu sıcaklığının 110 °C'den 140 °C'ye çıkarılması ile artış gösterdiğini; ancak sıcaklığın daha fazla arttırılması ile azaldığını bildirmiştir. Araştırmacılar genişlemedeki artışı, nişasta jelatinizasyonunun 110 °C - 140 °C aralığında daha yüksek seviyede gerçekleşmesine; azalışı ise nişastanın daha yüksek sıcaklıklardaki moleküler parçalanmasına bağlamışlardır [17].

Yuliani et al. [20] da yüksek sıcaklıklarda genişlemenin azaldığını bildirmiştir. Araştırmacılar bu durumu açıklamak için iki gerekçe önermiştir. Bunlardan birincisine göre, yüksek sıcaklıkta hamur viskozitesinin azalmasına bağlı olarak gözenek gelişiminde artış olmakla beraber, oluşan gözeneklerin duvarları düşük viskozite nedeniyle daha fazla genişleyip incelmekte ve içerisindeki buhar basıncına karşı yeterli direnci gösterememektedir. Bunun sonucunda ekstrüzyon ürününün gözenek duvarları çatlamakta ve hızlı basınç kaybına bağlı olarak çökmektedir. İkinci olarak ise, yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon ürün yüzeyinin hızlı soğumasının genişlemede bir azalma ile sonuçlanacak şekilde gözenek büyümesini durdurabileceği belirtilmiştir [20].

BUE ve GUE'lere ait ortalama Gl değerleri incelendiğinde en yüksek değer; BUE'ler için 135 °C namlu çıkış sıcaklığı ve % 13 besleme nem içeriğinde, GUE'ler

için ise 120 °C namlu çıkış sıcaklığı ve % 13 besleme nem içeriğinde üretilen ürünlerde elde edilmiştir (Çizelge 4.1.).

Buna ilave olarak, erimiş haldeki küttele gözenek oluşumuna destek vermesi beklenen düşük besleme nem içeriğinde (% 13) üretilen GUE'lerin ortalama Gİ değerleri, BUE'lere göre önemli ölçüde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Artan besleme nem içeriği ile birlikte, ortalama Gİ değerlerinde GUE'ler ile BUE'ler arasındaki farkın azaldığı ve % 17 besleme nem içeriğinde, 120 °C ve 135 °C'lik namlu çıkış sıcaklıklarında yapılan üretimlerde BUE'lerin Gİ değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1.). Bunun nedeninin, galeta ununda ekmek pişirme işleminden dolayı mevcut olan pre-jelatinize nişasta içeriği olabileceği değerlendirilmiştir. Gözenek oluşumunu destekleyen ekstrüzyon koşullarında pre-jelatinize amilopektinden üretilen genişletilmemiş ekstrüzyon ürünlerindeki gözenek oluşumu, jelatinize olmamış amilopektinden üretilen genişletilmemiş ekstrüzyon ürünlerine göre daha fazladır. Ancak az sayıdaki gözenek oluşumunun söz konusu olduğu koşullarda genellikle bu durum tersine dönmektedir [68]. Pre-jelatinize amilopektinin kullanımı, sahip olduğu daha gözenekli yapı nedeniyle kabarcık yoğunluğunu jelatinize olmamış amilopektine göre önemli ölçüde artırmaktadır. Bu kabarcıkların genişletilmiş ekstrüzyon ürününün hücresel yapısında rol oynayan genişleyen su buharı hücreleri için çekirdek (nuclei) vazifesi gördükleri kabul edilmektedir. Bu nedenle genişlemenin hedeflendiği ekstrüzyon proseslerinde bu kabarcıkların varlığı arzu edilen bir durum olabilmektedir [68].

4.1.2. Yığın yoğunluğu (YY)

BUE ve GUE'lere ait ortalama YY değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Ekstrüzyon ürünlerinde ortalama YY değerleri BUE'ler için 0,06 - 0,22 arasında, GUE'ler için ise 0,02 - 0,21 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.2.).

Ekstrüzyon ürünlerinde ortalama YY değerleri her bir namlu çıkış sıcaklığı değeri için, artan besleme nem içeriği ile beraber istatistiksel olarak önemli derecede artmıştır ($p<0,05$). Yalnızca 135 °C'lik namlu çıkış sıcaklığında üretilen BUE'lerde, besleme nem içeriğinin % 13'ten % 15'e çıkarılması sonucunda ortalama YY değerlerinde bir artış gözlenmemiştir. En yüksek ortalama YY değerleri, en yüksek nem seviyesinde (% 17) üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Bunun nedeni ekstrüzyon pişirme prosesinin nemin tümüyle buharlaşmasını sağlayacak yeterlilikte olmaması, nemin bir kısmının alıkonulması ve buna bağlı olarak ürün

genişlemesinin azalmasıdır. Bunun sonucunda daha yoğun bir ürün elde edilir [12][34]. Ding et al. tarafından pirinç unu [15] ve buğday unu [35] ekstrüzyonunda besleme nem içeriğinin artırılması ile YY'nin arttığı bildirilmiştir.

Çizelge 4.2. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	
		BUE	GUE
120	13	0,07 efA	0,03 eB
120	15	0,09 dA	0,09 cA
120	17	0,22 aA	0,21 aA
135	13	0,08 deA	0,03 eB
135	15	0,08 deA	0,06 dB
135	17	0,16 bA	0,13 bB
150	13	0,06 fA	0,02 eB
150	15	0,08 deA	0,06 dB
150	17	0,14 cA	0,09 cB

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır (p<0,05).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır (p<0,05).

Araştırma sonuçları incelendiğinde, YY ile Gİ arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu husus literatürde pek çok araştırmacı tarafından da rapor edilmiştir [1][28][29]. Ekstrüde ürünün YY değerinin ürün genişleme miktarına doğrudan bağlı olduğu ve ekstrüde ürün üretiminde çok önemli bir parametre olduğu Köksel et al. [33] tarafından bildirilmiştir.

Aynı besleme nem içeriğinde üretilen BUE ve GUE'lerde ortalama YY'nin namlu çıkış sıcaklığı ile değişimi incelendiğinde, sıcaklığın 120 °C'den 150 °C'ye yükseltilmesi sonucunda ortalama YY değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiş; ancak bu azalma her zaman için istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Pirinç unu ekstrüzyonunda artan sıcaklık ile birlikte YY değerlerinde bir artış olduğu Hagenimana et al. [19] ve Guha ve Ali [30] tarafından bildirilmiştir. Ancak daha yüksek namlu sıcaklıklarının jelatinizasyon miktarında ve ayrıca ekstrüzyon ürününün daha çok genişlemesini sağlayan süper ısıtılmış buhar miktarında artış

sağladığı; buna bağlı olarak düşük yoğunluklu bir ürünün üretimine olanak sağladığı ifade edilmiştir [30].

Ayrıca daha yüksek sıcaklıkların, ekstrüzyon ürününün kalıptan çıkışı sırasında, süper ısıtılmış suyun ekstrüzyon ürününden ayrılması için daha yüksek bir potansiyel enerji sağladığı ve bunun sonucunda ekstrüzyon ürününün daha fazla nem kaybederek hafiflediği bildirilmiştir [24].

Chanvrier et al. [38], YY değerindeki bu düşüşün, yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarının kesme viskozitesi üzerindeki azaltıcı etkisi ve bununla eşzamanlı olarak ürünün genişlemesine neden olan buhar basıncındaki artış ile ilgili olabileceğini değerlendirmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, çalışma kapsamında GUE'lerin ortalama YY değerlerinin genel olarak, aynı üretim parametrelerinde üretilen BUE'lerin ortalama değerlerine göre düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.2.). Bu farklılık genellikle istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Galeta unu içeriğindeki nişastanın pre-jelatinize olduğu gerçeği göz önüne alındığında, ulaşılan sonuçların Kamarudin et al. [69] tarafından yürütülen ve pre-jelatinize gölevez (taro) ile pre-jelatinize kırık pirinç ilavesinin ekstrüde peletlere olan etkilerinin incelendiği çalışmanın sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4.1.3. Tekstür özellikleri

Ekstrüzyon ürünlerinin tekstür özellikleri genel olarak sertlik ve gevreklik olarak tanımlanmaktadır. BUE'lerin ve GUE'lerin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Ekstrüzyon ürünlerinde; "g" cinsinden ortalama sertlik değerleri BUE'ler için 533,26 - 2016,88 arasında, GUE'ler için ise 101,55 - 575,23 arasında, pik sayısı cinsinden ortalama gevreklik değerleri ise BUE'ler için 8,50 - 25,06 arasında, GUE'ler için ise 12,12 - 38,31 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.3.).

Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerleri genel olarak artan besleme nem içeriği ile doğru orantılı, artan namlu çıkış sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişim göstermiştir. Sertlik değerindeki artış çalışılan tüm namlu çıkış sıcaklıklarında, besleme nem içeriği % 13'ten % 17'ye çıkarıldığında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Bu artışın, artan besleme nem içeriği nedeniyle genişlemede [1] ve nişasta parçalanma hızında [51] meydana gelen azalmadan

kaynaklanmış olabileceği bildirilmiştir. Su, nişasta bazlı maddeler için plastikleştirici gibi davranarak viskozitenin ve ekstrüder içerisindeki mekanik enerji kaybının azalmasına neden olmaktadır. Böylece ürün daha yoğun bir hale gelmekte ve kabarcık gelişimi baskılanmaktadır. Nişasta jelatinizasyonundaki azalma ile sınırlı kabarcık gelişimi, daha yoğun ve buna bağlı olarak da daha sert bir ürün elde edilmesine yol açmaktadır [35].

Çizelge 4.3. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Sertlik (g)		Gevreklik (pik sayısı)	
		BUE	GUE	BUE	GUE
120	13	701,44 cdA	117,61 dB	23,81 aB	38,31 aA
120	15	827,87 cA	255,25 bB	19,81 bB	23,81 deA
120	17	2016,88 aA	575,23 ab	8,50 dB	12,12 fA
135	13	592,76 dA	121,85 dB	24,25 aB	36,06 abA
135	15	677,22 cdA	235,50 bcB	22,06 abB	29,25 cA
135	17	1196,84 bA	293,88 bB	14,81 cB	21,69 eA
150	13	533,26 dA	101,55 dB	25,06 aB	35,12 bA
150	15	653,53 cdA	192,32 cB	23,88 aB	30,19 cA
150	17	1072,21 bA	281,46 bB	15,38 cB	24,31 dA

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Namlu çıkış sıcaklığının 120 °C'den 150 °C'ye yükseltilmesi ile ortalama sertlik değerlerinde görülen azalma, % 15 ve % 17 besleme nem içeriğinde üretilen GUE'ler için istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,05$); BUE'lerde söz konusu azalma yalnızca % 17 besleme nem içeriğinde üretilen ürünler için istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

Ding et al. tarafından, pirinç ununun [15] ve buğday ununun [35] ekstrüzyon prosesinde besleme nem içeriğinin artışı ile ürün sertliğinde de artış olduğu belirtilmiş; sıcaklık artışı ile birlikte ise hamur viskozitesinin azaldığı ve su buharı basıncının arttığı ifade edilerek bunun genişlemenin itici gücünü teşkil eden kabarcık oluşumunu olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir. Sonuç olarak daha

düşük yoğunluklu ve bu nedenle daha düşük sertlik değerlerine sahip ekstrüzyon ürünlerinin üretildiği bildirilmiştir.

Yuliani et al. [20] da; süt proteini, nişasta ve D-limonen karışımlarının ekstrüzyonu konusunda yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon ürünlerinde sertliklerin artan sıcaklıkla beraber azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Buna neden olarak sıcaklıktaki artış ile birlikte azalan hamur viskozitesinin kabarcık büyümesinde sebep olduğu artış ile kabarcık duvar kalınlığında sebep olduğu incelmeye gösterilmiştir [20].

Proses parametrelerinin tatlı patates unu ekstrüzyon ürünleri üzerine etkilerini araştıran Sebjo ve Chang [16], artan namlu sıcaklığı ve azalan besleme nem içeriği değerleri ile birlikte ürün sertliklerinin azaldığını gözlemlemiştir.

Farklı yulaf çeşitleri kullanarak ürettikleri ekstrüzyon ürünlerinin fiziksel ve duyu özelliklerini araştıran Yao et al. [42] da benzer şekilde, daha yüksek sıcaklıklardaki ekstrüzyon işlemi sonucunda daha düşük sertlik değerlerine sahip ekstrüzyon ürünlerine ulaştıklarını bildirmiştir. Artan namlu çıkış sıcaklığı ile sertlik değerlerinde gözlenen azalma, YY değerlerinde artan namlu çıkış sıcaklığı ile birlikte gözlenen azalma ile paralellik göstermektedir. Düşük yoğunluğa sahip ürünler doğal olarak daha düşük sertlik değerlerine sahip olmaktadır [1]. Sıcaklığın bu etkisi, arpa unu-domates posası karışımlarının [26], buğday ununun [35][70] tatlı patates ununun [51] ve mısır-mercimek karışımlarının [40] ekstrüzyon prosesinde de gözlemlenmiştir.

Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama gevreklik değerleri genel olarak artan besleme nem içeriği ile ters orantılı, artan namlu sıcaklığı ile doğru orantılı (% 13'lük besleme nem içeriğinde üretilen GUE'ler hariç olmak üzere) olarak değişim göstermiştir. Ortalama gevreklik değerindeki değişim, besleme nem içeriği % 13'ten % 17'ye çıkarıldığında ve namlu çıkış sıcaklığı 120 °C'tan 150 °C'ye çıkarıldığında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu değişim sadece % 13'lük besleme nem içeriğinde üretilen BUE'lerde, namlu sıcaklığı 120 °C'tan 150 °C'ye çıkarıldığında istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Bu sonuçlar, Ding et al. [15] tarafından yürütülen ve pirinçten üretilen ekstrüzyon ürünlerinde gevrekliklerin artan besleme nem içeriği ile birlikte önemli ölçüde azaldığını gösteren çalışmanın sonuçları ile uyumludur. Bununla birlikte artan namlu çıkış sıcaklığı ile beraber ekstrüzyon ürünlerinin gevrekliklerinin arttığı bildirilmiştir. Artan sıcaklık ile birlikte erimiş haldeki kütlenin viskozitesi

azalmaktadır. Bundan dolayı kabarcık oluşumu olumlu yönde etkilenmekte, küçük ve ince hücrelere sahip düşük yoğunluklu ürünler üretilmektedir. Böylelikle ekstrüzyon ürününün gevrekliği artmaktadır [15].

Duizer ve Winger [41] tarafından gevrekliği fazla olan bir ürünü kırmanın daha az güç gerektirdiği; bu nedenle ekstrüzyon ürünlerinin gevreklik değerlerinin hücre yapısı ve buna bağlı olarak yığın yoğunluğu ve sertlik değerleri ile ilgili olmasından dolayı, artan sıcaklık ile beraber artmasının beklendiği bildirilmiştir.

BUE'ler ile GUE'ler tekstür özellikleri (sertlik ve gevreklik) bakımından karşılaştırıldığında, BUE'lerin tüm üretim parametreleri için GUE'lere göre ortalama sertlik değerleri açısından daha yüksek, ortalama gevreklik değerleri açısından ise daha düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3.). GUE'lerin daha düşük sertlik değerlerine sahip olmasının, pre-jelatinize nişasta içerikleri ve galeta ununun sahip olduğu daha gözenekli yapı nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Galeta ununun gözenekli yapısı ekstrüzyon prosesinde erimiş haldeki kütle içerisinde çok sayıda kabarcığın oluşumunu teşvik etmekte, hücre duvarları incelmekte ve böylece düşük sertlik değerlerine sahip ve gevrek bir ürün elde edilmektedir. Nitekim çalışmada üretimi yapılan GUE'lerin gevreklik değerleri BUE'ler ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4.3.).

4.1.4. Suda çözünürlük

BUE'lerin ve GUE'lerin ortalama suda çözünürlük değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Ekstrüzyon ürünlerinde ortalama suda çözünürlük değerleri BUE'ler için % 26,89 - 42,95 arasında, GUE'ler için ise % 37,86 - 55,73 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.4.).

Genel olarak BUE'lerin ortalama suda çözünürlük değerleri artan besleme nem içeriği ile birlikte istatistiksel olarak önemli derecede azalmıştır ($p < 0,05$). Nem içeriğinin artması ile suda çözünürlük değerlerinin azaldığı pek çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir [17][36][71][72]. Mısır unu ekstrüzyon ürünlerinde artan besleme nem içeriğinin suda çözünürlük değerlerini düşürdüğü Masatcioglu et al. [63] tarafından da rapor edilmiştir.

Yüzde 13 besleme nem içeriğinde üretilen BUE ve GUE'lerde namlu çıkış sıcaklığının 120 °C'tan 150 °C'a çıkartılması ile ortalama suda çözünürlük değerlerinin artış gösterdiği ve bu artışın istatistiksel olarak BUE'ler için önemli, GUE'ler için ise önemsiz seviyede olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Daha yüksek besleme nem içeriklerinde (% 15 ve % 17) ise ortalama suda çözünürlük değerlerinin, namlu çıkış sıcaklığının 120 °C'tan 150 °C'a çıkartılması ile istatistiksel olarak önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Hagenimana et al. [19] tarafından, sert üretim koşullarının uygulanması sonucunda parçalanmış nişasta granülü miktarında ve buna bağlı olarak suda çözünen madde miktarında bir artış gözlemlendiği bildirilmiştir. Bu durum nişastanın, düşük nem içerikli ekstrüzyon işlemi sırasında daha büyük oranda kesme kuvvetine maruz kalarak parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Yulaf kullanılarak üretilen ekstrüzyon ürünlerinde namlu sıcaklığı ile suda çözünürlük değerleri arasında ters orantılı bir ilişki olduğu Gutkoski ve El-Dash [73] tarafından rapor edilmiştir. Benzer sonuçlar Altan et al. [26] tarafından da bildirilmiştir.

Çizelge 4.4. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama suda çözünürlük değerleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Suda Çözünürlük (%)	
		BUE	GUE
120	13	38,84 bB	39,94 deA
120	15	36,42 cB	55,20 aA
120	17	33,90 dB	43,48 cA
135	13	40,41 bA	39,28 deA
135	15	33,20 dB	55,73 aA
135	17	32,82 dB	43,76 cA
150	13	42,95 aA	41,17 dB
150	15	30,18 eB	48,20 bA
150	17	26,89 fB	37,86 eA

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Genel olarak GUE'lerin ortalama suda çözünürlük değerlerinin BUE'lerin değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüş ve bu fark, özellikle daha yüksek

besleme nem içerikleri (% 15 ve % 17) için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Bunun, ekmek pişirme prosesi nedeniyle galeta ununda bulunan nişastanın pre-jelatinize ve kısmen enzimatik parçalamaya uğramış olmasından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle galeta ununun, buğday ununa göre daha fazla suda çözünebilir madde içermesi beklenen bir durumdur. Pre-jelatinize olan ve olmayan mısır ve tapyoka nişasta kullanımının ekstrüde balık yemi peletleri üzerindeki etkilerini inceleyen Kanmani et al. [74] tarafından da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

4.1.5. Su bağlama kapasitesi

Ekmeklik buğday unu ve galeta unu kullanılarak üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Su Bağlama Kapasitesi (%)	
		BUE	GUE
120	13	365,04 dA	289,55 bcB
120	15	425,29 cA	197,37 fB
120	17	424,98 cA	277,88 cdB
135	13	361,76 dA	291,42 bcB
135	15	441,30 cA	193,44 fB
135	17	466,12 bA	265,92 dB
150	13	343,76 eA	298,65 bB
150	15	471,47 bA	241,77 eB
150	17	532,98 aA	315,90 aB

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri BUE'ler için % 343,76 - 532,98 arasında, GUE'ler için ise % 193,44 - 315,90 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.5.).

BUE'lerin su bağlama kapasiteleri genel olarak artan besleme nem içeriği ile birlikte artış göstermiştir. Besleme nem içeriğinin % 13'ten % 15 - 17'ye çıkarılması

ile su bağlama kapasitesinde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak GUE'lerde böyle bir eğilim gözlenmemiştir (Çizelge 4.5.). Pirinç ununu çift vidalı ekstrüderde ekstrüde eden Ding et al. [15], artan besleme nem içeriği ile birlikte ekstrüzyon ürünlerinin su bağlama kapasitelerinin arttığını rapor etmiştir. Benzer şekilde % 30 soya unu protein konsantresi, % 30 mısır unu ve % 40 sinir otu unu içeren karışımı ekstrüde eden Njoki ve Füller [72], besleme nem içeriğinin su bağlama kapasitesi üzerine etkisinin önemli olduğunu ve besleme nem içeriğindeki artış ile su bağlama kapasitesinin arttığını belirtmiştir. Yüksek nem seviyelerindeki yapılan ekstrüzyon pişirme işleminde, fazla su plastikleştirici işlevi görmekte ve nişasta granüllerinin parçalanma derecesini azaltmaktadır. Bu ise su bağlama kapasitesi değerinde artışa, suda çözünürlük değerinde ise azalmaya neden olmaktadır [46][63].

Hem BUE'lerin (% 13 besleme nem içeriğinde üretilenler hariç), hem de GUE'lerin su bağlama kapasiteleri; namlu çıkış sıcaklığının 120 °C'tan 150 °C'a yükseltilmesi ile birlikte istatistiksel olarak önemli derecede artmıştır ($p<0,05$). Buğday nişastası, tam buğday unu ve yulaf unu ekstrüzyon ürünlerinde hem besleme nem içeriğinin, hem de sıcaklığın artması ile su bağlama kapasitelerinin artış gösterdiği Singh ve Smith [75] tarafından da bildirilmiştir.

BUE'ler ile GUE'ler su bağlama kapasiteleri bakımından karşılaştırıldığında, BUE'lerin su bağlama kapasitelerinin istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.5.). Su bağlama kapasitesinin nişasta jelatinizasyonunun bir göstergesi olduğu ve galeta unu içeriğindeki nişastanın ekstrüzyon prosesi öncesinde zaten büyük ölçüde pre-jelatinize olduğu dikkate alındığında, sert ekstrüzyon koşullarının (düşük nem ve yüksek sıcaklık) pre-jelatinize nişasta üzerindeki etkilerinin, buğday ununun zedelenmemiş nişastasına oranla daha yıkıcı olacağı değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, ekstrüzyon pişirme prosesi sırasında galeta unu nişastasının, buğday unu nişastasına oranla daha fazla mekanik hasara uğramış ve buna bağlı olarak GUE'lerin suda çözünürlük/su bağlama kapasitesi deneylerinde çözünebilir madde şeklindeki kaybı daha fazla olmuştur. Buna ilave olarak galeta unundaki nişastanın bir kısmının ekmek yapım aşamasında fermentasyon sonucunda mayalar tarafından kullanılmış olduğu ve bu nedenle galeta unundaki nişasta içeriğinin buğday ununa göre daha düşük olduğu da unutulmamalıdır. Tüm bu değerlendirmeler ışığında GUE'lerin, daha düşük

kalıntı jelatinize nişasta içerikleri nedeniyle, daha düşük su bağlama kapasitesine sahip olacağı değerlendirilmektedir.

4.1.6. Besinsel lif içeriği

Hammadde olarak kullanılan ekmeklik buğday unu ile galeta ununun besinsel lif içerikleri sırasıyla % 5,65 ve % 7,69 olarak bulunmuştur. Üretilen BUE ve GUE'lerin ortalama besinsel lif içerikleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Besinsel Lif İçeriği (%)	
		BUE	GUE
120	13	4,87 abB	6,38 abcA
120	15	4,93 abB	6,62 abcA
120	17	4,58 bB	6,94 abA
135	13	4,91 abA	5,75 cA
135	15	5,49 aB	6,55 abcA
135	17	5,27 abB	7,13 aA
150	13	5,31 abB	6,16 cbA
150	15	5,50 aB	6,59 abcA
150	17	5,20 abB	7,28 aA

BUE: Buğday unu ekstrüzyon ürünü, GUE: Galeta unu ekstrüzyon ürünü.

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri BUE'ler için % 4,58 - 5,50 arasında, GUE'ler için ise % 5,75 - 7,28 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.6.). Ekmeklik buğday unu ve galeta unu ile bu unlar kullanılarak üretilen BUE'ler ve GUE'ler toplam besinsel lif içerikleri açısından karşılaştırıldığında, ekstrüzyon işlemi sonucunda toplam besinsel lif içeriklerinde azalma olduğu görülmüştür. Sert ekstrüzyon koşullarının (özellikle de düşük besleme nem içeriğinin) ekstrüder içerisinde kesme kuvvetinin artmasına neden olarak besinsel lif içeriğini azalttığı değerlendirilmiştir. Ulaşılan sonuçlar, Lue et al [23] tarafından mısır unu ve şeker pancarı lifinin ekstrüde edildiği çalışmanın sonuçları ile uyum göstermektedir. Benzer şekilde; ekstrüzyon pişirme işleminden geçirilen kepek ilave edilmiş ve

kepek ilave edilmemiş buğday unlarındaki besinsel lif profil değişimi Gajula et al. [76] tarafından araştırılmış ve ekstrüzyon pişirme işleminin toplam besinsel lif içeriğinde genel olarak önemli azalmalara neden olduğu ortaya konulmuştur.

Çalışmada farklı üretim parametreleri (besleme nem içeriği ve namlu sıcaklığı) kullanılarak üretilen BUE'ler arasında, besinsel lif içeriği açısından genellikle istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir. Benzer şekilde besinsel lif içerikleri açısından değişen besleme nem içeriklerinde ve namlu sıcaklıklarında üretilen GUE'lerde de istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır.

BUE'ler ile GUE'ler besinsel lif içerikleri bakımından karşılaştırıldığında, GUE'lerin genel olarak istatistiksel olarak önemli oranlarda fazla besinsel lif içeriğine sahip oldukları tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Bunun nedeninin çalışmada kullanılan iki hammaddeden galeta ununun, buğday ununa göre daha fazla besinsel lif içermesi olabileceği değerlendirilmiştir.

4.1.7. Enzime dirençli nişasta (EDN) içeriği

Çalışmada hammadde olarak kullanılan ekmeklik buğday unu ile galeta ununun ortalama EDN içerikleri sırasıyla 4,07 ile 1,66 g/100 g olarak bulunmuştur. Üretimi yapılan BUE'ler ile GUE'lerin ortalama EDN içerikleri ise Çizelge 4.7. ve Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Buğday unu ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri

Ekstrüzyon Proses Koşulu	N	EDN İçeriği (g/100 g)	Standart Sapma	t	df	p
120 °C - % 17 nem	4	0,43	0,33	0,287	2	0,801
150 °C - % 13 nem	4	0,36	0,09			

Çalışma sonuçları incelendiğinde buğday ununun, galeta ununa nazaran daha fazla EDN içermesine rağmen; BUE'lerin ortalama EDN içerikleri GUE'lere göre oldukça düşük bulunmuştur. Buğday ununda mevcut EDN'nin ağırlıklı olarak EDN2 olduğu bilinmektedir. Isıl işlem ve nem içeren gıda işleme tekniklerinin EDN2'yi parçaladığı ve EDN3 oluşumuna yol açtığı Faraj et al. [77] tarafından bildirilmiştir. Bu kapsamda galeta ununda bulunan EDN'nin, ekmeğin pişme ve soğuması sürecinde, buğday unu nişastasının jelatinizasyonu ve müteakiben

retrogradasyonu ile oluşan EDN3 olduğu söylenebilir. EDN2'nin aksine, EDN3 genellikle ısı işlemlere karşı dayanıklı ve gıda proseslerinin çoğundan varlığını koruyarak çıkmaktadır [78]. Bu kapsamda, galeta ununun EDN içeriği buğday ununa göre daha düşük olmasına rağmen, söz konusu EDN'nin ağırlıklı olarak EDN3 olması nedeniyle elde edilen GUE'lerde, BUE'lere göre daha yüksek EDN içerikleri tespit edilmiştir.

Martinez et al. [79], ekstrüzyon proses koşullarının şiddeti arttıkça, EDN içeriğinin azaldığını ifade etmiştir. Bu kapsamda, besleme nem içeriği ile namlu sıcaklığının BUE'lerin ortalama EDN içerikleri üzerindeki etkisini belirlemek için, çalışmada uygulanan hammadde üzerine en hafif (120 °C - % 17 besleme nem içeriği) ve en sert (150 °C - % 13 besleme nem içeriği) etkisi olacağı öngörülen ekstrüzyon proses koşullarında üretilen ürünlerin EDN içeriklerine bakılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirme (t testi) sonucunda söz konusu ürünlerin ortalama EDN içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.7.). Bu nedenle ekstrüzyon proses şiddeti bakımından bu iki üretimin arasında yer alan diğer ürünlerin ortalama EDN içeriklerinin de 0,36 - 0,43 g/100 g aralığında yer alacağı varsayılmıştır.

Çizelge 4.8. Galeta unu ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri

Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	EDN İçeriği (g/100 g)
120	13	0,76 b
120	17	1,34 a
150	13	0,87 b
150	17	1,29 a

*Aynı sütun içinde farklı harfle gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p < 0,05$).

GUE'lerin ortalama EDN içerikleri 0,76 - 1,34 g/100 g arasında bulunmuştur (Çizelge 4.8.). Sonuçlar incelendiğinde GUE'lerin ortalama EDN içeriklerinde, aynı besleme nem içeriğinde namlu sıcaklığının 120 °C'tan 150 °C'a çıkarılması ile istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Buna karşılık besleme nem içeriğinin % 13'ten % 17'ye çıkarılması ile ortalama EDN içeriklerinde de istatistiksel olarak önemli bir artış tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Kim et al. [80]

tarafından, buğday unu için ekstrüzyon koşullarının EDN oluşumu açısından önemli olduğu bildirilmiş ve en yüksek miktarda EDN oluşumu için yüksek besleme nem içeriği ile birlikte uzun depolama süresinin uygulanabileceği rapor edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan % 13 - % 17 arasındaki besleme nem içeriği değerleri oldukça düşük ve optimum EDN oluşumu için uygun olmayan değerlerdir. Bunun dışında besleme nem içeriğinin azalması sonucunda ekstrüder içerisinde artan kesme kuvveti ile birlikte parçalanmış EDN miktarı da artmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde elde edilen sonuçlar, GUE'lerin EDN içeriklerinin BUE'lere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ekstrüzyon ürünlerinde genel olarak EDN miktarındaki artışın ürün fiziksel özelliklerini (genişleme indeksi, yığın yoğunluğu ve tekstür özellikleri) olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ancak çalışmanın bu bölümünde üretilen GUE'lerin, daha fazla EDN içermelerine karşın fiziksel özellikler açısından da genel olarak BUE'lere göre daha iyi değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın ikinci bölümündeki ekstrüde ürün üretimlerinde hammadde olarak galeta ununun kullanılması uygun bulunmuştur.

4.2. Farklı Oranlarda EDN İlave Edilen Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çalışmanın ikinci bölümünde galeta ununa iki farklı ticari EDN (Fibersym ve Hi-Maize) % 0, % 15 ve % 30 oranlarında ilave edilerek, farklı namlu çıkış sıcaklığı ve besleme nem içeriği değerlerinde ekstrüzyon ürünleri üretilmiştir. Bu ürünlere ait resimler Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Üretilen ekstrüzyon ürünlerinin genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, tekstür, suda çözünürlük ve su bağlama kapasitesi, toplam besinsel lif içeriği ve enzime dirençli nişasta analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Genişleme indeksi (Gİ)

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unu kullanılarak üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama Gİ değerleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama Gİ değerleri, Hi-Maize ilave edilenler için 2,63 - 6,33 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise 2,08 - 6,23 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.9.). Tüm üretimlerde ilave edilen EDN miktarı arttıkça ortalama Gİ değerlerinin istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı

($p<0,05$) ve azalmanın genel olarak Fibersym ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde Hi-Maize ilave edilenlere göre istatistiksel olarak önemli oranda fazla olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,05$).

Onwulata et al. [81] tarafından, besinsel liflerin matrikste mevcut nemin bir kısmını bağladığı, bunun da ekstrüzyon ürünlerinin genişlemesinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir.

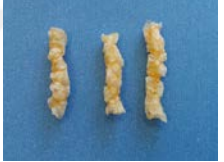
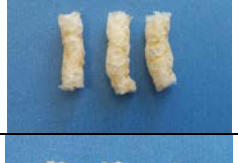
Çizelge 4.9. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama genişleme indeksi değerleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Genişleme İndeksi	
			Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	8,08 a	8,08 a
		15	5,38 f	5,38 e
		17	3,66 j	3,66 j
	150	13	7,57 b	7,57 b
		15	6,07 e	6,07 d
		17	5,02 h	5,02 f
% 15	120	13	6,33 cA	6,06 dB
		15	3,95 iA	3,62 jB
		17	3,21 kA	2,78 lB
	150	13	6,19 dA	6,23 cA
		15	5,06 hA	4,45 gB
		17	3,98 iA	3,64 jB
% 30	120	13	5,26 gA	3,93 hB
		15	2,94 lA	2,75 lB
		17	2,63 mA	2,08 nB
	150	13	5,04 hA	3,79 iB
		15	3,69 jA	2,87 kB
		17	3,12 kA	2,22 mB

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

EDN İLAVE EDİLEN GALETA UNU EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİ (GUE'LER)

		% 13	% 15	% 17
% 0 EDN	120 °C			
	150 °C			
% 15 EDN (Fibersym)	120 °C			
	150 °C			
% 15 EDN (Hi-Maize)	120 °C			
	150 °C			
% 30 EDN (Fibersym)	120 °C			
	150 °C			
% 30 EDN (Hi-Maize)	120 °C			
	150 °C			

Şekil 4.2. % 0, % 15 ve % 30 EDN ilave edilen galeta unu kullanılarak farklı namlu sıcaklığı ve besleme nemi değerlerinde üretilen ekstrüzyon ürünlerine ait resimler.

Pektin ve buğday liflerinin mısır nişastası ekstrüzyon ürünleri kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada buğday lifi ilavesi sonucunda hava kabarcığı boyutlarının azaldığı belirtilmiş ve bunun muhtemel nedeni olarak da hava kabarcıklarının buğday lifi kaynaklı olarak erkenden çatlaması gösterilmiştir [82]. Benzer şekil mısır kepeğinin ekstrüzyon ürünlerindeki zararlı etkisini lif gibi inert bileşenler ile açıklayan Mendonça et al. [39]; liflerin hava kabarcığı duvarlarında ve ekstrüzyon ürünlerinin dış yüzeylerinde çatlamalara neden olduğunu ve böylece hava kabarcıklarının tam anlamıyla genişlemesine engel olduğunu belirtmiştir.

Grenus et al. [83] tarafından da, pirinç unu ekstrüzyonu işleminde artan kepek seviyeleri ile birlikte radyal genişlemede azalma olduğu ifade edilmiştir.

Tezin birinci bölümünde olduğu gibi, EDN ilavesi yapılan ekstrüzyon ürünlerinde de ortalama Gİ değerleri artan besleme nem içerikleri ile beraber istatistiksel olarak önemli derecede azalmıştır ($p<0,05$).

Üretilen ürünlerin ortalama genişleme indeksleri ile namlu sıcaklık değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde sıcaklığın 120 °C'tan 150 °C'a yükseltilmesi sonucunda, % 15 ve % 17 besleme nem içeriklerindeki üretimlerde ortalama Gİ değerlerinin de istatistiksel olarak önemli derecede arttığı; buna karşılık % 13 besleme nem içeriğinde ise genel olarak sıcaklık artışı ile birlikte Gİ değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,05$; Çizelge 4.9.).

4.2.2. Yığın yoğunluğu (YY)

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama YY değerleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama YY değerleri, Hi-Maize ilave edilenler için 0,03 - 0,29 g/cm³ arasında, Fibersym ilave edilenler için ise 0,03 - 0,35 g/cm³ arasında bulunmuştur. Genel olarak EDN ilavesinin YY değerlerinde artışa neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4.10.).

Aynı üretim parametreleri kullanılarak yapılan üretimler karşılaştırıldığında, Hi-Maize ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama YY değerleri Fibersym ilave edilenlerin ortalama YY değerlerinden daha düşük elde edilmiş ve farklar genellikle istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$; Çizelge 4.10.).

Ekstrüzyon ürünlerine besinsel lif ilavesinin ortalama YY değerlerinde genel olarak artışa neden olduğu, ancak kullanılan besinsel lif tipine göre, lif bileşenlerinin çözünürlüğüne bağlı olarak farklılıkların söz konusu olduğu düşünülmektedir [25]. Çözünmeyen besinsel lif ilave edildiğinde ekstrüzyon ürünlerinin yığın yoğunlukları genellikle artış göstermekteyken [84], çözünen besinsel lif ilavesinin yığın yoğunlukları üzerine etkisi daha azdır [5].

Çizelge 4.10. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	
			Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	0,03 g	0,03 f
		15	0,09 e	0,09 de
		17	0,20 c	0,20 b
	150	13	0,02 g	0,02 f
		15	0,06 f	0,06 ef
		17	0,09 de	0,09 de
% 15	120	13	0,04 fgB	0,04 fA
		15	0,12 dB	0,15 cA
		17	0,25 bB	0,31 aA
	150	13	0,03 gA	0,03 fA
		15	0,06 fB	0,09 deA
		17	0,11 deB	0,16 cA
% 30	120	13	0,06 fB	0,10 dA
		15	0,19 cB	0,34 aA
		17	0,29 aA	0,34 aA
	150	13	0,05 fgB	0,09 deA
		15	0,11 dB	0,18 bcA
		17	0,18 cB	0,35 aA

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır (p<0,05).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır (p<0,05).

Moore et al. [85] ekstrüzyon ürünlerinde YY değerlerinin artan kepek miktarları ile beraber artış gösterdiğini bildirmiştir. Araştırmacılar kepek içeriğinin % 0'dan % 16'ya çıkarılması ile piksel alan başına düşen hücre sayısının büyük oranda artmasına karşı, ortalama hücre büyüklüğünün azaldığını belirlemiştir. Bu durum;

kepeğin hücre duvarlarının uzayabilirliğini azaltması ve kepek partikül büyüklüğüne bağlı olan bir kritik kalınlık değerinde hücrelerin zamanından önce çatlamasına yol açması suretiyle kabarcık genişlemesine engel olması ile açıklanmıştır [85].

Çalışmada aynı besleme nem içeriği değerinde üretilen ekstrüzyon ürünlerinde, namlu sıcaklığının 120 °C'den 150 °C'ye yükseltilmesi ile genel olarak ortalama YY değerlerinde azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.10.). Bu azalma besleme nem içeriğinin % 15 ve % 17 olduğu üretimlerde istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,05$), besleme nem içeriğinin % 13 olduğu üretimlerde ise önemsiz bulunmuştur.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde olduğu gibi, bu bölümde de EDN ilave edilerek üretilen ekstrüzyon ürünlerinde YY değerleri artan besleme nem içeriği ile beraber istatistiksel olarak önemli derecede artmış ($p<0,05$) ve Gİ değerleri ile ters orantılı bir ilişki göstermiştir.

4.2.3. Tekstür özellikleri

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde; "g" cinsinden ortalama sertlik değerleri Hi-Maize ilave edilenler için 149,54 - 925,39 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise 128,79 - 787,51 arasında, pik sayısı cinsinden ortalama gevreklik değerleri ise Hi-Maize ilave edilenler için 6,25 - 31,44 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise 6,69 - 31,19 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.11.).

Çalışma kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerleri incelendiğinde; namlu çıkış sıcaklığının 120 °C olduğu üretimlerde elde edilen değerlerin, 150 °C olanlara göre genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11.). Buna ilave olarak besleme nem içeriğinin % 13'ten % 15 - 17'ye yükseltilmesi ile söz konusu farkın istatistiksel olarak önemli hale geldiği ($p<0,05$) ve bu eğilimin ilave edilen her iki EDN için de benzer olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak EDN ilavesi sonucunda ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik değerlerinde (ilave edilen EDN miktarı ile orantılı olarak) artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar Jin et al. [52], Lue et al. [23] ve Robin et al. [5] tarafından elde edilen

sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Anılan araştırmacılar lif ilavesinin ekstrüzyon ürünlerinde porozite ve hava kabarcığı boyutlarında azalmaya; ancak kalınlaşan duvarlara bağlı olarak ürün sertliklerinde artışa neden olduğunu belirtmiştir. Yüksek sertlik değerlerinin, genellikle daha tır bir yapı ile sonuçlanan, daha kalın hücre duvarlarına sahip büyük hücreler ile ilgili olduğu; düşük sertlik değerlerinin ise genellikle daha gevrek bir yapı ile neticelenen daha ince hücre duvarlarına sahip çok sayıdaki küçük hücreler ile bağlantılı olduğu Rayas-Duarte et al. [28] tarafından ifade edilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama sertlik ve gevreklik değerleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Sertlik (g)		Gevreklik (pik sayısı)	
			Hi-Maize	Fibersym	Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	117,61 h	117,61 h	38,31 a	38,31 a
		15	255,25 efg	255,25 fg	23,81 d	23,81 d
		17	575,23 c	575,23 c	12,12 fg	12,12 hi
	150	13	101,55 h	101,55 h	35,12 b	35,12 b
		15	192,32 fgh	192,32 gh	30,19 c	30,19 c
		17	281,46 ef	281,46 efg	24,31 d	24,31 d
%15	120	13	195,78 fghA	173,48 ghA	29,06 cA	31,19 cA
		15	462,41 dA	410,66 dA	13,31 fA	15,44 fgA
		17	925,39 aA	787,51 aA	7,62 hiA	10,81 ijA
	150	13	149,54 ghA	128,79 hB	31,44 cA	30,19 cA
		15	245,52 efgA	187,00 ghB	22,94 dA	21,25 eA
		17	358,92 deA	401,34 deA	17,87 eA	12,44 hiB
% 30	120	13	285,64 efA	341,82 defA	23,50 dA	17,44 fB
		15	715,75 bA	636,10 bcA	10,12 ghA	10,81 ijA
		17	789,03 bA	786,71 aA	6,25 iA	6,69 kA
	150	13	182,61 fghB	262,24 fgA	24,50 dA	17,69 fB
		15	280,23 efA	330,44 defA	18,50 eA	14,50 ghB
		17	450,50 dB	745,50 abA	13,12 fA	8,37 jkB

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan oklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Çalışma kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama gevreklik değerleri incelendiğinde; yapılan tüm üretimler için EDN ilavesinin ortalama gevreklik değerlerinde istatistiksel olarak önemli derecede azalmaya neden olduğu ($p<0,05$), bu azalmanın ilave edilen EDN miktarının artmasıyla artış gösterdiği görülmektedir.

4.2.4. Suda çözünürlük

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin suda çözünürlük değerleri Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde ortalama suda çözünürlük değerleri; Hi-Maize ilave edilenler için % 26,27 - 44,11 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise % 21,90 - 38,96 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.12.).

Suda çözünürlük pek çok araştırmacı tarafından nişasta yıkımının bir ölçüsü olarak yorumlanmaktadır. Daha düşük suda çözünürlük değerlerine sahip ekstrüzyon ürünlerinde, daha az nişasta yıkımı ve bunun sonucu olarak daha düşük miktarda çözünebilen molekül söz konusu olmaktadır [48].

Hernández-Diaz et al. [36], buğday kepeği ilave edilen buğday unu/pinto fasulyesi unu karışımından elde edilen ekstrüzyon ürünlerinde suda çözünürlük değerlerinin artan besleme nem içeriği ile birlikte azalma gösterdiğini ve en düşük değerlere, yüksek besleme nem içeriği ile birlikte kepek içeriğinin de yüksek olduğu durumlarda ulaşıldığını rapor etmiştir.

Jin et al. [52] tarafından, mısır unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinde kepek içeriğinin arttırılması sonucunda suda çözünürlük değerlerinde de artış olduğu belirtilmiş; ancak Hashimoto ve Grossmann [22] tarafından tapyoka lifi ve tapyoka unu kullanılarak üretilen ekstrüzyon ürünlerinde lif oranının arttırılması ile suda çözünürlük değerinin azaldığı bildirilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinde, Hashimoto ve Grossmann [22]'ın bulguları ile uyumlu olarak ilave edilen EDN miktarının artması ile birlikte suda çözünürlük değerlerinde istatistiksel olarak önemli miktarda azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 4.12. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama suda çözünürlük değerleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Suda Çözünürlük (%)	
			Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	39,94 d	39,94 de
		15	55,20 a	55,20 a
		17	43,48 c	43,48 c
	150	13	41,17 d	41,17 d
		15	48,20 b	48,20 b
		17	37,86 ef	37,86 fg
% 15	120	13	39,34 deA	36,68 gB
		15	44,11 cA	38,96 efB
		17	37,80 efA	31,98 hB
	150	13	36,75 fB	37,78 fgA
		15	37,40 efA	38,19 efgA
		17	29,97 hA	28,90 ijA
% 30	120	13	31,76 ghA	29,96 iB
		15	31,07 ghA	28,08 jkB
		17	26,32 iA	21,90 lB
	150	13	32,85 gA	30,45 hiB
		15	31,11 ghA	26,56 kB
		17	26,27 iA	22,75 lB

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Üretimde kullanılan farklı iki EDN'nin ekstrüzyon ürünlerinin suda çözünürlük değerleri üzerine etkisine bakıldığında, bir EDN4 olan Fibersym ilave edilen ürünlerin suda çözünürlük değerleri, bir EDN2 olan Hi-Maize ilave edilenlere göre genel olarak daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.12.). Bu durum kimyasal olarak modifiye edilmiş enzime dirençli nişastanın (EDN4) sert ekstrüzyon koşullarına daha fazla direnç gösterdiğini ve buna bağlı olarak ekstrüzyon prosesi sonucunda daha az miktarda suda çözünebilir zedelenmiş nişasta oluştuğunu göstermektedir.

4.2.5. Su bağlama kapasitesi

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri Çizelge 4.13.'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasitesi değerleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Su Bağlama Kapasitesi (%)	
			Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	289,55 bc	289,55 c
		15	197,37 j	197,37 k
		17	277,88 cd	277,88 d
	150	13	298,65 b	298,65 bc
		15	241,77 gh	241,77 hi
		17	315,90 a	315,90 a
% 15	120	13	252,70 efgB	268,38 deA
		15	219,38 iB	251,67 fghA
		17	268,69 dB	303,08 bA
	150	13	266,89 deA	262,93 efA
		15	252,54 efgA	255,50 fgA
		17	302,99 abA	304,87 bA
% 30	120	13	231,63 hiA	224,64 jA
		15	236,95 hB	248,26 ghiA
		17	264,24 defB	275,33 dA
	150	13	238,92 ghA	237,00 iA
		15	230,05 hiA	241,50 hiA
		17	252,00 fgA	253,68 fgA

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde ortalama su bağlama kapasitesi değerleri; Hi-Maize ilave edilenler için % 219,38 - 302,99 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise % 224,64 - 304,87 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.13.).

Mısır lifi ve mısır nişastası karışımları ile çalışan Artz et al. [86], karışımdaki lif oranının artmasıyla su bağlama kapasitesinin azaldığı sonucuna ulaşmış ve bu durumu, jelatinize mısır nişastasının mısır lifinin ana bileşenleri olan hemiselüloz

ve selülozdan daha fazla su bağlama kapasitesine sahip olması ile açıklamıştır. Jelatinize nişasta miktarındaki azalma, ekstrüde ürünün su bağlama kapasitesini azaltmaktadır. Singh et al. [31], pirinç ununa bezelye irmiği ilave edilmesiyle su bağlama kapasitesinde bir azalma gözlemlenmiş ve bu azalmayı pirinç unu - bezelye irmiği karışımındaki nişasta miktarının seyrelmesine bağlamıştır. Çalışma kapsamında üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama su bağlama kapasite değerlerine bakıldığında, düşük besleme nem değerinde (% 13) yapılan üretimlerde ilave edilen EDN miktarındaki artış ile istatistiksel olarak önemli oranda azalma olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$); ancak diğer besleme nem değerlerinde (% 15 ve % 17) yapılan üretimler için herhangi bir eğilim tespit edilememiştir (Çizelge 4.13.).

4.2.6. Besinsel lif içeriği

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize veya Fibersym ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri Çizelge 4.14.'te verilmiştir.

EDN ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde ortalama besinsel lif içerikleri; Hi-Maize ilave edilenler için % 9,70 - 17,32 arasında, Fibersym ilave edilenler için ise % 10,34 - 22,22 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.14.).

Ekstrüzyon işlemine tabi tutulan galeta ununa ilave edilen EDN miktarının artırılması ile ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri beklendiği üzere artış göstermiştir. Söz konusu artışın besleme nem içeriği ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Yüzde 13'lük besleme nem içeriğinde üretilen ürünlerde en düşük bulunan ortalama besinsel lif içerikleri, % 15'lik besleme nem içeriğinde üretilenlerde bir miktar artış göstermiş ve % 17'lik besleme nem içeriğinde üretilenlerde ise istatistiksel olarak önemli derecede bir artış göstererek en üst seviyeye ulaşmıştır ($p<0,05$).

Namlu çıkış sıcaklıklarının ortalama besinsel lif içerikleri üzerine etkisine bakıldığında, sıcaklığın 120 °C'tan 150 °C'a yükseltilmesi ile ortalama besinsel lif içeriklerinde genellikle istatistiksel olarak önemli bir değişim görülmemiştir.

Çizelge 4.14. Farklı oranlarda EDN ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri

İlave Edilen EDN (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	Besinsel Lif İçeriği (%)	
			Hi-Maize	Fibersym
% 0	120	13	6,38 fg	6,38 gh
		15	6,62 fg	6,62 gh
		17	6,94 fg	6,94 gh
	150	13	6,16 fg	6,16 gh
		15	6,59 fg	6,59 gh
		17	7,28 f	7,28 g
% 15	120	13	9,70 eA	10,34 fA
		15	11,76 cdB	15,21 deA
		17	12,61 cB	15,90 cdA
	150	13	10,55 deA	10,48 fA
		15	11,39 cdB	14,66 eA
		17	12,55 cB	15,59 cdeA
% 30	120	13	11,01 dA	10,52 fA
		15	14,75 bB	16,41 bcA
		17	17,32 aB	22,22 aA
	150	13	11,78 cdA	11,24 fA
		15	15,02 bB	17,12 bA
		17	16,27 aB	21,99 aA

* Aynı sütunda farklı küçük harfler ile gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

** Aynı satırda farklı büyük harfler ile gösterilen değerler arasında t-testi kullanılarak ikili karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Ozturk et al., [87] tarafından farklı oranlarda ticari EDN2 ve EDN3 ilave edilen buğday unlarından ekmek üretilmiş ve ekmekteki EDN içeriklerinin eklenen EDN tipine bağlı olduğu ve EDN3'ün, EDN2'ye göre ekmek pişirme işleminden daha az kayba uğramış olarak çıktığı gösterilmiştir. Özet olarak farklı EDN tipleri üretim proseslerinden farklı şekilde etkilenmektedir.

İlave edilen EDN tipinin ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içerikleri üzerine etkisi incelendiğinde; yüksek besleme nem içeriği değerlerinde (% 15 ve % 17) bir EDN4 olan Fibersym ilave edilmiş olan ürünlerde ortalama besinsel lif içeriklerinin, bir EDN2 olan Hi-Maize ilave edilmiş olanlara göre istatistiksel olarak önemli oranda yüksek olduğu görülmüştür. Ancak düşük besleme nem içeriği

değerinde (% 13) üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama besinsel lif içeriklerinde her iki EDN arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($p < 0,05$; Çizelge 4.14.). Besleme nem içeriği azaldıkça ekstrüder içerisindeki erimiş maddenin maruz kaldığı kesme kuvveti artmakta ve buna bağlı olarak üretim koşulları sertleşmektedir. Bunun yanında EDN4'ler, kimyasal bağlar ile bağlanmış olmalarından dolayı EDN2'lerden daha sağlam bir yapıya sahiptir ve bu nedenle nispeten daha ılımlı koşullarda yapılan ekstrüzyon işlemlerinde daha az parçalanmaya uğramaktadır. Sonuç olarak % 15 ve % 17 gibi daha yüksek besleme nemlerinde Fibersym (EDN4)'in, Hi-Maize (EDN2)'den daha fazla direnç göstermesinden dolayı daha az parçalandığı ve bunun sonucunda Fibersym içeren ekstrüzyon ürünlerinde ortalama besinsel lif içeriklerinin Hi-Maize içerenlere göre daha yüksek bulunduğu değerlendirilmiştir. Ancak üretim koşullarının, besleme nem içeriğinin % 13'e indirilmesi suretiyle daha da sertleştirilmesi ile Fibersym'in da parçalanmaya başladığı ve bu nedenle anılan besleme nem değerinde üretilen Hi-Maize ve Fibersym ilave edilmiş ekstrüzyon ürünleri arasında ortalama besinsel lif içeriği açısından önemli bir farkın ortaya çıkmadığı sonucuna varılmıştır.

4.2.7. EDN içeriği

EDN olarak farklı oranlarda Hi-Maize ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri Çizelge 4.15.'te verilmiştir.

EDN olarak Hi-Maize ilave edilen ekstrüzyon ürünlerinde ortalama EDN içerikleri 5,43 - 14,57 g/100 g arasında bulunmuştur (Çizelge 4.15.). Kullanılan EDN tayin metodu, EDN4'ün tespitine imkân tanımadığından EDN olarak Fibersym ilave edilmiş GUE'lerde EDN içeriklerine bakılmamıştır.

Genel olarak ekstrüzyon pişirme işleminde, şiddetin artması ile enzimatik hidrolize olan yatkinlik artmakta ve buna bağlı olarak EDN miktarı azalmaktadır. Araştırmacıların düşük şiddet olarak tanımladıkları işlemlerde (düşük namlu sıcaklığı, düşük besleme nem içeriği ve/veya yüksek besleme hızı) nişastada meydana gelen parçalanma ve değişiklikler serbest şeker içeriğini etkilememekte, hidroliz söz konusu olmamaktadır. Ekstrüzyon işleminin şiddetinin artması ile nişasta daha fazla jelatinize olmaktadır. Bu kapsamda nişasta granülleri fiziksel olarak kırılmakta, kristal yapıları açılmakta ve böylece hidrolitik enzimlerin erişimi kolaylaşmış ve dolayısıyla EDN içeriği azalmış olmaktadır [79].

Çizelge 4.15. Farklı oranlarda Hi-Maize ilave edilen galeta unundan üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri

İlave Edilen Hi-Maize (%)	Namlu Sıcaklığı (°C)	Besleme Nem İçeriği (%)	EDN İçeriği (g/100g)
% 0	120	13	0,76 h
		17	1,34 h
	150	13	0,87 h
		17	1,29 h
% 15	120	13	5,96 fg
		17	6,96 e
	150	13	5,43 g
		17	6,47 ef
% 30	120	13	9,06 c
		17	14,57 a
	150	13	8,07 d
		17	11,51 b

* Aynı sütunda farklı harfle gösterilen değerler arasında Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bir fark vardır ($p<0,05$).

Tez çalışması kapsamında ulaşılan sonuçlar Martinez et al. [79]'in sonuçları ile kısmen uyum göstermektedir. Hi-Maize ilave edilen galeta unundan farklı namlu sıcaklığı ve besleme nem içeriklerinde üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri incelendiğinde, namlu sıcaklığının 120 °C'den 150 °C'ye çıkartılması ile ortalama EDN içeriklerinde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma Hi-Maize ilavesinin % 30 olduğu ekstrüzyon ürünleri için istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$; Çizelge 4.15.). Ancak aynı namlu sıcaklık değeri için, besleme nem içeriğinin üretilen ekstrüzyon ürünlerinin ortalama EDN içerikleri üzerine etkisine bakıldığında; Martinez et al. [79] tarafından ulaşılan sonuçların aksine, düşük besleme nem içeriklerinde EDN içeriklerinin daha düşük olduğu ve EDN içeriklerindeki bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Bunun nedeninin düşük besleme nem içeriklerinde ekstrüder içerisindeki erimiş maddenin maruz kaldığı kesme kuvvetinin artması ve buna bağlı olarak fiziksel olarak parçalanmış EDN miktarının artması olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın ilk bölümünde, ekmeklik buğday unu ile aynı undan üretilen ekmeklerin kurutulması, öğütülmesi ve elenmesi ile elde edilen galeta unundan ekstrüzyon ürünleri üretilmiştir. Ekstrüzyon pişirme prosesinde sistem parametrelerinden besleme nem içeriği ve namlu çıkış sıcaklığının ekstrüzyon ürünleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada üretilen ekstrüzyon ürünleri, bazı fiziksel ve fonksiyonel özellikler bakımından incelemeye tabi tutulmuştur. Bu maksatla söz konusu ürünlerin genişleme indeksi, yığın yoğunluğu, tekstür özellikleri (sertlik ve gevreklik), suda çözünürlük, su bağlama kapasitesi, besinsel lif içeriği ve EDN içeriği değerlerine bakılmıştır.

Ekstrüzyon ürünlerinde genişleme indeksi, yığın yoğunluğu ve tekstür özelliklerinin tüketici memnuniyeti üzerine önemli etkileri mevcuttur. Yüksek genişleme indeksi ve gevreklik değerleri ile düşük yığın yoğunluğu ve sertlik değerleri bu açıdan önem taşımaktadır. Bu kapsamda, genel olarak GUE'lerin BUE'lere göre daha iyi fiziksel özelliklere sahip oldukları tespit edilmiştir. En iyi sonuçlar düşük besleme nem içeriğine (% 13) sahip GUE'lerde alınmış, çalışılan farklı namlu çıkış sıcaklıklarının ürün üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu bulgulanmıştır. Çalışma kapsamında besleme nem içeriğinin ekstrüzyon ürünü fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi önemli bulunurken, namlu çıkış sıcaklığının etkisinin, düşük besleme nem içeriğinde fazla olmadığı; ancak artan besleme nem içeriği ile birlikte artış gösterdiği belirlenmiştir.

GUE'lerin BUE'lere göre bir diğer avantajı, sahip oldukları daha yüksek besinsel lif içerikleri olmuştur. Söz konusu farkın, nişastanın ekmeğin pişirme aşamasındaki jelatinizasyonu ile depolama aşamasındaki retrogradasyonu sonucundaki EDN3 oluşumundan kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir. Genellikle ekstrüzyon ürünlerinde besinsel lif içeriğinin artması, ürünlerin fiziksel özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Ancak bu çalışmada BUE'lerin ortalama besinsel lif içerikleri % 4,58 - 5,50 aralığı içerisinde yer alırken, GUE'lerin ortalama besinsel lif içerikleri daha yüksek bulunmuştur (% 5,75 - 7,28). Yani GUE'ler daha iyi fiziksel özelliklerinin yanı sıra daha yüksek besinsel lif içerikleri ile de BUE'lerden olumlu olarak ayrılmıştır. Bu sonuçlar ile galeta ununun ekstrüzyon pişirme tekniğinde

hammadde olarak büyük bir potansiyele sahip olduğu ve galeta unu ekstrüzyonu sonucunda yüksek katma değerli yeni bir ürün grubunun geliştirilebileceği ortaya konulmuştur. Bunun da özellikle ekmek fabrikaları ile fırınlarda üretim aşamasındaki çeşitli hatalardan dolayı kenara ayrılmış olan veya satılmayan ekmeklerin değerlendirilmesinde önemli bir seçenek oluşturabileceği ve böylece ekmek üretim yerlerinde yaşanan ekmek israfının azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise galeta ununa farklı oranlarda EDN ilave edilerek ekstrüzyon ürünlerine fonksiyonellik kazandırılması hedeflenmiş, ayrıca sistem parametrelerinden besleme nem içeriği ve namlu çıkış sıcaklığının EDN ilave edilmiş ekstrüzyon ürünleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada Hi-Maize (EDN2) ve Fibersym (EDN4) olmak üzere iki farklı tipte EDN kullanılmış ve bunların belirli oranlardaki kullanımlarının ekstrüzyon ürünleri üzerindeki etkilerine bakılmıştır.

Galeta ununa EDN ilave edilmesi ile ekstrüzyon ürünlerinin fiziksel özelliklerinden genişleme indeksi ve gevreklik değerlerinde düşüş, yığın yoğunluğu ile sertlik değerlerinde ise artış meydana gelmiş ve bu değişimler ilave edilen EDN miktarının arttırılmasıyla birlikte artış göstermiştir. EDN ilavesi ekstrüzyon ürünlerinin hidrasyon özelliklerini de etkilemiştir. İlave edilen EDN miktarı arttıkça suda çözünürlük değerlerinde düşüş gözlenirken, su bağlama kapasitesi değerlerinde ise % 13'lük besleme nem içeriğinde yapılan üretimlerde düşüş olmuş; ancak diğer besleme nemlerinde yapılan üretimler için belirli bir eğilim tespit edilememiştir.

GUE'lerin besinsel lif içerikleri, galeta ununa ilave edilen EDN miktarı ile doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Besinsel lif içerikleri genel olarak besleme nem içeriği ile birlikte artış gösterirken, namlu sıcaklığının EDN ilave edilen GUE'lerin besinsel lif içerikleri üzerine genel olarak bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. İlave edilen EDN tipinin GUE'lerin besinsel lif içeriklerine etkisi incelendiğinde, % 13'lük besleme nem içeriğinde önemli bir farkın bulunmadığı; buna karşılık diğer besleme nemlerinde yapılan üretimlerde Fibersym (EDN4) ilave edilen GUE'lerin daha yüksek besinsel lif içeriklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bunun nedeninin EDN4'ün, EDN2'ye göre % 15 ve % 17'lik besleme nem içeriklerinde daha fazla direnç göstermesi olduğu ve besleme nem içeriğinin % 13'e düşürülmesi ile

EDN4'nin direncinin de daha sert ekstrüzyon koşullarına dayanamadığı sonucuna varılmıştır.

Kullanılan EDN tayin metodu, EDN4'ün tespitine imkân tanımadığından EDN4 ilave edilmiş GUE'lerde EDN tayini yapılmamıştır. EDN2 ilave edilen GUE'lerde besleme nem içeriğinin artırılması ile EDN içeriklerinde artış görülmüştür. Namlu sıcaklığının artırılması ile GUE'lerin EDN içeriklerinde azalma gözlenmiş, ilave edilen EDN2 miktarının artması ile azalma daha belirgin olmuştur.

Yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde, galeta ununa ilave edilen EDN2'nin ekstrüzyon ürünlerindeki Gİ ve YY değerleri üzerindeki olumsuz etkisi, EDN4'e oranla daha az olmuştur. Gevreklik değerleri açısından da EDN4 ilave edilen GUE'ler hiçbir üretim koşulunda EDN2 ilave edilen GUE'lerin üzerine çıkamamış; ancak sertlik değerleri bakımından % 15 EDN ilave edilen GUE'ler arasında EDN4 ilave edilenler iki farklı üretim koşulunda EDN2 ilave edilenlere göre daha düşük bulunmuştur (% 13 ve % 15 besleme nem içeriği - 150 °C namlu sıcaklığında yapılan üretimler). Suda çözünürlük değerleri açısından EDN2 ilave edilen GUE'ler, EDN4 ilave edilenlere göre daha yüksek bulunmuş, su bağlama kapasitesi değerleri karşılaştırıldığında ise genel olarak EDN4 ilave edilen GUE'lerin daha yüksek değerlere sahip oldukları görülmüştür.

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Beslenme ve Sağlık Beyanları Yönetmeliği'ne göre bir gıdanın "lifi artırılmış" olarak beyanının yapılabilmesi için "gıdanın benzer bir ürüne göre en az % 30 daha fazla lif içermesi"; "yüksek lif içerikli" olarak beyanının yapılabilmesi için ise "100 g gıdadaki lif miktarının en az 6 g olması" gerekmektedir. Üretilen tüm GUE'lerin (EDN ilave edilmeyen GUE'ler de dâhil olmak üzere) ölçülen besinsel lif içerikleri % 6'dan büyük bulunmuştur. Bu nedenle üretilen tüm GUE'ler için "yüksek lif içerikli" beyanında bulunulabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca üretim yapılan tüm ekstrüzyon koşullarında EDN ilave edilen GUE'lerin, EDN ilave edilmeyen GUE'lere göre en az % 30 daha fazla besinsel lif içerdikleri görülmüştür. Bu kapsamda EDN ilave edilen tüm GUE'ler için "lifi artırılmış" beyanında bulunulabileceği sonucuna varılmıştır.

Endüstriyel fırınlar için üretim hatalı ekmekler ve satılmayan ekmeklerin değerlendirilerek israfın azaltılması önem arz etmektedir. Yapılan çalışma ile, bu

ekmeklerin yenilikçi fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılabileceği ve ekstrüzyon pişirmenin EDN eklenmiş galeta unlarının işlenmesinde iyi bir alternatif olabileceği gösterilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., Driedger, D., Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack, *Food Research International*, 43, 650-658, **2010**.
- [2] Peksa, A., Kita, A., Carbonell-Barrachina, A.A., Miedzianka, J., Kolniak-Ostek, J., Tajner-Czopek, A., Rytel, E., Siwek, A., Miarka, D., Drozd, W., Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions, *Food Science and Technology*, 72, 26-36, **2016**.
- [3] Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H., Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review, *Food Chemistry*, 124, 411-421, **2011**.
- [4] Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., Brennan, C.S., The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products, *Journal of Cereal Science*, 58, 216-227, **2013**.
- [5] Robin, F., Schuchmann, H.P., Palzer, S., Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities, *Trends in Food Science & Technology*, 28, 23-32, **2012**.
- [6] Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sánchez-Zapata, E., Pérez-Álvarez, J.A., Resistant starch as functional ingredient: A review, *Food Research International*, 43, 931-942, **2010**.
- [7] Chung, H.J., Donner, E., Liu, Q., *Resistant Starches in Foods*, Comprehensive Biotechnology (Second Edition), 4, 527-534, **2011**.
- [8] Moscicki, L., van Zuilichem, D.J., *Extrusion-Cooking and Related Technique*, (ed: Moscicki, L., Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability, WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 1-24, **2011**.
- [9] Guy, R., *Introduction*, (ed: Guy, R., Extrusion Cooking: Technologies and Applications, CRC Press Inc., FL, USA, 2-3, **2001**.
- [10] Guy, R., *Raw materials for extrusion cooking*, (ed: Guy, R., Extrusion Cooking: Technologies and Applications, CRC Press Inc., FL, USA, 5-28, **2001**.
- [11] Chessari, C.J. and Sellaheewa, J.N., Effective process control, (ed: Guy, R., Extrusion Cooking: Technologies and Applications, CRC Press Inc., FL, USA, 83-107, **2001**.
- [12] Asare, E.K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., Afoakwa, E.O., Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5), 431-439, **2004**.
- [13] Moraru, C.I. and Kokini J.L., Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereals Foods, *Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 147-165, **2003**.

- [14] Yağcı, S. and Göğüş, F., Quality Control Parameters of Extrudates and Methods for Determination, (ed. Maskan, M. and Altan, A., Advances in Food Extrusion Technology, CRC Press, NW, USA, 297-326, **2012**.
- [15] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G., Marson, H., The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 66, 283-289, **2005**.
- [16] Sebio, L. and Chang, Y.K., Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates, *Nahrung/Food*, 44(2), 96-101, **2000**.
- [17] Chinnaswamy, R. and Hanna, M.A., Relationship Between Amylose Content and Extrusion-Expansion Properties of Corn Starches, *Cereal Chemistry*, 65(2),138-143, **1988**.
- [18] Ali, Y., Hanna, M.A., Chinnaswamy, R., Expansion Characteristics of Extruded Corn Grits, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 29, 702-707, **1996**.
- [19] Hagenimana, A., Ding, X., Fang, T., Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking, *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46, **2006**.
- [20] Yuliani, S., Torley, P.J., D'Arcy, B., Nicholson, T., Bhandari, B., Effect of extrusion parameters on flavour retention, functional and physical properties of mixtures of starch and D-limonene encapsulated in milk protein, *International Journal of Food Science and Technology*, 41(2), 83-94, **2006**.
- [21] Ryu, G.H. and Ng, P.K.W., Effects of Selected Process Parameters on Expansion and Mechanical Properties of Wheat Flour and Whole Cornmeal Extrudates, *Starch/Stärke*, 53, 147-154, **2001**.
- [22] Hashimoto, J.M. and, Grossmann, M.V.E., Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates, *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 511-517, **2003**.
- [23] Lue, S., Hsieh, F., Huff, H.E., 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, **1991**.
- [24] Köksel, H., Ryu, G.H., Başman, A., Demiralp, H., Ng, P.K.W., Effects of extrusion variables on the properties of waxy hulless barley extrudates, *Nahrung/Food*, 48(1), 19-24, **2004**.
- [25] Brennan, M.A., Monro, J.A., Brennan, C.S., 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, **2008**.
- [26] Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M., Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing, *Journal of Food Engineering*, 84, 231-242, **2008**.
- [27] Sobukola, O.P., Babajide, J.M., Ogunsade, O., Effect of brewers spent grain addition and extrusion parameters on some properties of extruded yam starch-based pasta, *Journal of Food Processing and Preservation*, 37, 734-743, **2013**.

- [28] Rayas-Duarte, P., Majewska, K., Doetkott, C., Effect of Extrusion Parameters on the Quality of Buckwheat Flour Mixes, *Cereal Chemistry*, 75(3), 338-345, **1998**.
- [29] Sun, Y. and Muthukumarappan, K., Changes in functionality of soy-based extrudates during single-screw extrusion processing, *International Journal of Food Properties*, 5(2), 379-389, **2002**.
- [30] Guha, M. and Ali, S.Z., Extrusion cooking of rice: Effect of amylose content and barrel temperature on product profile, *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 706-716, **2006**.
- [31] Singh, B., Sekhon, K.S., Singh, N., Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice, *Food Chemistry*, 100, 198-202, **2007**.
- [32] Doğan, H. and Karwe, M.V., Physicochemical properties of quinoa extrudates, *Food Science and Technology International*, 9(2), 101-114, **2003**.
- [33] Köksel, H., Ryu, G.H., Özboy-Özbas, Ö., Basman, A., Ng, P.K.W., Development of a bulgur-like product using extrusion cooking, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 630-636, **2003**.
- [34] Baik, B.K., Powers, J., Nguyen, L.T., Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals, *Cereal Chemistry*, 81(1), 94-99, **2004**.
- [35] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., Marson, H., The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 73, 142-148, **2006**.
- [36] Hernández-Díaz, J.R., Quintero-Ramos, A., Barnard J., Balandrán-Quintana, R.R., Functional Properties of Extrudates Prepared with Blends of Wheat/Pinto Bean Meal with Added Wheat Bran, *Food Science and Technology International*, 13(4), 301-308, **2007**.
- [37] Jafari, M., Koocheki, A., Milani, E., Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates, *Journal of Cereal Science*, 75, 324-331, **2017**.
- [38] Chanvrier, H., Appelqvist, I.A.M., Bird, A.R., Gilbert, E., Htoon, A., Li, Z., Lillford, P.J., Lopez-Rubio, A., Morell, M.K., Topping, D.L., Processing of Novel Elevated, Amylose Wheats: Functional Properties and Starch Digestibility of Extruded Products, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, 10248-10257, **2007**.
- [39] Mendonça, S., Grossmann, M.V.E., Verhé, R., Corn Bran as a Fibre Source in Expanded Snacks, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 33, 2-8, **2000**.
- [40] Lazou, A. and Krokida, M., Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks, *Journal of Food Engineering*, 100, 392-408, **2010**.
- [41] Duizer, L.M. and Winger, R.J., Instrumental measures of bite forces associated with crisp products, *Journal of Texture Studies*, 37, 1-15, **2006**.

- [42] Yao, N., Jannink, J.-L., Alavi, S., White, P.J., Physical and Sensory Characteristics of Extruded Products Made from Two Oat Lines with Different β -Glucan Concentrations, *Cereal Chemistry*, 83(6), 692-699, **2006**.
- [43] Kumar, N., Sarkar, B.C., Sharma, H.K., Development and characterization of extruded product of carrot pomace, rice flour and pulse powder, *African Journal of Food Science*, 4(11), 703-717, **2010**.
- [44] Gulati, P., Weier, S.A., Santra, D., Subbiah, J., Rose, D.J., Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*Panicum miliaceum*) flour, *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 114-122, **2016**.
- [45] Alam, M.S., Kaur, J., Khaira, H., Gupta, K., Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 445-473, **2016**.
- [46] Chang, Y.H. and Ng, P.K.W., Effects of Extrusion Process Variables on Quality Properties of Wheat-Ginseng Extrudates, *International Journal of Food Properties*, 14, 914-925, **2011**.
- [47] Altan, A. and Maskan, M., Development of Extruded Foods by Utilizing Food Industry By-Products, (ed. Maskan, M. and Altan, A., *Advances in Food Extrusion Technology*, CRC Press, NW, USA, 121-167, **2012**.
- [48] Tang, J. and Ding, X.-L., Relationship Between Functional Properties and Macromolecular Modifications of Extruded Corn Starch, *Cereal Chemistry*, 71(4), 364-369, **1994**.
- [49] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, Ş., The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products, *Food Chemistry*, 114, 226-232, **2009**.
- [50] Robin, F., Théoduloz, C., Gianfrancesco, A., Pineau, N., Schuchmann, H.P., Palzer, S., Starch transformation in bran-enriched extruded wheat flour, *Carbohydrate Polymers*, 85, 65-74, **2011**.
- [51] Seth, D., Badwaik, L.S., Ganapathy, V., Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food, *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830-1838, **2015**.
- [52] Jin, Z., Hsieh, F., Huff, H.E., 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, **1995**.
- [53] AACC Report, The Definition of Dietary Fiber, *Cereal Foods World*, 46(3), 112-126, **2001**. (<https://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/DFDef.pdf>)
- [54] Köksel, H., *Karbonhidratlar*, (Ed.: Saldamlı, İ., Gıda Kimyası, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye, 47-133, **2014**.
- [55] Almeida, E.L., Chang, Y.K., Steel, C.J., Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality, *Food Science and Technology*, 50, 545-553, **2013**.

- [56] Sharma, S.K., Bansal, S., Mangal, M., Dixit, A.K., Gupta, R.K., Mangal, A.K., Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional and Novel Fibr: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 1647-1661, **2016**.
- [57] Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., Tiwari, B.K., Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods, *Trends in Food Science & Technology*, 22, 570-575, **2011**.
- [58] Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO), Türkiye'de Ekmek İsrafı Araştırması, **2013**.
- [59] Pietrzak, W. and Kawa-Rygielska, J., Ethanol fermentation of waste bread using granular starch hydrolyzing enzyme: Effect of raw pretreatment, *Fuel*, 134, 250-256, **2014**.
- [60] Yuksel, F. and Kayacier, A., Utilization of stale bread in fried wheat chips: Response surface methodology study for the characterization of textural, morphologic, sensory, some physicochemical and chemical properties of wheat chips, *Food Science and Technology*, 67, 89-98, **2016**.
- [61] Benabda, O., Kasmi, M., Kachouri, F., Hamdi, M., Valorization of the powdered bread waste hydrolysate as growth medium for baker yeast, *Food and Bioproducts Processing*, 109, 1-8, **2018**.
- [62] Melikoglu, M. and Webb, C., *Use of Waste Bread to Produce Fermentation Products*, (Ed.: Kosseva, M. and Webb, C., Food Industry Wastes, Assessment and Recuperation of Commodities, Academic Press, CA, USA, 63-76, **2013**.
- [63] Masatcioglu, M.T., Yalcin, E., Hwan, P.J., Ryu, G.H., Celik, S., Koksel, H., Hull-less barley flour supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 302-309, **2014**.
- [64] Davidson, V., Paton, D., Diosady, L.L., Rubin, L.J., A model for mechanical degradation of wheat starch in a single screw extruder, *Journal of Food Science*, 49, 1154-1157, **1984**.
- [65] Alvarez-Martinez, L., Kondury, K.P., Harper, J.M., A general model for expansion of extruded products, *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615, **1988**.
- [66] Kokini, J.L., Chang, C.N., Lai, L.S., The role of rheological properties on extrudate expansion, (ed.: Kokini, J.L., Ho, C.-T., Karwe, M.V., *Food Extrusion Science and Technology*, Marcel Dekker, Inc., NY, USA, 631-652, **1992**.
- [67] Launay, B. and Lisch, L.M., Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates, *Journal of Food Engineering*, 2, 259-280, **1983**.
- [68] Cisneros, F.H. and Kokini, J.L., A generalized theory linking barrel fill length and air bubble entrapment during extrusion of starch, *Journal of Food Engineering*, 51, 139-149, **2002**.
- [69] Kamarudin, M.S., de Cruz, C.R., Saad, C.R., Romano, N., Ramezani-Fard, E., Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and

- broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets, *Animal Feed Science and Technology*, 236, 122-130, **2018**.
- [70] Tacer-Caba, Z., Nilufer-Erdil, D., Boyacioglu, M.H., Ng, P.K.W., Evaluating the effects of amylose and Concord grape extract powder substitution on physicochemical properties of wheat flour extrudates produced at different temperatures, *Food Chemistry*, 157, 476-484, **2014**.
 - [71] Mercier, C. and Feillet, P, Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products, *Cereal Chemistry*, 52, 283-297, **1975**.
 - [72] Njoki, P. and Faller, J.F., Development of an extruded plantain/corn/soy weaning food, *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 415-423, **2001**.
 - [73] Gutkoski, L.C. and El-Dash, A.A., Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products, *Plant Foods for Human Nutrition*, 54, 315-325, **1999**.
 - [74] Kanmani, N., Romano, N., Ebrahimi, M., Amin, S.M.N., Kamarudin, M.S., Karami, A., Kumar, V., Improvement of feed pellet characteristics by dietary pre-gelatinized starch and their subsequent effects on growth and physiology in tilapia, *Food Chemistry*, 239, 1037-1046, **2018**.
 - [75] Singh, N. and Smith, A.C., A Comparison of Wheat Starch, Whole Wheat Meal and Oat Flour in the Extrusion Cooking Process, *Journal of Food Engineering*, 34, 15-32, **1997**.
 - [76] Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., Herald, T., Precooked Bran-Enriched Wheat Flour Using Extrusion: Dietary Fiber Profile and Sensory Characteristics, *Journal of Food Science*, 73, 173-179, **2008**.
 - [77] Faraj, A., Vasanthan, T., Hoover, R., The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours, *Food Research International*, 37, 517-525, **2004**.
 - [78] Dupuis, J.H., Liu, Q., Yada, R.Y., Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 1219-1234, **2014**.
 - [79] Martínez, M.M., Rosell, C.M., Gómez, M., Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions, *Journal of Food Engineering*, 143, 74-79, **2014**.
 - [80] Kim, J.H., Tanhehco, E.J., Ng, P.K.W., Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour, *Food Chemistry*, 99, 718-723, **2006**.
 - [81] Onwulata, C.I., Konstance, R.P., Smith, P.W., Holsinger, V.H., Co-extrusion of Dietary Fiber and Milk Proteins in Expanded Corn Products, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 34, 424-429, **2001**.
 - [82] Yanniotis, S., Petraki, A., Soumpasi, E., Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch, *Journal of Food Engineering*, 80, 594-599, **2007**.
 - [83] Grenus, K.M., Hsieh, F., Huff, H.E., Extrusion and extrudate properties of rice flour, *Journal of Food Engineering*, 18, 229-245, **1993**.

- [84] Ainsworth, P., İbanoğlu, Ş., Plunkett, A., İbanoğlu, E., Stojceska, V., Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack, *Journal of Food Engineering*, 81, 702-709, **2007**.
- [85] Moore, D., Sanei, A., van Hecke, E., Bouvier, J.M., Effect of Ingredients on Physical/Structural Properties of Extrudates, *Food Science*, 55, 1383-1387, **1990**.
- [86] Artz, W.E., Warren, C., Villota, R., Twin-Screw Extrusion Modification of a Corn Fiber and Corn Starch Extruded Blend, *Food Science*, 55, 746-754, **1990**.
- [87] Ozturk, S., Koksel, H., Ng, P.K.W., Farinograph properties and bread quality of flours supplemented with resistant starch, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 449-457, **2009**.



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Markus Nail SAMRAY
Doğum Yeri : Berlin, Almanya
Medeni Hali : Evli
E-posta : markusnail@yahoo.co.uk
Adresi : Altay Mahallesi 2663.Cadde No.:14/5 Etimesgut, Ankara, Türkiye

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü (1991-1996)
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü (2013-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi

Almanca (YDS: 91,25 - 2018 İlkbahar Dönemi)
İngilizce (YDS: 90,00 - 2016 İlkbahar Dönemi)

İş Deneyimi

Bölge Satış ve Teknik Destek Sorumlusu, ORBA Biyokimya San. ve Tic. A.Ş.,
İstanbul, Türkiye (1998-2001)

Gıda Geliştirme ve Kontrol Uzmanı, Millî Savunma Bakanlığı ARGE ve Teknoloji
Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye (2001-2006)

Şartname Uzmanı, Millî Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi Başkanlığı,
Ankara, Türkiye (2006-2017)

Millî Savunma Kariyer Uzmanı, Millî Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi
Başkanlığı, Ankara, Türkiye (2017-...)

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

Samray, M.N.; Masatcioglu, M.T.; Koksel, H., 2016, Bread Crumbs Extrudates, 15th International Cereal and Bread Congress, April 18-21, 2016, İstanbul.





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 11/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: Enzime Dirençli Nişasta İlavesinin Galeta Unundan Üretilen Ekstrüzyon Ürünlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 66 sayfalık kısmına ilişkin, 11/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

11.06.2018

Adı Soyadı: Markus Nail SAMRAY
Öğrenci No: N13123523
Anabilim Dalı: Gıda Mühendisliği
Programı: Gıda Mühendisliği - Yüksek Lisans
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)