

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRONİZE EDİLMİŞ ŞEKER PANCARI LİFİNİN HAMUR VE EKMEK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

AYLA HANÇER

**DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

OCAK 2020

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRONİZE EDİLMİŞ ŞEKER PANCARI LİFİNİN HAMUR VE EKMEK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

AYLA HANÇER

**DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

OCAK 2020

Tezin Başlığı: Mikronize Edilmiş Şeker Pancarı Lifinin Hamur ve Ekmek Özellikleri
Üzerine Etkileri

Tezi Hazırlayan: Ayla HANÇER

Sınav Tarihi: 13 Ocak 2020

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Gıda Mühendisliği Anabilim
Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Kemal SARIOĞLU
Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. İhsan KARABULUT
(Danışman)
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Sedat SAYAR
Mersin Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan DURMAZ
İnönü Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi İncilay GÖKBULUT
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Kazım TÜRK
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**Mikronize Edilmiş Şeker Pancarı Lifinin Hamur ve Ekmek Özellikleri Üzerine Etkileri**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.



Ayla HANÇER

ÖZET

Doktora Tezi

MİKRONİZE EDİLMİŞ ŞEKER PANCARI LİFİNİN HAMUR VE EKMEK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ayla HANÇER

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

112 + xiii sayfa

2020

Danışman: Prof. Dr. İhsan KARABULUT

Bu çalışmada yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronize edilmiş şeker pancarı lifi ilavesinin hamurun reolojik ve tekstürel özellikleri ile ekmeğin kalite parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Besinsel lif elde etmek için farklı ekstraksiyon uygulamaları (su, etil alkol ve alkali çözelti) gerçekleştirilmiş ve lif örneklerinin mikronize edilmesinde 100 MPa basınçta çalışan yüksek basınç homojenizatörü kullanılmıştır. Mikronize ve liyofilize edilen besinsel lif örneklerinin fonksiyonel özellikleri incelenmiştir.

Yüksek basınç homojenizatöründe en etkin parçalanma, homojenizasyon prosesine 5 kez maruz bırakılan su ile ekstrakte edilmiş örneklerde gerçekleşmiştir. Suyu ekstrakte edilen ve yüksek basınç homojenizatörü ile mikronize edilen örneğin şişme, su ve yağ tutma kapasiteleri diğer uygulamalarla elde edilenlere kıyasla daha üstün bulunmuştur. Su ile ekstrakte edilmiş örneklerden hem mikronize edilmemiş hem de mikronize edilmiş şeker pancarı lifi örnekleri ekmeğin üretiminde kullanılmıştır.

Lif ilavesi, hamur örneklerinin G' (elastisite modülü) ve G'' (viskoz modülü) değerlerinde artışa yol açmış, daha elastik ve katı benzeri bir materyalin elde edilmesine neden olmuştur. Ayrıca, hamurların sertlik değeri artarken yapışkanlık ve adheziflik değerlerinde önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Ekmeğin örneklerine şeker pancarı lifi ilavesi hacim değerlerinin önemli düzeyde azalmasına yol açmıştır.

Ekmek örneklerine ait sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış meydana gelirken koheziflik ve esneklik gibi parametrelerde önemli bir değişim belirlenmemiştir. Lif ilave edilmiş bütün ekmekler duyuşal değerlendirmede panelistler tarafından kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sonunda yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilmiş şeker pancarı lifi örneklerinin, özellikle %4 ilave oranında, daha düşük sertlik ve daha yüksek esneklik değerlerine sahip ekmekler elde edilmesine olanak sağladığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: şeker pancarı lifi, mikronizasyon, partikül boyutu, hamur reolojisi, ekmek kalitesi

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

EFFECTS OF MICRONIZED SUGAR BEET FIBER ON THE PROPERTIES OF WHEAT DOUGH AND BREAD

Ayla HANÇER

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Food Engineering

112 + xiii pages

2020

Supervisor: Prof. Dr. İhsan KARABULUT

In this study, the effects of addition of sugar beet fiber micronized by high pressure homogenization on rheological and textural properties of dough and quality parameters of bread were investigated. In order to obtain dietary fiber, different extraction applications (water, ethyl alcohol and alkali solution) were performed and high pressure homogenizer operating at 100 MPa pressure was used for micronizing fiber samples. Functional properties of micronized and lyophilized dietary fiber samples were investigated.

In the high pressure homogenizer, the most efficient disruption occurred in the samples extracted with water and exposed to the homogenization process 5 times. Swelling, water and oil retention capacities of samples extracted with water and micronized with high pressure homogenizer were found to be superior to those obtained by other applications. Of the water-extracted samples, both non-micronized and micronized sugar beet fiber samples were used in bread production.

Sugar beet fiber addition resulted in an increase in G' (elastic modulus) and G'' (viscous modulus) values of dough samples, resulting in a more elastic and solid-like material. Furthermore, while the hardness values of the doughs increased, there was no significant change in gumminess and adhesiveness values. The addition of sugar beet fiber to bread samples led to a significant decrease in the volume values of the

samples. While hardness and chewiness values of bread samples increased, no significant change was determined in parameters such as cohesiveness and springiness. All fiber-added breads were considered acceptable by the panelists in sensory evaluation.

At the end of this study, it was determined that sugar beet fiber samples micronized by means of high pressure homogenization enable them to obtain bread with lower hardness and higher springiness values, especially at %4 addition rate.

KEYWORDS: Sugar beet fiber, micronization, particle size, dough rheology, bread quality



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, yardım ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İhsan KARABULUT'a,

Ekmeklerin üretimi ve analizleri sırasında her türlü bilgi ve yardımından faydalandığım değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi İncilay GÖKBULUT'a,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında ne zaman ihtiyacım olsa her daim yardımcı olan ve ayrıca manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli arkadaşım Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe BİLENLER'e,

Hamur örneklerinin reolojik analizinde yardımlarıyla destek olan Arş. Grv. Dr. Okan LEVENT'e,

Tezin düzenlenmesi aşamasında yardımlarıyla destek olan çalışma arkadaşlarım Öğr. Gör. Mukaddes GÜLER ve Öğr. Gör. Nurullah OKUYAN'a,

Şeker pancarı posasını temin etmemi sağlayan Malatya Şeker Fabrikası'na,

Tez çalışmama (2015/35 no'lu proje) maddi destek sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi doktora çalışmalarım sırasında da maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme,

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Besinsel Lifler	4
2.1.1. Besinsel lifin tanımı	4
2.1.2. Besinsel lifin bileşenleri	5
2.1.2.1. Selüloz.....	6
2.1.2.2. Hemiselülozlar	7
2.1.2.3. Pektinler	8
2.1.2.4. Hidrokolloidler	8
2.1.2.5. β -Glukanlar	9
2.1.2.6. Dirençli nişasta.....	9
2.1.2.7. Sindirilemeyen oligosakkaritler	10
2.1.2.8. Sentetik karbonhidrat bileşikleri	10
2.1.2.9. Lignin	10
2.1.2.10. İlişkili minör bileşenler	11
2.1.3. Besinsel lifin fizikokimyasal özellikleri.....	11
2.1.3.1. Çözünürlük.....	12
2.1.3.2. Su tutma kapasitesi.....	13
2.1.3.3. Viskozite ve jel oluşumu	14
2.1.3.4. Yağ tutma kapasitesi	14
2.1.3.5. Şelatlama kabiliyeti	14
2.1.3.6. Hacim arttırma kabiliyeti	15
2.1.3.7. Fermente edilebilirlik	15

2.1.4.	Besinsel lifin fizyolojik etkileri.....	16
2.2.	Şeker Pancarı.....	17
2.2.1.	Şeker pancarı posası	18
2.2.2.	Şeker pancarı lifi	19
2.2.2.1.	Şeker pancarı lifinin bileşimi ve yapısı	20
2.2.2.2.	Şeker pancarı lifinin fizikokimyasal özellikleri	21
2.2.2.2.1.	Katyon değişim kapasitesi.....	21
2.2.2.2.2.	Hidrasyon özellikleri	21
2.2.2.3.	Şeker pancarı lifinin fizyolojik etkileri	22
2.2.2.3.1.	Bağırsaktan geçiş süresi	22
2.2.2.3.2.	Dışkı hacmi ve konsistensi.....	23
2.2.2.3.3.	Kolesterol düzeyi.....	23
2.2.2.3.4.	Kan glukoz seviyesi	24
2.2.2.4.	Şeker pancarı lifinin modifikasyonu	25
2.2.2.5.	Şeker pancarı lifinin gıdalarda kullanımı	27
2.3.	Mikronizasyon.....	31
2.3.1.	Katı materyallerde boyut küçültme	32
2.3.1.1.	Jet öğütme	32
2.3.1.2.	Bilyeli öğütme	33
2.3.1.3.	Koloit değirmen.....	33
2.3.2.	Sıvı materyallerde boyut küçültme	34
2.3.2.1.	Ultrasonik homojenizasyon.....	34
2.3.2.2.	Mikrofluidizasyon	34
2.3.2.3.	Yüksek basınç homojenizasyonu	34
2.3.2.3.1.	Yüksek basınç homojenizatörünün yapısı ve çalışma mekanizması.....	36
2.3.2.3.2.	Yüksek basınç homojenizatöründe kırılma ve parçalanma teorileri	39
2.3.2.3.3.	Yüksek basınç homojenizasyonu uygulamalarının besinsel lifler üzerine etkileri.....	40
3.	MATERYAL VE METOT	46
3.1.	Materyal	46
3.2.	Yöntem	46
3.2.1.	Şeker pancarı lifinin elde edilmesi	46
3.2.1.1.	Suyla yıkama	46
3.2.1.2.	Etil alkol ile yıkama	46

3.2.1.3.	Alkali ile muamele	47
3.2.2.	Mikronize edilmemiş şeker pancarı lifinin hazırlanması	48
3.2.3.	Şeker pancarı lifinin mikronize edilmesi	48
3.2.4.	Kimyasal analizler	49
3.2.4.1.	Nem, protein, yağ ve kül analizleri	49
3.2.4.2.	Toplam, çözünmez ve çözünür lif tayini	49
3.2.5.	Partikül iriliği	50
3.2.6.	Lif örneklerinin renk analizi.....	50
3.2.7.	Partikül morfolojisi	50
3.2.8.	Fonksiyonel özellikler	51
3.2.8.1.	Şişme kapasitesi	51
3.2.8.2.	Su tutma kapasitesi	51
3.2.8.3.	Yağ tutma kapasitesi	51
3.2.8.4.	Yığın yoğunluğu.....	51
3.2.8.5.	Viskozite.....	51
3.2.9.	Hamur üretimi	52
3.2.10.	Hamur reolojisi.....	52
3.2.11.	Hamurun tekstürel özellikleri.....	52
3.2.12.	Ekmeğin yapımı	52
3.2.13.	Ekmeğin fizikokimyasal özellikleri	53
3.2.14.	Ekmeğin içi tekstür özellikleri	53
3.2.15.	Ekmeğin duyuşsal değerlendirmesi	53
3.2.16.	İstatistiksel analiz	54
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1.	Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Fizikokimyasal ve Fonksiyonel Özellikleri.....	55
4.1.1.	Nem, protein, yağ ve kül miktarları	55
4.1.2.	Toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarları	57
4.1.3.	Partikül büyüklüğü	60
4.1.4.	Lif rengi.....	64
4.1.5.	Partiküllerin morfolojisi	67
4.1.6.	Fonksiyonel özellikler	71
4.1.7.	Viskozite.....	77

4.2.	Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Hamur Özellikleri Üzerine Etkileri.....	78
4.2.1.	Hamur reolojisi.....	78
4.2.2.	Hamurun tekstürel özellikleri.....	81
4.3.	Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Ekmek Özellikleri Üzerine Etkileri.....	84
4.3.1.	Ekmeğin fizikokimyasal özellikleri	84
4.3.2.	Ekmeğin içi ve ekmeğin kabuğu rengi	86
4.3.3.	Ekmeğin içi tekstür özellikleri	88
4.3.4.	Ekmeğin örneklerinin duyu değerlendirilmesi.....	92
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
6.	KAYNAKLAR.....	99
7.	EKLER.....	111
	ÖZGEÇMİŞ	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

AACC	American Association of Cereal Chemists
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CAC	Codex Alimentarius Commission
FDA	Food and Drug Administration
FOS	Fruktooligosakkaritler
GOS	Galaktooligosakkaritler
HDL	High Density Lipoproteins
LDL	Low Density Lipoproteins
SAK	Su Absorpsiyon Kapasitesi
SEM	Scanning Electron Microscopy
STK	Su Tutma Kapasitesi
UYBH	Ultra Yüksek Basınç Homojenizasyonu
YBH	Yüksek Basınç Homojenizasyonu
YTK	Yağ Tutma Kapasitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hemiselüloz ve lignin tarafından çevrelenmiş selüloz fibrilleri.....	11
Şekil 2.2. Homojenizatörde homojenize edici valfin enine kesiti.....	38
Şekil 3.1. Şeker pancarı besinsel lifi hazırlama yöntemleri.....	47
Şekil 3.2. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin mikronize edilmesi.....	49
Şekil 4.1. Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneklerinin partikül büyüklüğü dağılımı	62
Şekil 4.2. Şeker pancarı posası ve şeker pancarı besinsel lifi örneklerine ait SEM görüntüleri.....	68
Şekil 4.3. Farklı oranda S lifi içeren hamur örneklerine ait elastisite modülü (G') ve viskoz modülü (G'') değerleri	79
Şekil 4.4. Farklı oranda Sm lifi içeren hamur örneklerine ait elastisite modülü (G') ve viskoz modülü (G'') değerleri	80
Şekil 4.5. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin hamurun tekstürel özellikleri üzerine etkisi	82
Şekil 4.6. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin tekstürel özellikleri üzerine etkisi	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Besinsel lif bileşenleri.....	6
Çizelge 2.2. Suda çözünebilme ve fermente edilebilme özelliklerine bağlı olarak besinsel lif bileşenlerinin sınıflandırılması	12
Çizelge 2.3. Yüksek basınç homojenizasyonu ve standart homojenizasyonun karşılaştırılması	36
Çizelge 4.1. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin kimyasal bileşimi	55
Çizelge 4.2. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarları	57
Çizelge 4.3. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin partikül büyüklüğü dağılımı üzerine yüksek basınç homojenizasyonunun etkisi.....	60
Çizelge 4.4. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin renk özellikleri	65
Çizelge 4.5. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin fonksiyonel özellikleri	72
Çizelge 4.6. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin viskozite değerleri.....	77
Çizelge 4.7. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi	85
Çizelge 4.8. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin kabuğu rengi üzerine etkisi	87
Çizelge 4.9. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin içi rengi üzerine etkisi	87
Çizelge 4.10. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin duyu özellikleri üzerine etkisi	94

1. GİRİŞ

Günümüzde tüketicilerde sağlıklı gıdalara doğru bir yönelim söz konusudur ve bu kapsamda yüksek lifli gıdalar talep edilmektedir (Felli vd., 2018). Besinsel lifler, bitkilerin insan sindirim enzimlerinin hidrolizine dirençli kısımlarıdır. Besinsel lif tüketimi; koroner kalp hastalıkları, diyabet ve belirli gastrointestinal hastalıklara dair riskin azaltılmasını da kapsayan sağlık açısından çeşitli yararlar sağlamakta (Wu ve Shiau, 2015) ve dolayısıyla besinsel lifler fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sağlık açısından değinilen olumlu etkilerin yanı sıra lifler, ilave edildikleri gıda ürünlerinin konsistensini, tekstürünü, reolojik özelliklerini ve duyuşal özelliklerini de etkileyebilmektedir (Rosell vd., 2009). Besinsel liflerin gıdalarda kullanımı; kimyasal kompozisyonlarına, su tutma kapasitesi, yağ adsorpsiyonu, viskozite, jel oluşturma gibi teknofonksiyonel özelliklerine ve kısmen de renk ve aroma gibi organoleptik karakteristiklerine bağlıdır (Rabetafika vd., 2014). Ekmek, günlük beslenmenin önemli bir parçasıdır ve beslenmede ihtiyaç duyulan, aynı zamanda biyolojik değeri olan bazı bileşenlerin eksikliğinin giderilmesinde, un bileşiminin modifikasyonu ile ekmek formülasyonu başarılı bir şekilde düzenlenebilmektedir. Ekmekte besinsel lif mevcudiyeti, ekmeğın besleyici değeri arttırmakta ve enerji değeri azaltmaktadır. Lif ilavesi hamurun reolojik özellikleri ve ekmeğın kalite parametrelerinde de değışime neden olmaktadır (Sorolja-Simovic vd., 2016b). Genel olarak, lif ilavesi ekmek hacmini azaltmakta, daha az gözenekli ve daha yoğun bir yapı ile beraber daha sert ve daha koyu renkli bir ekmek içi oluşturmaktadır. Lifi ekmek kalitesi üzerine etkisi çoğunlukla lifin türü ve bileşenleri, partikül boyutu ve miktarına bağlıdır (Ktenioudaki ve Gallagher, 2012). Besinsel liflerin su tutma ve tekstürel özelliklerinden yararlanılarak, ekmekte bayatlamayı önleyici/geciktirici etkiler oluşturulabilmektedir (Thebaudin vd., 1997). Ancak, pek çok gıda ürünü içerisine çözünmez besinsel lifin dahil edilmesi, özellikle renk ve tekstür açısından istenmeyen duyuşal değışikliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla, çözünmez besinsel lifin kalitesini geliştirmeye yönelik alternatif uygulamalar belirlemek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Böylece gıdanın albenisinden ödün vermeksizin çözünmez liflerin çeşitli gıdalara başarılı bir şekilde ilave edilebileceğı gösterilmiştir (Hu vd., 2015). Çeşitli çözünmez besinsel liflerin fizikokimyasal özelliklerini modifiye etmek için kullanılan farklı teknikler arasında mikronizasyon uygulamaları oldukça dikkat çekmiştir (Wang vd., 2012).

Geleneksel boyut küçültme metotları ile kıyaslandığında, mikro- ve nanoteknolojiler pek çok avantaja sahiptir. İlk olarak, daha küçük bir boyut daha büyük bir yüzey alanı anlamına gelmektedir ki bu durum da su absorpsiyonunun gelişmesi, yüksek çözünürlük, aroma salınımı ve hafif bir ağız hissine neden olmaktadır. Bununla birlikte, çok ince öğütme aracılığıyla boyut azalmasına bağlı olarak besleyici bileşenlerin çözünürlüğü artmakta ve bu bileşenler aynı zamanda insan vücudu tarafından kolaylıkla absorbe edilmektedir. İnce partiküllerin büyük spesifik yüzey alanına bağlı olarak, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlarda ürünün reaksiyon hızı etkili bir şekilde artmaktadır. Yüksek miktarda lif içeren materyallerde, geleneksel parçalama yöntemleri ürünü tam olarak öğütememekte ve çok miktarda atık oluşumuna yol açmaktadır. Mikron- ve nanoteknoloji, materyallerin aktif bileşenlerini zarar görmeden muhafaza etmek suretiyle gıdaların düşük sıcaklıkta ve kısa sürede öğütülmesi amacıyla kullanılabilen ve yüksek kaliteli ürünlerin üretimine olanak sağlamaktadır (Chen vd., 2018). Mikronizasyon teknikleri arasında en etkili yöntemlerden biri yüksek basınç homojenizasyonudur.

Yüksek basınç homojenizasyonu, gıda ürünlerinin işlenmesi amacıyla son zamanlarda araştırılan bir teknolojidir, ancak yalnızca sıvı yapıdaki materyallere uygulanabilmektedir (Espejo vd., 2014). Bu uygulama, geleneksel homojenizasyon metotlarında görülen aynı prensibe dayanmakta, fakat daha yüksek basınç seviyeleri kullanmaktadır. Gıda endüstrisinde kullanılan geleneksel homojenizasyon prosesleri 20 ile 50 MPa arasında basınç uygularken, yüksek basınç homojenizasyonu 100-400 MPa aralığında basınç uygulamaktadır (Lopes vd., 2018). Yüksek basınç homojenizasyon teknolojisi kimya, eczacılık, özel gıdalar ve biyoteknoloji gibi çeşitli endüstriyel sektörlerdeki farklı ürünleri disperslemek, karıştırmak, emülsifiye etmek ve işlemek amacıyla kullanılmaktadır (Floury vd., 2002). Homojenizasyon teknolojisi, homojenize edici bir valfin bağlı olduğu karşıt hareketli bir pompadan oluşmaktadır. Pompa, basınç altında akışkanları, homojenize edici valf boyunca hareket etmeye zorlamakta ve ardından sıvı, valf boyunca yüksek hızda akmaktadır. Akışkanın hızı arttıkça, basınç ani bir düşüş meydana getirerek azalmakta ve önem sırasına göre sıralanması ve ölçülmesi oldukça zor olan fakat materyal yapısını parçalamak için yeterli enerjiye sahip olan kavitasyon, kesme, türbülans ve sıcaklık artışı gibi olayların eş zamanlı olarak gerçekleşmesine neden olmaktadır (Siro ve Plackett, 2012; Jacquet vd., 2013).

Bitkisel gıdaların işlenmesi sırasında elde edilen yan ürünlerin değerli fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi gıdalardaki atık problemini azaltmaktadır. Şeker pancarı posası, şeker pancarından serbest şekerin ekstrakte edilmesinden sonra kalan bir yan üründür. Şeker endüstrisi aracılığıyla 1 ton şeker pancarının işlenmesinin ardından, %70-80 oranında su içeren yaklaşık 250 kg preslenmiş şeker pancarı posası artakalmaktadır (Misan vd., 2016; Bogdanovic vd., 2013). Ham şeker pancarı posası %20 selüloz, %25 hemiselüloz ve %25 oranında pektin içermekte ayrıca bileşiminde düşük miktarlarda protein, kül ve lignin bulunmaktadır. Başta pektin olmak üzere bazı polisakkaritler, bir dizi ekstraksiyonla uzaklaştırılarak farklı bileşimlerde kalıntı lif elde edilebilmektedir (Bertin vd., 1988). Uygun mikrobiyolojik özelliklerine ilaveten olumlu duyuşsal, fiziksel ve kimyasal özellikleri bu materyalin değerli bir lif kaynağı olmasını sağlamaktadır. Hububat kepeğine kıyasla şeker pancarı lifi, düşük fitat içeriğine ve daha iyi su bağlama ve tutma kapasitesine sahiptir. Yüksek fitat içeriği mineral absorpsiyonunu olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle beslenme uzmanlarının özel ilgi alanına girmektedir (Filipovic vd., 2007).

Farklı partikül iriliğine sahip şeker pancarı lifi örneklerinin ekmek ve diğer unlu mamullerde kullanıldığı çeşitli çalışmalar incelendiğinde, genellikle bu lif örneklerinin geleneksel öğütme metotları sonucu elde edildiği görülmektedir (Özboy ve Köksel, 1999; Filipovic vd., 2007; Öztürk vd., 2008; Sakac vd., 2011; Soronja Simovic vd., 2017). Bu çalışmanın amacı, yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronize edilmiş şeker pancarı lifinin farklı miktarlarda ilave edilmesinin hamurun reolojik ve tekstürel özellikleri ile ekmeğin kalite parametreleri üzerine etkilerini incelemektir.

Bu çalışmada şeker pancarı posası kullanılarak partikül iriliği küçültülmüş liflerin elde edilmesi üç farklı uygulama ile gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, “su ile yıkama”, “etil alkol ile yıkama” ve “ıslak fraksiyonlama” olarak adlandırılan uygulamalar ile şeker pancarı posasından şeker pancarı lifi elde edilmiş ve bu lifler yüksek basınç homojenizatöründen (nanodisperser) geçirmek suretiyle mikronize edilmiştir. İkinci aşamada elde edilen lif örneklerinin hidrasyon özellikleri (su tutma kapasitesi, şişme kapasitesi), yağ tutma kapasitesi, viskozite ve yoğunluk gibi fonksiyonel özellikleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise en uygun özelliklere sahip olduğu belirlenen lif örneği hamur ve ekmek formülasyonuna katılarak lif ilavesinin hamurun reolojik özellikleri ve ekmeğin kalite karakteristikleri üzerine etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Besinsel Lifler

2.1.1. Besinsel lifin tanımı

Besinsel lif selüloz, hemiselüloz, pektik maddeler, gamlar ve dirençli nişasta gibi oligo- ya da polisakkarit yapısındaki karbonhidrat polimeri ile lignin ve diğer karbonhidrat olmayan bileşenlerin (polifenoller, vakslar, saponinler, fitatlar ve dirençli proteinler) karışımını içermektedir (Elleuch vd., 2011). “Besinsel lif” terimi, bitki hücre duvarlarından elde edilen gıda bileşenlerinin tanımlanması kapsamında, ilk olarak 1953’te Hipsley tarafından ortaya atılmıştır. Besinsel lifin besin değeri ve fizyolojik rolü konusunda yapılan araştırmalardaki analitik gelişme ve ilerlemelerle birlikte, bu tanım da önemli ölçüde değişime uğramıştır (Macagnan vd., 2016). Besinsel lif 1972’de Trowell tarafından ilk başta “bitkilerin hücre duvarlarından türeyen ve insanlar tarafından sindirilemeyen kısımlar” olarak tanımlanmıştır. Gıdalara ilave edilen polisakkaritlerin bitki hücre duvarlarından elde edilenlere benzer etkilere sahip olduklarının farkına varılması, besinsel lifin Trowell tarafından 1976’da “insan ince bağırsağında sindirilemeyen polisakkaritler ve lignin” şeklinde yeniden tanımlanmasına neden olmuştur (Westerbrink vd., 2013). Amerikan Hububat Kimyacıları Birliği (AACC) tarafından besinsel lif için yapılan tanım ise şu şekildedir: Besinsel lif, insanların ince bağırsağında sindirime ve absorpsiyona dirençli, kalın bağırsakta kısmen veya tamamen fermente olabilen, bitki ya da benzeri karbonhidratların yenilebilen kısımlarıdır. Besinsel lifler, polisakkaritler, oligosakkaritler, lignin ve ilgili bitkisel materyalleri içerir. Besinsel liflerin laksatif etki ve/veya kan kolesterolünü düzenleyici etki ve/veya kan glukoz seviyesini düzenleyici etki gibi faydalı fizyolojik etkileri vardır (AACC, 2001). Besinsel lifin tanımına dair tartışma, 2008/2009’da Gıda Standartları Komisyonu (Codex Alimentarius Commission, CAC) tarafından sonlandırılmıştır. Bu komisyon besinsel lifi şu şekilde tanımlamaktadır (Codex, 2009): Besinsel lif, insan ince bağırsağındaki endojen enzimler tarafından hidrolize edilemeyen, 10 veya daha fazla monomerik birimden oluşan karbonhidrat polimerlerini ifade etmektedir ve aşağıdaki kategorilere ayrılır:

- Tüketilen gıdalarda doğal yolla oluşan karbonhidrat polimerleri,

- Yetkili kuruluşlar tarafından genel olarak kabul görmüş bilimsel kanıtlar aracılığıyla sağlık açısından yararlı bir fizyolojik etkiye sahip olduğu belirtilen ve gıda hammaddelerinden fiziksel, enzimatik veya kimyasal yollarla elde edilen karbonhidrat polimerleri,
- Yetkili kuruluşlar tarafından genel olarak kabul görmüş bilimsel kanıtlar aracılığıyla sağlık açısından yararlı bir fizyolojik etkiye sahip olduğu belirtilen sentetik karbonhidrat polimerleri

Yapısında 3-9 arasında monomere sahip karbonhidratların bu kapsama dahil edilip edilmeyeceği kararının ulusal makamlara bırakılması gerektiği bildirilmiştir.

AB komisyonu bu tanımı kabul etmiş ve 3 ya da daha fazla monomerik birime sahip olan tüm polimerleri dahil etmiştir. AB üyesi olan ya da olmayan ülkelerin yanı sıra Kanada ve Çin de bu polimerleri dahil etmeyi tercih ederken diğer ülkelerde bu konu ile ilgili herhangi bir karar verilmemiştir. Codex, AB ve diğer ülkeler tarafından kabul edilen bu tanım bir yandan gıdalara ilave edilen sindirilemeyen karbonhidratları kapsamaktadır, fakat diğer yandan ilave edilen bu liflerin sağlık açısından yararlı etkilerine dair genel olarak kabul görmüş bilimsel kanıtlara ihtiyaç duymaktadır (Westerbrink vd., 2013).

2.1.2. Besinsel lifin bileşenleri

AACC (2001) tarafından yapılan besinsel lif bileşenlerine dair sınıflandırma Çizelge 2.1'de görülmektedir. Besinsel lif esas olarak selüloz, hemiselülozlar ve pektinleri içeren bitki hücre duvarı bileşenleri olan karbonhidrat polimerlerinin (nişastasız polisakkaritler) yanı sıra, gamlar ve müsilaajlar gibi bitki veya alg kökenli diğer polisakkaritler ile inülin gibi oligosakkaritlerden oluşmaktadır. Polidekstroz gibi karbonhidrat polimerleri ile dirençli nişasta, frukto-oligosakkaritler, galakto-oligosakkaritler ve modifiye selüloz gibi ince bağırsaktan geçmeden geçen fakat kalın bağırsakta fermente olan benzer sindirilemeyen karbonhidratların da dahil edilmesi gerekmektedir. İlişkili maddeler, özellikle de lignin, ayrıca mumlar, kütin, saponinler, polifenoller, fitatlar ve fitosteroller de içeren minör bileşenler de dahil edilmektedir. Çünkü bunlar farklı lif analiz yöntemlerinde polisakkaritler ve oligosakkaritlerle birlikte ekstrakte edilmektedirler. Ancak, lignin hariç olmak üzere, ilişkili olarak adlandırılan bu maddeler izole edildiğinde besinsel lif olarak tanımlanamazlar (Mudgil ve Barak, 2013).

Çizelge 2.1. Besinsel lif bileşenleri (AACC, 2001)

Besinsel Lifin Bileşenleri
Niştasız Polisakkaritler ve Dirençli Oligosakkaritler
Selüloz
Hemiselüloz
Arabinoksilanlar
Arabinogalaktanlar
Polifruktozlar
Inülin
Oligofruktanlar
Galaktooligosakkaritler
Gamlar
Müsilajlar
Pektinler
Benzer Karbonhidratlar
Sindirilemeyen Dekstrinler
Dirençli Maltodekstrinler (mısır ve diğer kaynaklardan)
Dirençli Patates Dekstrinleri
Sentezlenmiş Karbonhidrat Bileşikleri
Polidekstroz
Metil selüloz
Hidroksipropilmetil selüloz
Sindirilemeyen ("dirençli") Niştastalar
Lignin
Bitkilerde Bulunan Niştasız Polisakkaritler ve Lignin Kompleksi ile İlişkili Maddeler
Mumlar
Fitat
Kütin
Saponinler
Suberin
Tanninler

2.1.2.1. Selüloz

Selüloz, doğada en çok bulunan polisakkarittir. Pek çok bitkinin hücre duvarının temel bir bileşenidir ve dolayısıyla meyveler, sebzeler ve tahıllarda bulunmaktadır. Her bir molekül için 10000 kadar glukoz monomer biriminden oluşan lineer, dallanmamış bir polisakkarittir. Lineer moleküller, uzun lif şeklinde sıkıca bir arada paketlenmişlerdir, oldukça çözünmez özelliktedirler ve insan vücudunda sentezlenen enzimler tarafından sindirime karşı dirençlidirler (Mudgil ve Barak, 2013). Selülozun mekanik mukavemeti, biyolojik parçalanmaya karşı direnci, suda düşük çözünürlüğü

ve asit hidrolizine karşı direnci, mikrofibriller arasındaki hidrojen bağlarından kaynaklanmaktadır. Selülozun kuvvetli alkalide çözünmediği belirtilmiştir (Aspinall, 1970) ve selülozun “amorf” olarak adlandırılan ve asit ile çok kolay bir şekilde hidrolize edilebilen bir kısmı (%10-15) mevcuttur (Dhingra vd., 2012).

Selüloz tahıllar ve meyvelerdeki besinsel lifin dörtte birini, sebzeler ve sert kabuklu meyvelerdeki besinsel lifin ise üçte birini oluşturmaktadır. Buğday kepeği, selüloz ya da çözünmez besinsel lif bakımından zengin bir kaynaktır. Suda çözünmeme özelliği olan selüloz, dışkı hacmini arttırmaya yardımcı olan dolayısıyla da düzenli bağırsak hareketlerini teşvik eden su bağlama kabiliyetine sahiptir. İnsanlar selülozu sindirememekle birlikte, bağırsakta faydalı mikroflora tarafından kısmi sindirimi gerçekleşmektedir. Selülozun yaklaşık %50’si kalın bağırsakta doğal fermantasyonla parçalanmakta ve bağırsak hücrelerini besleyen önemli miktarda kısa zincirli yağ asidi meydana gelmektedir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.2.2. Hemiselülozlar

Selüloz gibi hemiselülozlar da bitki hücre duvarının polisakkarit yapısında bileşenidirler. Fakat glukoz dışında diğer bazı monomer birimlerine sahip olması bakımından selülozdan farklılık göstermektedirler. Hemiselüloz, selülozdan daha küçük olan, tipik olarak 50-200 pentoz birimi (ksiloz ve arabinoz) ve heksoz biriminden (glukoz, galaktoz, mannoz, ramnoz, glukuronik ve galakturonik asitler) oluşan hem lineer hem de dallanmış moleküller içermektedir. Dolayısıyla hemiselüloz ismi, bitkisel gıdalarda suda çözünür ve çözünmez formlarda bulunan bir grup heterojen kimyasal yapıyı tanımlamaktadır (Mudgil ve Barak, 2013). Hemiselülozlar, suda çözünen polisakkaritler ve pektik polisakkaritlerin uzaklaştırılmasının ardından sulu alkali aracılığıyla çözündürülen hücre duvarı polisakkaritleridir (Kay, 1982; Dhingra vd., 2012). Yapısal olarak hemiselüloz, bitkilerin coğrafi kökenleri ve kaynaklarındaki farklılıklar dolayısıyla yapısı ve bileşimi bakımından heterojendir (Ozyurt ve Ötles, 2016).

Sebzeler, meyveler, baklagiller ve sert kabuklu meyvelerde bulunan besinsel lifin yaklaşık üçte birini hemiselülozlar oluşturmaktadır. Hemiselülozlar dışkının hidrasyonunu arttırmak suretiyle düzenli bağırsak hareketlerini desteklemektedirler. Aynı zamanda, bağırsakta kolesterolü doğrudan bağlamakta ve kolesterol absorpsiyonunu engellemektedirler. Bağırsaktaki bakteriler hemiselülozları

parçalamak suretiyle bağırsaktaki yararlı bakterilerin sayısını arttırmakta ve kolondaki hücrelerin yakıt olarak kullandığı kısa zincirli yağ asitlerini oluşturmaktadırlar ve kolesterolü azaltmaktadırlar (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.2.3. Pektinler

Pektinler, bitki hücre duvarlarının yanı sıra meyve ve sebzelerin dış katmanlarında ve meyve kabuğunda bulunan polisakkaritlerdir. Örneğin portakal kabuğu %30, elma kabuğu %15, soğan zarı ise %12 oranında pektin içermektedir. Pektinler esas olarak ramnoz birimleri içeren galakturonik asit zincirlerinden oluşmaktadır ve pentoz ve heksoz birimleri içeren zincirlerle dallanmıştır. Sıcak suda çözünürler ve ardından soğutma ile jel oluştururlar, dolayısıyla çeşitli gıda ürünlerinde jelleştirici ve kıvam arttırıcı maddeler olarak kullanılmaktadırlar. Pektinin kolesterol düşürücü etkisi jel oluşturma kapasitesine bağlıdır (Slavin, 1987). Pektin, bağırsaktaki kolesterol ve safra asitlerini bağlamak ve bu maddelerin atılımını desteklemek suretiyle kolesterolü düşürmektedir (Mudgil ve Barak, 2013). Pektin, neredeyse tamamen kalın bağırsaktaki bakteriler tarafından metabolize edilmektedir. Jelleşme özelliklerine bağlı olarak, bu çözünür polisakkaritler gastrik boşalma hızını azaltabilmekte ve ince bağırsaktan geçiş süresini etkileyebilmektedirler. Bu durum, onların hipoglisemik özelliklerini açıklamaktadır (Jenkins vd., 1978; Dhingra vd., 2012).

2.1.2.4. Hidrokolloidler

Hidrokolloidler, çok sayıda karışık viskoz polisakkaritlerden oluşmaktadırlar. Bitki sızıntıları (gam arabik ve tragacant), tohumlar (guar gam ve keçiyoynuzu gamı) ve deniz yosunu ekstraktlarından (agar, karragenan ve aljinatlar) elde edilirler. Müsilajlar, muz (plantain) familyası tohumlarının, örneğin isabgol (psyllium), dış katmanlarının hücrelerinde bulunmaktadır (Mudgil ve Barak, 2013). Müsilaj, şeker ve üronik asit birimleri içeren yüksek molekül ağırlıklı bir poliuroniddir. Suda kısmen çözünmektedir ve oldukça viskoz bir çözelti oluşturabilir (Ozyurt ve Ötles, 2016). Bu hidrokolloidler belirli gıda ürünlerinde jelleştirici, kıvam arttırıcı, stabilize edici ve emülsifiye edici ajanlar olarak düşük miktarlarda kullanılmaktadır. Psyllium (Hindistan'da yetişen *Plantago ovata* bitkisinden elde edilen lif) ve konjac kökü glukomannan'ını da kapsayan gamlar ve diğer müsilajlar, jel oluşturan lifler arasında muhtemelen kolesterol düşürücü etkisi en kuvvetli olanlardır. Bununla birlikte, müsilaj

liflerinin hem sağlıklı hem de diyabetik bireylerde açlığı ve yemek sonrası glukoz ve insülin seviyelerini düşürdüğü, obez kişiler tarafından yemeklerle birlikte tüketildiğinde vücut ağırlığını ve açlık oranlarını azalttığı belirlenmiştir (Mudgil ve Barak, 2013). Glukozun difüzyonunu engelleyici bir etki gösterdikleri ve karbonhidratların absorpsiyonunu ve sindirimini geciktirmeye yardımcı oldukları, dolayısıyla yemek sonrası glukoz seviyesinin düşmesine yol açtıkları bildirilmiştir (Sangeethapriya ve Siddhuraju, 2014; Ozyurt ve Ötles, 2016).

2.1.2.5. β -Glukanlar

β -glukanlar, glukoz polimerleridir. Selülozdan farklı olarak birimler arasındaki bağlantılar değişkendir; dallanmış bir yapıya sahiptirler ve daha küçük boyuttadırlar. Bu özellikler β -glukanların çözünürlüğünü etkilemekte ve onların viskoz çözeltiler oluşturmasına olanak sağlamaktadır. β -glukanlar, yulaf ve arpa tanelerinde hücre duvarı materyalinin temel bileşenidirler fakat buğdayda çok düşük miktarlarda bulunmaktadır (Knuckles vd., 1982). Glisemik tepki, insülin ve kolesterol tepkileri konusundaki etkileri nedeniyle çözünür bir lif kaynağı olarak β -glukanlara karşı bir ilgi oluşmuştur. Bu fizyolojik fonksiyonlar β -glukanları fonksiyonel bir besinsel lif kaynağı haline getirmiştir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.2.6. Dirençli nişasta

Sağlıklı insanların ince bağırsağındaki enzimler tarafından sindirilemeyen nişasta ve nişasta parçalanma ürünleri dirençli nişasta olarak bilinmektedir. Dirençli nişasta, karbonhidrat içeren çeşitli gıdalarda farklı oranlarda bulunmaktadır. Dirençli nişastalar dört alt kategoriye ayrılmaktadır: fiziksel olarak erişilemez nişasta (RS_1), doğal nişasta granülleri (RS_2), retrograde nişasta (RS_3) ve kimyasal olarak modifiye olmuş nişasta (RS_4). Bunlar aynı zamanda sırasıyla tip I, II, III ve IV nişasta olarak da bilinmektedir (Englyst vd., 1992). Bir gıdanın dirençli nişasta içeriği, sıcaklık ve su miktarına bağlı olarak depolama esnasında ve gıda hazırlama esnasında değişebilir (Sajilata vd., 2006). Tüketim anında bir gıda maddesindeki dirençli nişastanın miktarının tam olarak belirlenmesi imkansızdır. Bir kişi, ince bağırsaktaki nişastanın büyük bir kısmını sindirebilirken, başka bir bireyde bu nişasta dirençli nişasta olarak davranacaktır (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.2.7. Sindirilemeyen oligosakkaritler

Polimerizasyon derecesi 3 ile 10 arasında olan sindirilemeyen oligosakkaritler, bitkisel gıdalarda, çoğunlukla meyve, sebze ve tahıllarda doğal olarak meydana gelmektedir. Aynı zamanda kimyasal veya enzimatik proses aracılığıyla monosakkarit ve disakkaritlerden, enzimatik hidroliz aracılığıyla da polisakkaritlerden sentezlenebilirler. Bu oligosakkaritler besinsel lif olarak adlandırılmaktadır çünkü daha büyük olan polisakkarit yapısındaki benzerleri ile aynı fizyolojik fonksiyonları yerine getirmektedirler (Ferguson vd., 2001). Fermente olabilmeleri nedeniyle prebiyotik özelliklere sahiptirler, fruktooligosakkaritler (FOS) ve galaktooligosakkaritler (GOS) bu yapıdaki polisakkaritlere örnek verilebilir. Bu oligosakkaritler tüketildiğinde, sindirilemeyen fraksiyon, *Bifidobakteriler* ve *Lactobacillus* türleri gibi yararlı bakteriler için besin olarak hizmet etmektedirler. Klinik çalışmalarda FOS, GOS ve inülin vermenin, kalın bağırsaktaki yararlı bakteri sayısını artırabilirken aynı zamanda zararlı bakterilerin popülasyonunu azalttığı ifade edilmiştir (Roberfroid, 1993; Mudgil ve Barak, 2013).

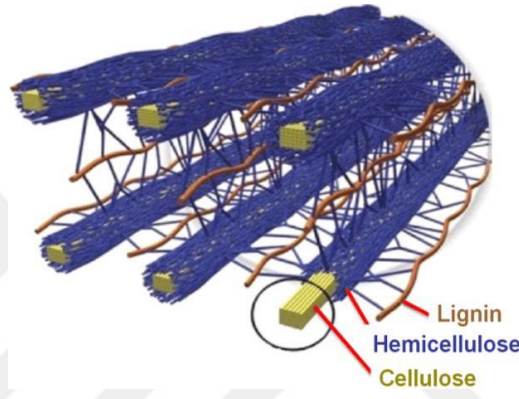
2.1.2.8. Sentetik karbonhidrat bileşikleri

Selüloza benzer olarak, metilselüloz ve hidroksipropil metilselüloz gibi sentetik olarak hazırlanan türevleri de sindirilemez özelliktedir. Selülozdan farklı olarak bu bileşikler çözünmektedir fakat kolon mikroflorası tarafından güçlükle fermente edilmektedir. Dirençli dekstrinler, nişastaların alkali pH'da ısıtılması ve enzimatik uygulamaya tabi tutulması aracılığıyla elde edilmektedir, bu da polimerizasyon derecesi 15 olan bir materyal meydana getirmektedir. Bunlar, insan sindirim enzimleri tarafından kısmen sindirilemeyen özelliktedir ve kolonda da kısmen fermente olmaktadır, dolayısıyla fizyolojik olarak besinsel lif olarak anılmaktadırlar (DeVries, 2003; Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.2.9. Lignin

Lignin bir polisakkarit değildir fakat kimyasal olarak bitki hücre duvarında hemiselüloza bağlıdır ve dolayısıyla bitki hücre duvarı polisakkaritleri ile çok yakından ilişkilidir. Çok sıkı, kristal bölgeler içeren düzenli polimer zincirler aracılığıyla oluşturulmuş selüloz mikrofibrilleri için hemiselülozla birlikte bir matriks olarak faaliyet göstermektedir (Şekil 2.1) (Ozyurt ve Ötles, 2016). Lignin, kompleks dehidrojenatif polimerizasyona maruz bırakılmış koniferil, sinapil ve p-kumaril

alkollerini kapsayan 40 civarında oksijenlenmiş fenilpropan birimi içeren düzensiz kompleks bir polimerdir (Schubert, 1956). Ligninler, molekül ağırlığı ve metoksil içeriği bakımından farklılık göstermektedirler. Karbon-karbon bağlarını içeren kuvvetli molekül içi bağlanma nedeniyle lignin oldukça inert bir maddedir. Doğal olarak meydana gelen diğer herhangi bir polimere kıyasla lignin daha fazla direnç göstermektedir (Dhingra vd., 2012). Ayrıca, gastrointestinal fizyolojiyi de etkilemektedir. Kereviz gibi odunsu kısımlara sahip gıdalarda ve tahıl tanelerinin dış katmanlarında bulunmaktadır (Mudgil ve Barak, 2013).



Şekil 2.1. Hemiselüloz ve lignin tarafından çevrelenmiş selüloz fibrilleri (Doherty vd., 2011)

2.1.2.10. İlişkili minör bileşenler

Fitik asit, bazı gıdalardaki özellikle tahıl tanelerindeki lifle ilişkilidir. Fitik asidin fosfat grupları demir, çinko, kalsiyum ve magnezyum gibi pozitif yüklü iyonlara çok kuvvetli bir şekilde bağlanmakta ve sindirim sisteminden mineral absorpsiyonunu etkileyebilmektedir. Besinsel lifle ilişkili diğer bitkisel bileşenler, örneğin polifenoller (tanninler), kütinler ve fitosteroller de fizyolojik etkilere sahip olabilirler (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.3. Besinsel lifin fizikokimyasal özellikleri

Besinsel liflerin fizyolojik etkileri esas olarak onların su tutma kapasitesi, viskozite, bağlama kabiliyeti, hacim arttırma kabiliyeti ve fermente edilebilirlik gibi fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır.

2.1.3.1. Çözünürlük

Suda çözünürlüklerine bağlı olarak besinsel lifler çözünür besinsel lifler ve çözünmez besinsel lifler olmak üzere ikiye ayrılır. Çözünmez lifler tam tahıl tanelerinde bol miktarda bulunurken, çözünür lifler özellikle taze sebzeler, baklagiller ve meyveler, yulaf, arpa ve bazı mayalarda bulunurlar. Suda çözünebilme ve fermente edilebilme özelliklerine bağlı olarak lif bileşenleri Çizelge 2.2’de sınıflandırılmıştır.

Çözünürlük, lifin fonksiyonelliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve kimyasal bileşim de bunu etkilemektedir. Dallanma, iyonik grupların mevcudiyeti ve birimler arası konumsal bağlanma potansiyeli çözünürlüğü arttırmaktadır. Bununla birlikte, monosakkarit birimlerindeki değişiklikler ve bunların moleküler formları da (α - veya β -formu) çözünürlüğü arttırmaktadır (Ozyurt ve Ötles, 2016).

Çizelge 2.2. Suda çözünebilme ve fermente edilebilme özelliklerine bağlı olarak besinsel lif bileşenlerinin sınıflandırılması (Dhingra vd., 2012)

Özellik	Lif bileşeni	Tanım	Temel gıda kaynağı
Suda çözünmez / Az fermente edilen	Selüloz	Bitki hücre duvarının temel yapısal bileşeni. Konsantre alkalide çözünmez, konsantre asitte çözünür.	Bitkiler (sebzeler, şeker pancarı, çeşitli kepekler)
	Hemiselüloz	β -1,4 glikozidik bağ omurgasını içeren hücre duvarı polisakkaritleri. Seyreltik alkalide çözünür.	Tahıl taneleri
	Lignin	Karbonhidrat olmayan hücre duvarı bileşeni. Kompleks çapraz bağlı fenilpropan polimeri. Bakteriyel parçalanmaya direnç gösterir.	Odunsu bitkiler
Suda çözünür / İyi fermente edilen	Pektin	Temel bileşenler olarak D-galakturonik asit içeren primer hücre duvarı bileşenleri. Genellikle suda çözünür ve jel oluşturur.	Meyveler, sebzeler, baklagiller, şeker pancarı, patates
	Gamlar	Özelleşmiş salgı hücreleri tarafından bitki zedelenme bölgesinde salgılanır. Gıda ve eczacılıkta kullanılır.	Baklagil tohumlu bitkileri (guar, keçi boynuzu) Suyosunu ekstraktları (karragenan, aljinatlar) Mikrobiyal gamlar (ksantan, gellan)
	Müsilajlar	Bitki tarafından sentezlenir, tohum endosperminin kurumasını önler. Gıda endüstrisinde kullanım, hidrofilik, stabilize edici.	Bitki ekstraktları (arap zambkı, karaya zambkı, kitre)

Besinsel liflerin çözünür ve çözünmez yapısı, onların teknolojik fonksiyonelliğinin yanı sıra fizyolojik etkilerini de belirlemektedir. Çözünür lifler, viskozitedeki artıştan sorumludurlar ve glisemik tepki ile plazma kolesterolünü azaltırlar (McCarty, 2005). Çözünmez lifler gözenekli yapıları ve düşük yoğunlukları ile karakterize edilirler ve dışkı hacmindeki artış ve bağırsaktan geçiş süresindeki azalma ile ilişkilidirler. Gıda işleme faaliyetlerinde gıda ürünlerine çözünür lif ilavesi viskozite sağlaması, jel oluşturma kabiliyeti ve/veya emülsifiye edici madde olarak faaliyet göstermesinden dolayı çözünmez life kıyasla daha yararlı olabilir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.3.2. Su tutma kapasitesi

Su tutma kapasitesi (STK); sıcaklık, suda bekletme süresi, santrifüjleme hızı ve süresi gibi belirlenmiş koşullar altında, bilinen ağırlıktaki kuru lif tarafından tutulan su miktarıdır. Su tutma kapasitesi başlıca iki şekilde ölçülmektedir: (a) örneğin belirli koşullar altında (süre, sıcaklık) fazla miktardaki su içinde dispers edilmesinin ardından absorbe edilmeyen suyun basınç, filtrasyon veya santrifüjleme ile uzaklaştırılması ve sonrasında gravimetri aracılığıyla tutulan suyun ölçümü veya (b) su tutulumunu sınırlı su koşulları altında ölçmek. Dolayısıyla su tutma kapasitesi, örnekten salınan suyun miktarı olarak (su tutma kapasitesi) veya örnek tarafından absorbe edilen veya tutulan su miktarı olarak (su absorpsiyon ölçümü) değerlendirilebilir. İlk durumda yalnızca çözünmez lifler (veya daha çok çözünmez lifler) analiz edilebilirken, ikinci yöntem çözünür liflerin etkisinin de dikkate alınmasına olanak sağlamaktadır (Villemenaje vd., 2013; Ozyurt ve Ötles, 2016). Genel olarak, besinsel liflerin polisakkarit bileşenleri son derece hidrofildir. Su, lifin kendisinin hidrofilik bölgelerinde veya moleküler yapıdaki boşluklarda tutulmaktadır (Mudgil ve Barak, 2013).

Öğütme, kurutma, ısıtma, ekstrüzyon pişirme gibi prosesler lif matriksinin fiziksel özelliklerini modifiye etmektedir ve aynı zamanda hidrasyon özelliklerini de etkilemektedir (Thibault vd., 1992). Sıcaklık, pH, iyonik kuvvet, ortamdaki çözeltinin dielektrik sabiti ve iyonların yapısı da polielektrolitler (pektin bakımından zengin liflerdeki karboksil gibi yüklü gruplar, su yosunundan elde edilen liflerdeki karboksil ve sülfat grupları) içeren lifin hidrasyon özelliklerini etkileyebilmektedir (Renard vd., 1994; Dhingra vd., 2012).

2.1.3.3. Viskozite ve jel oluşumu

Viskozite, besinsel liflerle, özellikle de gamlar, pektinler, psyllium ve β -glukanlar gibi çözünen besinsel liflerle ilişkili fizikokimyasal bir özelliktir (Dikeman ve Fahey, 2006). Viskozite veya jel oluşturma kapasitesi, bir lifin suyu absorbe etme ve jelatinimsi bir kütle oluşturma kabiliyeti ile ilişkilidir. Viskozite bir sıvının akmaya karşı direncini ifade etmekte iken, jelleşme moleküllerin çapraz bağlanması ve sıvıyı tutuklayabilecek üç boyutlu ağ yapısını oluşturmaya ve yaygın olarak “jel” şeklinde adlandırılan katı benzeri davranış göstermektedirler (Wanders vd., 2014). Genel olarak, lifin molekül ağırlığının veya zincir uzunluğunun artması ile birlikte çözeltideki lifin viskozitesi artmaktadır. Ancak, çözeltideki lif konsantrasyonu, prosese dair sıcaklık, pH, kesme mukavemeti koşulları ile iyonik kuvvet gibi faktörlerin tümü büyük oranda kullanılan life bağlıdır. Aslında, gamlar (guar gam, kitre) gibi uzun zincirli polimerler önemli miktarda su tutmakta ve yüksek çözelti viskozitesi sergilemektedirler. Ancak genel olarak, oldukça dallanmış veya nispeten kısa zincirli polimerler olan arap zıncı gibi yüksek derecede çözünen lifler düşük viskozitelere sahiptir (Dhingra vd., 2012).

Suda çözünen lifler, bir çözeltinin viskozitesini arttıran temel bileşenlerdir. Çözünen lifler, jel oluşturmada ve sindirim sistemi kanalı içeriğinin viskozitesini arttırmaktadırlar. Viskoz yapılarından dolayı, jellerin sindirim sistemi kanalında sıvıdan çok katı gibi tepki verdikleri görülmektedir. Bu olay, genellikle liflerin tüketimi ile ilişkili olan gastrik boşalmanın gecikmesini açıklayabilir. Jeller, aynı zamanda dışkıya yağlanma özelliği vermektedir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.3.4. Yağ tutma kapasitesi

Yağ tutma kapasitesi (YTK); yağ ile karıştırma, inkübasyon ve santrifüjlemenin ardından lifler tarafından tutulan yağ miktarıdır. Buğday kepeği gibi tahıl yan ürünlerinin yağ absorpsiyonu, esas olarak kepek partiküllerinin yüzey özellikleri ile ilişkilidir fakat aynı zamanda aljinat ve fukan gibi alg bileşenlerinin genel yük yoğunluğu ve hidrofobik yapısı ile de ilişkili olabilir (Elleuch vd., 2011).

2.1.3.5. Şelatlama kabiliyeti

Liflerin, yüklü polisakkaritler (karboksil grupları aracılığıyla pektinlerde olduğu gibi) nedeniyle mineral absorpsiyonunu zayıflattığı tahmin edilmektedir ve

tahıl liflerinde bulunan fitatlar gibi lifle ilişkili maddelerin de metal iyonlarını bağladığı *in vitro* olarak gösterilmiştir. Yüklü polisakkaritler, mineral ve iz element absorpsiyonu üzerinde bir etkiye sahip değilken, fitatlar gibi lifle ilişkili maddeler olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir (Thibault vd., 1992).

Besinsel lifler, ince bağırsaktaki safra asitlerini tutma kabiliyetine sahiptirler. Eninde sonunda dışkı ile vücuttan atılan çözünür lifler tarafından oluşturulan jel matriksi, safra kesesinden salınan safra asitlerinin bir kısmını yakalayabilmektedir. Bu fiziksel tutuklamanın, safra asitlerinin çoğunlukla yeniden absorbe edildiği ince bağırsağın alt ucunda daha belirgin olduğu görülmektedir (Elleuch vd., 2011). Çevresel faktörler (maruz kalma süresi, pH) ile liflerin fiziksel ve kimyasal formları adsorpsiyon kapasitesini etkileyebilmektedir (Thibault vd., 1992).

2.1.3.6. Hacim arttırma kabiliyeti

Selüloz ve lignin gibi çözünmez lifler, kolon mikroflorası tarafından çoğunlukla fermente edilememektedir ve partikül oluşturma ve su tutma kapasiteleri vasıtasıyla dışkı hacmini arttırmaktadırlar (Elleuch vd., 2011). Buğday kepeği, en iyi hacim arttırıcı ajanlar arasındadır. Lahana gibi bazı fermente edilebilir hemiselüloz lifleri fekal florayı arttırmak suretiyle dışkı hacmini arttırmaktadırlar. Buna karşın, pektin gibi çok iyi fermente edilebilen lifler, dışkı hacmi üzerinde çok az etkiye sahiptir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.3.7. Fermente edilebilirlik

Liflerin ne ölçüde fermente edildiği oldukça değişkendir, ligninlerde olduğu gibi hiç fermente olmayandan pektinlerde olduğu gibi hemen hemen tamamen fermente olanlara kadar değişim göstermektedir. Çözünür lifler, kolon bakterileri tarafından çözünmeyen liflere göre çok daha büyük ölçüde fermente edilmektedir (Elleuch vd., 2011). Çözünür liflerin fermentasyonu, lifin bazı fizyolojik etkilerinde önemli bir role sahip olabilir. Bitkiler; hızla fermente olabilen, yavaş bir şekilde fermente olan ve fermente olmayan besinsel lifleri farklı oranlarda içermektedir. Meyveler (elma ve muz gibi) ve sebzelerin (patates ve fasulye gibi) hızlı bir şekilde fermente olduğu ve diğer liflere göre fekal hacmin artmasına daha az katkıda bulunabilecekleri düşünülmektedir. Psyllium ve buğday kepeğinin yavaş bir şekilde fermente olduğu ve bütün kolon mesafesi boyunca gerçekleşen fermentasyon

aracılığıyla dışkı kütlesini oluşturmaya yardımcı oldukları düşünülmektedir (Mudgil ve Barak, 2013).

2.1.4. Besinsel lifin fizyolojik etkileri

Besinsel lif tüketimi, çoğu birbiri ile ilişkili olan çok sayıda fizyolojik etkinin oluşumunu sağlamaktadır. Açıkça görülmektedir ki, bu fizyolojik etkiler doğrudan bileşenlerin kimyasal yapısına ve bazı durumlarda önemli bir sinerji ile birlikte bunlar arasındaki ilişkilere bağlıdır.

Besinsel lifin fizyolojik ve fizikokimyasal özelliklerinin, bir besinsel lif kompleksinde mevcut bireysel bileşenlerin, özellikle de çözümlenir ve çözünmez fraksiyonlar ile çeşitli maddelerde oldukça farklı miktarlarda bulunan biyoaktif bileşikler gibi ilişkili diğer bileşiklerin nispi miktarına bağlı olduğu kabul edilmektedir. Besinsel lifler, sindirim sistemi içeriğinin yapısını değiştirmek ve diğer bileşenler ile kimyasal maddelerin absorbe edilme şeklini değiştirmek suretiyle faaliyet gösterebilmektedirler (Redondo-Cuenca vd., 2015).

Besinsel lif ve tam tahıllar; dirençli nişastalar, vitaminler, mineraller, fitokimyasallar ve antioksidanları kapsayan biyoaktif bileşenlerin eşsiz bir karışımını içermektedirler. Sonuç itibariyle, bunların sağlık açısından potansiyel yararları son birkaç on yıldır önemli ölçüde dikkat çekmektedir. Epidemiyolojik ve klinik çalışmalarda, besinsel lif ve tam tahıl tüketiminin obezite (Tucker vd., 2009), tip 2 diyabet (Meyer vd., 2000), kanser (Park vd., 2009) ve kalp ve damar hastalıkları (Streppel vd., 2008) ile zıt ilişkili olduğunun gösterildiği ifade edilmiştir (Lattimer ve Haub, 2010).

Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), besinsel lif konusundaki iki sağlık beyanını kabul etmiştir. Birinci beyan, yağ tüketimindeki azalma ile birlikte (kalorinin %30'undan daha azı), meyveler, sebzeler ve tam tahıllardan elde edilen besinsel lif tüketimindeki artışın bazı kanser türlerini önleyebileceğini ifade etmektedir (FDA, 2008). Yakın zamanda yapılan çalışmaların; kolorektal, ince bağırsak, ağız, gırtlak ve göğüs kanserlerini de kapsayan çeşitli türdeki kanserlerin gelişimi ile besinsel lif tüketimi arasındaki bu zıt ilişkiyi desteklediği bildirilmiştir (Park vd., 2009; Nomura vd., 2007; Schatkinz vd., 2008).

Besinsel lifin sağlık açısından yararlarını destekleyen ikinci FDA beyanı, doymuş yağ (kalorinin %10'undan daha azı) ve kolesterol yönünden fakir, meyveler, sebzeler ve tam tahıllar bakımından zengin bir diyetin, koroner kalp hastalıklarına yol açma riskini azalttığını ifade etmektedir (FDA, 2008). Genellikle, besinsel lif tüketimindeki artışın, 6 g'ı çözümlü lif olmak üzere günlük yaklaşık 25-35 g olduğu düşünölmektedir (Lattimer ve Haub, 2010).

Pek çok çalışma açık bir şekilde kalp ve damar hastalıkları riski ile besinsel lif arasındaki ilişkiyi desteklemektedir. Son araştırmalarda, diyete ilave edilen her bir 10 g'lık ek besinsel lifin, kalp ve damar hastalıklarından kaynaklanan ölüm riskini %17-35 oranında azalttđđı saptanmıştır (Streppel vd., 2008; Pereira vd., 2004).

2.2. şeker Pancarı

şeker pancarı (*Beta vulgaris*), Chenopodiaceae familyasına ait iyi bir beslenme, enerji ve besinsel lif kaynağıdır (Ahmad vd., 2012). Farklı renk ve şekle sahip pek çok türü bulunmaktadır. şeker pancarı, geosmin (trans-1,10-dimemil-trans-(9)-dekalol) ve 2-metoksi-3-sec-butilpirazin olarak adlandırılan iki temel bileşen nedeniyle ambar, silaj benzeri, ağır veya kuvvetli toprağımsı bir kokuya sahiptir. Klorojenik, gallik, jantizik, ferulik ve kumarik asitler gibi önemli miktarda çeşitli fenolik asitlere sahip güçlü antioksidan bileşikler ve fenolik maddelerin potansiyel bir kaynağıdır (Vulic vd., 2012; Pasha vd., 2016). Güçlü bir antioksidan olan ferulik asit, buğday unu veya buğday kepeği ile kıyaslandđđında şeker pancarında daha yüksek miktarda bulunmaktadır (Pasha vd., 2016). şeker pancarı, yaş ağırlık üzerinden yaklaşık %15 oranında sakkaroz ve %5 oranında hücre duvarı polisakkaritlerini içermektedir (Thibault vd., 2001).

Vitamin ve minerallerin, özellikle A vitamini, C vitamini, folat, potasyum, sodyum, magnezyum, kalsiyum, demir, bakır ve çinkonun iyi bir kaynağıdır (Skrbic vd., 2010). Yüksek homosistein seviyelerini düşürmeye yardımcı olan folik asit ve B₆ vitamininin yanı sıra betain içermektedir. şeker pancarı aynı zamanda biyo-flavonoidler bakımından da zengindir (Vulic vd., 2012).

şeker pancarının yaklaşık olarak %70'lik toplam besinsel lif içeriğinin 1/3'lük kısmını çözümlü lifler, 2/3'lük kısmını ise çözümlü lifler oluşturmaktadır. İyi bir besinsel lif kaynağı olarak şeker pancarı lifinin kanser, obezite, diyabet, böbrek taşı

oluşumu ve kalp hastalıkları riskini azaltmakta; kabızlığı önlemekte ve tedavi etmekte ve divertiküli iyileştirmekte etkili olduğu ifade edilmiştir (Ahmad vd., 2012). Sağlık açısından sağladığı yararların yanı sıra aynı zamanda gıda ürünlerinde belirli fonksiyonel özellikleri de sergilemektedir, yani, börekler, soslar, sosisler, atıştırmalıklar, meyve dolguları, yoğurt, içecekler ve unlu mamuller gibi çeşitli gıda ürünlerinde antioksidan, topaklanmayı önleyici, bağlayıcı, hacim arttırıcı, dağıtıcı, kıvam arttırıcı, stabilize edici ve tekstüre edici madde olarak faaliyet gösterebilmektedir (Thibault vd., 2001; Pasha vd., 2016).

2.2.1. Şeker pancarı posası

Gıda lifinin önemi, lifçe zengin ürünler ve bileşenler yönünden potansiyele sahip büyük bir pazarın gelişimine neden olmasının yanı sıra geleneksel olarak fazla değer verilmeyen tarımsal yan ürünler gibi gıda endüstrisinde bileşen olarak kullanılabilen yeni besinsel lif kaynaklarına yönelik araştırmaları da teşvik etmiştir. Tahıllar, baklagiller, meyve ve sebzelerin yan ürünleri, besinsel lif ve fonksiyonel bileşenlerin yeni ve ekonomik kaynakları olarak dikkat çekmektedir (Redondo-Cuenca vd., 2015).

Şeker pancarı posası, şeker pancarının teknolojik olarak işlenmesi esnasında, pancardan şekerin ekstrakte edilmesini takiben elde edilmektedir. Kuru şeker pancarı posasının kalitesi ve kimyasal kompozisyonu, en üstün şekilde şeker pancarının yetiştirildiği koşullar, kalitesi ve cinsi ile ilişkilidir. Ekstraksiyonun ardından posanın kuru madde içeriği, yaklaşık olarak %8-11'e karşılık gelmektedir. Nem içeriğini azaltmak için şeker pancarı posası yaklaşık %30 kuru maddeye kadar preslenmektedir. Preslemenin ardından, ekstrakte edilmiş posa raf ömrünü uzatmak amacıyla kuru madde içeriği %87-90 olana kadar kurutulmaktadır (Gyura vd., 2010). Kuru madde bazında, şeker pancarı posasının kabaca %40'ı selüloz, %30'u hemiselüloz ve %30'u pektinlerden oluşmak üzere %65-80 oranında polisakkarit içermekte olduğu bildirilmiştir. Ferulik asit, şeker pancarındaki temel fenolik asidi temsil etmektedir ve şeker pancarı posasında %0.9 konsantrasyonunda ve çoğunlukla şeker pancarı pektinlerine bağlı olarak bulunmaktadır (Misan vd., 2016).

Şeker pancarı posası neredeyse tamamen hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kurutulmuş posanın kullanımı açısından yeni olanakların keşfedilmesi, atık durumdaki posanın ekonomik değerini de arttırmaktadır. Sadece

kurutulmuş şeker pancarı posası değil, aynı zamanda posanın bazı bileşenleri konusunda da pek çok yeni uygulama ileri sürülmüştür. Bu kapsamda çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal işlemlerin uygulanması, kurutulmuş posanın dönüştürülmesine ve bileşenlerinin ekstraksiyonuna olanak sağlamaktadır.

Fiziksel işlemler, çoğunlukla safsızlıkları izole etmek ve pancar için karakteristik olan toprağa özgü tat ve kokuyu elimine etmek amacıyla uygulanmaktadır. Ekstraksiyon, ısıtma, ekstrude etme, otoklavda işleme tabi tutma gibi uygulamalar ve besin değeri yüksek liflerin belirli fraksiyonlarını izole etme prosedürleri, besleyici özelliklerini değiştirmek ve/veya fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanmaktadır (Gyura vd., 2010).

Kimyasal işlemlerin uygulanmasının amacı, şeker pancarı posasının belirli özelliklerini modifiye etmek veya selüloz, pektin ve araban gibi temel bileşenleri elde etmektir. Kuru şeker pancarı posasından elde edilen araban, yağ ikame maddesi olarak kullanılmaktadır. Ekstrakte edilmiş şeker pancarı posası pektinleri, elma veya limon pektinlerinin aksine ferulik asit içermektedir. Ferulik grupların oksidatif bağlanması, jel oluşumuna olanak sağlamaktadır. Bu durum pektinlerin çapraz bağlanmasından kaynaklanmakta, aynı anda da mükemmel bir su tutma kapasitesine neden olmaktadır.

Şeker pancarı posasına uygulanan biyokimyasal işlemler; raf ömrünü uzatmak, besleyici değerini arttırmak, enzimler ve diğer protein ürünlerinin yanı sıra metan ve diğer biyoyakıtları üretmek amacıyla gerçekleştirilmektedir (Gyura vd., 2010).

2.2.2. Şeker pancarı lifi

Şeker pancarı endüstrisinin bir yan ürünü olarak şeker pancarı posası düşük yağ, kalori ve fitat içeriği ile birlikte iyi bir toplam besinsel lif kaynağıdır ve hem çözünmez hem de çözünür lifleri içermektedir (Djordjevic vd., 2018). Diğerlerine kıyasla düşük fitat içeriğine sahip olması çeşitli beslenme uygulamalarında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca şeker pancarı lifinin daha iyi su tutma kapasitesi ve su bağlama kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir ve bu özellikler fırıncılık endüstrisinin özel ilgi alanındadır (Gyura vd., 2010).

2.2.2.1. Şeker pancarı lifinin bileşimi ve yapısı

Şeker pancarı posası, genel olarak 750 mg/g'dan fazla olmak üzere yüksek bir besinsel lif içeriğine sahiptir ve yüksek çözünür lif içeriği (%10-20) ile bilinmektedir. Pancar posasının düşük pH'da su ile ekstraksiyonunun, g şeker pancarı posası başına yaklaşık olarak yalnızca 20 mg polimerik materyalin çözünmesine neden olduğu belirtilmiştir (Thibault vd., 1994). Pancar lifinin lignin içeriğinin düşük olduğu ve lif preparatlarının geri kalanının hazırlama şekline göre değişen miktarlarda proteinlerden, ayrıca kül ve lipitlerden (<20 mg/g) oluştuğu ifade edilmiştir. Bazı şeker pancarı posası fraksiyonlarının, toprak partiküllerinin kontaminasyonundan kaynaklanan kül içeriği yüksek olabilmektedir (Michel vd., 1988; Thibault vd., 2001).

Kompozisyonlarına dair detaylı çalışmalarda, pancar hücre duvarları ve dolayısıyla şeker pancarı lifi, galakturonik asit ve arabinozun her birine yaklaşık 200 mg/g düzeyinde sahip olan oldukça yüksek bir pektin içeriği ile karakterize edilmiştir. Bu pektin miktarı ve daha belirgin olarak da arabinoz miktarı, diğer dikotiledonlardan elde edilen hücre duvarları ile kıyaslandığında son derece yüksektir. Şeker pancarı lifi aynı zamanda, ağırlıklı olarak selülozik kökenli olmak üzere, yaklaşık olarak 200 mg/g glukoz içermektedir. Diğer dikotiledonlarla kıyaslandığında oldukça düşük miktarlarda ksiloz ve mannoza sahip olmakla birlikte şekerler toplamda kuru maddenin yaklaşık %80'ine karşılık gelmektedir. Şeker pancarındaki pektin, elma veya turunçgillere göre daha düşük metilasyon derecesine (DM) sahip olmasına rağmen metillenmiştir (DM 50-70) ve aynı zamanda asetillenmiştir (tüm hücre duvarı üzerinde DAc ~ 60). Şeker pancarı hücre duvarları ayrıca ağırlıklı olarak ferulik asit olmak üzere fenolik asitleri (<10 mg/g) içermektedir. Nicel olarak az olmasına rağmen bu fenolik asitlerin pancar hücre duvarının yapısında çok büyük öneme sahip oldukları düşünülmektedir (Thibault vd., 2001).

Şeker pancarları, çoğunlukla ince, yumuşak ve hidrofilik hücre duvarlarına sahip parenkimal dokulardan oluşmaktadır. Çift çenekli bitkilerin tipik primer hücre duvarları, hemen hemen eşit miktarlarda üç polisakkarit türünden oluşmaktadır: (a) pektin; galakturonik asit bakımından zengindir ve başlıca nötral şekerler olan galaktoz, arabinoz ve ramnoz içermektedir, (b) hemiselülozlar; düşük miktarlarda (gluko)mannanlarla birlikte genellikle ksiloglukanlardır, (c) selüloz. Bu hücre duvarlarının yapısı, birtakım modellerin oluşumuna neden olmaktadır ve birbirine

bağlı üç ağ olarak, yani selüloz/ksiloglukanlar, pektin ve hücre duvarı glikoproteinleri olarak özetlenebilmektedir (Thibault vd., 2001).

2.2.2.2. Şeker pancarı lifinin fizikokimyasal özellikleri

2.2.2.2.1. Katyon değişim kapasitesi

Şeker pancarından elde edilen lifler, yaklaşık olarak 0.5 mEq/g katyon değişim kapasitesine sahip zayıf monofonksiyonel katyon değişim reçineleri gibi davranmaktadırlar. Bu iyon bağlama kapasitesi, metilesterifiye olmamış galakturonik kalıntıların mevcudiyetine bağlıdır ve katyon değişim kapasitesi bağımsız galakturonik ve metil grupların ölçümünden hesaplanan metillenmemiş galakturonik asit kalıntılarının konsantrasyonuna eşittir (Bertin vd., 1988). Pancar lifleri, tahıl liflerinde başlıca iyon bağlayan tür olan fitik asitten yoksundur. Pancar lifinin kendisi, serbest galakturonik asidin büyük bölümünü nötralize etmek için yeterince kalsiyum içermektedir. Bu kalsiyum endojen olabilir fakat aynı zamanda şeker geri kazanım prosesi esnasında kullanılan presleme yardımcılardan da kaynaklanabilir.

Asetil grupları mevcut olmasına rağmen, şeker pancarı posasındaki pektin, çözültüdeki göre daha yüksek çekim kuvveti fakat aynı seçicilik ölçeği ile birlikte divalent katyonları bağlama kabiliyetindedir: $Cu \sim Pb \gg Zn \sim Cd > Ni > Ca$ (Thibault vd., 2001).

2.2.2.2.2. Hidrasyon özellikleri

Bu kapsamda temel olarak üç farklı parametre ölçülebilir: (a) şişme, (b) su tutma kapasitesi (STK), yani santrifüjleme gibi metotlar aracılığıyla belirli ağırlıktaki lif tarafından tutulan su miktarıdır, (c) su absorpsiyon kapasitesi (SAK), yani Baumann cihazı veya ozmotik basınç/diyaliz tekniklerini kullanarak ölçülen lifin suyu absorbe etme kabiliyetidir.

Şeker pancarı, özellikle tahıl kepekleri ile kıyaslandığında, genellikle yüksek hidrasyon kapasitelerine sahiptir. Ancak bu hidrasyon özellikleri, lifin hazırlanma koşullarına ve aynı zamanda da ölçüm koşullarına bağlı olarak oldukça değişkendir. Temel içsel faktörler, partikül büyüklüğü ve kurutma koşullarıdır. Yüksek sıcaklıkta kurutma, partikül boyutundaki azalmada olduğu gibi, hidrasyon kapasitelerinin azalmasına neden olmaktadır. Partikül boyutunun şişme üzerine etkisi, partiküllerin

hidrasyonundaki artıştan ziyade partiküller arası boşluklardaki artışa bağlı olabilir. Termal veya termomekanik uygulamalar, pancar posasındaki çözünür lif miktarını arttırmakta ve onun hidrasyon özelliklerini modifiye etmektedir.

Ayrıca, ölçülen hidrasyon kapasiteleri, hidrate eden çözeltilerin iyonik kuvveti ve iyon kompozisyonu gibi dışsal faktörlere de duyarlıdır. Bu etkiler çoğunlukla H^+ veya Na^+ formuna dönüşümün ardından ya da sabunlaşmanın ardından görülebilmektedir. Ardından pancar posasının polielektrolit bir reçine gibi davrandığı görülmektedir. Divalent katyonların mevcudiyeti, deesterifiye olmuş pancar posasının hidrasyon kapasitelerinde gözlemlenen bir azalmaya yol açmaktadır (Renard vd., 1994). Bu etkilerin bazıları, doğal pancar posasında yüksek bir kalsiyum konsantrasyonunun mevcudiyeti aracılığıyla maskelenebilir. Hidrasyon koşulları da önemli bir rol oynamaktadır: yoğun karıştırma formunda kesme kuvvetlerinin mevcudiyeti, pancar lifinin yapısının bozulmasına ve görünür su tutma kapasitesinde bir artışa neden olabilir. Ölçüm koşulları ve metoduna karşı bu duyarlılık, sonuçlardaki değişkenliği açıklamaktadır (Thibault vd., 2001).

2.2.2.3. Şeker pancarı lifinin fizyolojik etkileri

Şeker pancarı lifinin su absorpsiyonu ile kombinasyon halinde yüksek besinsel lif içeriği, düşük enerji yoğunluğuna neden olmakta dolayısıyla bir öğünün enerji içeriğini azaltmaktadır. Lifler, bağırsak sağlığını destekleyen hacim artışını sağlamakta, doyumluk vermekte ve obeziteyi önleyebilmekte veya azaltabilmektedir (Anonymous, 2012).

2.2.2.3.1. Bağırsaktan geçiş süresi

Şeker pancarı lifinin fiziksel özellikleri-su tutma kapasitesi ve mikrobiyal gelişmenin teşvik edilmesi-bağırsaklara çalışmak için sağlıklı bir hacim sağlamak ve sindirim sistemi boyunca geçiş süresini azaltmaktadır. Geçiş süresindeki azalma aynı zamanda kalın bağırsağın mekanik ya da kimyasal olarak uyarılması ile de motive edilmektedir (Anonymous, 2012). Fransa'da sağlıklı denekler ile yürütülen bir çalışma, lif bakımından yoksun bir diyetle günlük 30 g şeker pancarı lifi ilavesinin bağırsaktan geçiş süresinde %25 oranında azalmaya yol açtığını göstermiştir (Cherbut vd. 1991). Bu, tüketici için yararlıdır çünkü bağırsak düzenini desteklemekte ve genel sağlamlık haline katkı sağlayan kabızlığı etkisiz hale getirmektedir.

2.2.2.3.2. Dışkı hacmi ve konsistensi

Çeşitli klinik çalışmalarda, dışkı hacmindeki artışın bağırsak fonksiyonu ile düzeninde gelişmeye ve kabızlığın önlenmesine olanak sağladığı kanıtlanmıştır. Pek çok kalın bağırsak hastalığı, dışkı hacmindeki yetersizliğe dayandırılabilir (Kritchevsky, 2001). Yapılan bir çalışmada, 28 günlük süre boyunca günde 50 g şeker pancarı lifi tüketiminin yaş dışkı ağırlığını %55 ve kuru ağırlığı %35 oranında arttırdığı belirtilmiştir (Castiglia vd., 1998). Başka bir çalışmada ise, müdahale öncesi bütün deneklerin şiddetli veya orta derecede kabızlığa sahip olduğu bildirilmiştir. Deneklere günde 7 g şeker pancarı lifi verilmiş, 30 günlük periyodun ardından deneklerin normal dışkıya ve dışkılama sıklığına sahip olduğu ifade edilmiştir (Giacosa vd., 1990). Çalışmalardaki denekler sağlıklı insanlardan kabız insanlar ve ileostomiye sahip insanlara değişiklik göstermektedir. Bu etkiler bağırsak fonksiyonunu korumak veya geliştirmek isteyen insanların yanı sıra kabızlık ya da çölyak hastalığına sahip insanlar içindir (Anonymous, 2012).

Yukarıda bahsedilen çalışmalardaki günlük tüketim 7-50 g arasında değişmektedir. Bu tüketim, yüksek şeker pancarı lifi içeriğine (%15-20) sahip hazır bir gıdanın veya müsli ya da bir tahıla ayrıca ilave edilmesi ile oluşan bir öğünün tüketilmesi ile elde edilebilmektedir. Günlük hayattaki pozitif etkilerini sağlamak amacıyla bu tüketim miktarı, gün boyunca farklı öğünlere bölünebilmektedir. Etkili doz, bireyin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Normal bir insan için, günde 7 g şeker pancarı lifi yeterlidir. Ancak, bazı durumlarda bağırsak sağlığı üzerine iddia edilen etkileri elde edebilmek için günlük 15-35 g gerekli olabilmektedir. Klinik çalışmaların hiçbirinde şeker pancarı lifinin tüketimi esnasında herhangi bir fiziksel yan etki gözlemlenmediği bildirilmiştir (Anonymous, 2012).

2.2.2.3.3. Kolesterol düzeyi

Kalp ve damar hastalıkları riski kısmen kandaki lipit miktarına, özellikle de kolesterol miktarına bağlıdır. İki kolesterol türü mevcuttur; “kötü” kolesterol olarak adlandırılan düşük yoğunluklu kolesterol (LDL) ve “iyi” kolesterol olarak adlandırılan yüksek yoğunluklu kolesterol (HDL). Daha düşük LDL miktarı ve düşük bir LDL/HDL oranı, zararlı etkiler açısından düşük risk olduğunu belirtmektedir.

Kandaki lipit seviyeleri üzerine Fibrex'in etkisi İsveç'teki Skane Üniversite Hastanesinde 28 kadının katıldığı bir çalışmada test edilmiştir. Deneklerin kolesterol seviyelerinin, geliştirilmiş bir diyet aracılığıyla başlangıçta %9 oranında azaldığı bildirilmiştir. Ardından Fibrex ve düşük lif içeriğine sahip benzer bir ürün (placebo) kullanmak suretiyle 4+4 haftalık bir çift kör çapraz çalışma yürütülmüştür. Lif tüketilen haftalar boyunca günde 30 g lif alındığında toplam kolesterol seviyeleri önemli derecede azalmıştır. Bu durum özellikle LDL kolesterol için gözlemlenirken, HDL kolesterol miktarının artma eğiliminde olduğu ifade edilmiştir. LDL/HDL oranının olumlu yönde değiştiği bildirilmiştir ki bu da daha düşük kalp ve damar hastalıkları riski anlamına gelmektedir (Israelsson vd., 1993). Bir başka klinik çalışmada, günde 30 g Fibrex tüketiminin ince bağırsaktan kolesterol absorpsiyonunu azalttığı bildirilmiştir (Langkilde vd., 1993). Her iki çalışmanın sonucunun da sindirim sisteminden kolesterol alımının azalmasına ve böylece kandaki kolesterol düzeyinin düşmesine yol açabilecek şeker pancarı lifinin muhtemel viskoz etkisini gösterdiği ifade edilmiştir.

2.2.2.3.4. Kan glukoz seviyesi

Diyabet hastalarına, düşük glisemik indekse (GI) sahip “yavaş karbonhidratlar” olarak adlandırılan ve kan şekerinde yavaş bir artış meydana getiren karbonhidratları öncelikli olarak tercih etmeleri konusunda uzun süredir bilgi verilmektedir. Bu tür bir diyet daha az insülin gerektirmektedir ve bu da diyabet hastaları için önemlidir. Aynı zamanda, şeker hastalığı olmayan insanlar da yavaş karbonhidratlardan faydalanabilirler ve daha düşük bir insülin seviyesi yağların depolanması, yüksek kan basıncı ve damar sertliği risklerinin azalmasına katkı sağlayabilmektedir. Gıdalardaki liflerin, özellikle de çözünür liflerin akışkanın viskozitesini arttırdığı, öğün sonrası besin maddelerinin absorpsiyonunu yavaşlattığı ve glukoz ve insülin tepkilerini azalttığı ifade edilmiştir (Anonymous, 2012).

Klinik bir çalışmada, yaşı ilerlemiş 8 diyabet hastasına 15 g Fibrex içeren bir kahvaltı sunulmuş, diğer günlerde ise aynı kahvaltı Fibrex içermeksizin servis edilmiştir. Kontrol kahvaltısı ile kıyaslandığında Fibrex içeren kahvaltının ardından hastaların kan glukoz seviyelerinde önemli ölçüde azalma olduğu belirtilmiştir. Bu etkinin, antidiyabetik ilaçlarla tedavi aracılığıyla elde edilen etkiye benzer olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmanın aynı zamanda lif takviyesinin daha önce bilinmeyen bir

etkisini-somatostatinde bir artışı- gösterdiği ve bu durumun da kandaki düşük glukoz seviyesine destek veren bir açıklama olabileceği ifade edilmiştir (Hagander vd., 1988).

2.2.2.4. Şeker pancarı lifinin modifikasyonu

Şeker pancarı lifi içeren sağlıklı gıdaların çekiciliğini arttırabilmek amacıyla şeker pancarı lifine birtakım fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar uygulanmıştır. Şeker pancarından elde edilen liflerin kimyasal modifikasyonu, gri renk yoğunluğu ile hoş gitmeyen tat ve kokunun azaltılması veya elimine edilmesini kapsamaktadır. Bu uygulama, lignoselülozik matriksin bir parçası olan ligninin bir kısmını çözünür duruma getirmek suretiyle şeker pancarı posasının lignoselülozik materyallerini etkilemekte ve sonuç olarak hücre duvarı materyalinde daha fazla su emiciliği ve şişme özelliklerine aynı zamanda yumuşamada artışa yol açmaktadır (Dreher, 1999). Bununla birlikte, gıda ürünlerinde bir bileşen olarak kullanılabilmesi için daha kolay işlenebilmesi ve değerlendirilebilmesine olanak sağlamak amacıyla, liflerin ilk olarak kurutulması ve öğütülmesi gerekmektedir (Soronja-Simovic vd., 2016a).

Auffret vd. (1993), şeker pancarı lifinin kimyasal olarak muamele edilmesinin fizikokimyasal özellikler ve *in vitro* fermente edilebilirliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Şeker pancarı lifi, daha çok asetil ve metil ester gruplarını uzaklaştıran seyreltik alkali ile ve/veya arabinoz, galaktoz ve belirli üronik asit kalıntılarını elimine eden seyreltik asitlerle muamele edilmiştir. Kimyasal muamelelerin, kalıntı polisakkaritlerin ulaşılabilirliğini arttırmak suretiyle hidrasyon özellikleri ve fermente edilebilirlikte artışa neden oldukları ifade edilmiştir. Ancak, kimyasal olarak muamele edilmiş liflerin şiddetli koşullarda (100 °C) kurutulması durumunda, muhtemelen lif matriksinin yapısal olarak çökmesi nedeniyle, hidrasyon özellikleri ve fermente edilebilirliklerinin sınırlandırıldığı bildirilmiştir. Şeker pancarı liflerinin kimyasal muamelesi ve kurutulması için koşullar ne olursa olsun, fermente edilebilirliklerini su tutma kapasitelerinden tahmin etmenin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Seres vd. (2005), renkli materyallerin prekürsörlerini ve enzimatik reaksiyonlardan kaynaklanan renkli ürünleri oksitlemek suretiyle renksiz bileşikler meydana getiren hidrojen peroksitin, şeker pancarı lifi üzerine renk giderme etkisini araştırmışlardır. Şeker pancarı besinsel liflerinin renk değişimi, 30°C sıcaklıkta hidrojen peroksit konsantrasyonu (5-20 g H₂O₂/1000 cm³ aralığında), pH değeri (5-11 aralığında) ve reaksiyon süresine (1-12 saat aralığında) bağlı olarak incelenmiştir.

Renk giderme prosesinde pH 5 ve 8’de, liflerin temel bileşenlerinin ekstraksiyonuna dair önemli bir farklılık gözlemlenmediği bildirilmiştir. Ancak, pH 11’de hidrojen peroksit konsantrasyonu ile birlikte kuru madde içeriğinde düzenli bir artış meydana geldiği, toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarlarının önemli düzeyde arttığı belirtilmiştir. pH 11’de ve 20 g H₂O₂/l hidrojen peroksit konsantrasyonunda, muamele edilmemiş liflere nazaran su tutma kapasitesinde önemli bir artış belirlenmiştir. H₂O₂ ile muamele edilmemiş lif örneklerinin parlaklığı ile kıyaslandığında, pH 5 ve 8’de muamele edilmiş örneklerin 10 birim fazla parlaklığa, pH 11’de muamele edilmiş örneklerin ise 5 birim daha da fazla parlaklığa sahip olduğu ifade edilmiştir. Hidrojen peroksit konsantrasyonu ve pH değerinin, lifin özellikleri üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametreler olduğu bildirilmiştir.

Gyura vd. (2009), alkali ortamda peroksit iyonları ile muamele edilmiş şeker pancarı lifinin, ekmek ve kurabiyelerde kullanımda muamele edilmemiş lif örneğine göre daha iyi özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bu durumun, şeker pancarı lifinin daha yumuşak ve daha esnek hale gelmesinden kaynaklandığı, dolayısıyla lifin bir unlu mamulde gluten-nişasta matriksinin parçalanmasını engelleyebileceği ve ürün yumuşaklığı üzerine olumsuz etki meydana getirmekten sakınacağı ifade edilmiştir.

Soronja-Simovic vd. (2016a), hidrojen peroksit ile kimyasal modifikasyon ve farklı vakumda kurutma sıcaklıklarının (55, 65 ve 75 °C) şeker pancarı lifinin çözünür ve çözünmez lif içeriği, fizikokimyasal özellikleri (renk, yapı, su bağlama ve şişme kapasitesi) ve kurutma kinetiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Modifiye edilmemiş liflere nazaran kimyasal modifikasyon aracılığıyla, çözünür ve çözünmez lif oranında %20-40 oranında ve lif parlaklığında yaklaşık olarak %25 oranında bir artış elde edilmiştir. Ayrıca, kimyasal modifikasyon muamelesinin ardından liflerin şişme ve su bağlama kapasitelerinin modifiye edilmemiş liflere göre 3-4 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Modifiye edilmiş lif örneklerinde, artan sıcaklıkla birlikte kurutma süresinde genel bir düşüş ve dalgalı kurutma hızında azalma gözlemlenmiştir. Bahsedilen etkiler, kimyasal modifikasyonla birlikte lif yapısında meydana gelen değişimler aracılığıyla açıklanmıştır.

Misan vd. (2016), şeker pancarı besinsel lifinin antioksidan ve fizikokimyasal özellikleri üzerine hidrojen peroksit ile muamelenin etkilerini araştırmışlardır. Şeker pancarından iki farklı şeker pancarı lifi elde edilmiştir: muamele edilmemiş lif, şeker

pancarı k syesinin sülfürik asit ile ekstraksiyonundan elde edilmiştir; muamele edilmiş lif, muamele edilmemiş lifin alkali  zelti içinde hidrojen peroksit ile muamelesi sonucu elde edilmiştir. Muamele edilmiş lif üretimindeki amacın, lifin hidrasyon özelliklerini ve duysal niteliklerini geliştirmek, dolayısıyla ekmek üretimine uygun hale getirmek olduğu belirtilmiştir. Lifin makroyapısı ve mikroyapısının alkali muamelesi ile parçalanması sonucu muamele edilmiş lifin en yüksek toplam lif içeriğine ve en yüksek  z n r lif içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Alkali ortamda hidrojen peroksit ile muamelenin aynı zamanda muamele edilmiş lifin su tutma kapasitesinde önemli düzeyde bir artış meydana getirdiği ifade edilmiştir. Ekstrakte edilebilir fraksiyonların toplam fenolik madde içeriğinde önemli farklılıklar gözlemlenmezken, ekstrakte edilemeyen fraksiyonların toplam fenolik madde içeriğinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

2.2.2.5. şeker pancarı lifinin gıdalarda kullanımı

şeker pancarı lifinin tüketicilere beslenme açısından yarar sağlamasının yanı sıra gıda endüstrisinde de üretim açısından fonksiyonel avantajlar sunduğu iddia edilmektedir. Diğer bileşenlerle kolay bir şekilde karışması için çeşitli partikül boyutlarına sahip olması önerilen pancar liflerinin başlıca teknik özellikleri nem tutma, iyi bir tekstür ve ağız hissi oluşturmasıdır. Su tutma yeteneğinin etkilenebilmesi nedeniyle uygulamalarda partikül boyutu önemlidir (Auffret vd., 1994)  nk  ürünün tekstürünü ve ağız hissi özelliklerini etkileyebilmektedir. Bazı uygulamalarda,  rneğin Maillard reaksiyonlarının gerçekleştiği pişirme işlemlerinde bir miktar renk ilgi çekmekle birlikte, genel olarak hoş bir aromaya sahip renksiz lifler tercih edilmektedir (Thibault vd., 2001).

Pancar lifi aynı zamanda, tahıl lifinde bulunabilen ve mineralleri sıkı bir şekilde bağlayabilen bir materyal olan fitik asidi ve bazı insanlar için alerjik olan buğday proteini gluteni içermeme avantajına da sahiptir (Tjebbes, 1988).

şeker pancarı lifinin potansiyel kullanım alanları tahıllar, unlu mamuller, makarna, işlenmiş etler, çorbalar ve atıştırmalık ürünleri kapsamaktadır. Pastalar, kekler, bisküviler, çerezler, makarnalar ve et ürünleri için başarılı tarifler önerilmiştir. şeker pancarı lifi ekmeklerde doğal bir düzenleyici olarak ve aynı zamanda tazeliği muhafaza etmek amacıyla kullanılabilmektedir. Bisküvilerde lif içeriğini arttırmakta

ve et ürünlerinde sakız gibi ve sulu bir karakter meydana getirebilmektedir. (Thibault vd., 2001).

Filipovic vd. (2004), şeker pancarı küspesinden elde edilen ve kabul edilebilir duyusal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklere sahip katkının ekmek kalitesi üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla 95 µm'den küçük boyuta sahip şeker pancarı katkısı ekmek formülasyonunda %2, 5 ve 10 oranlarında kullanılmıştır. Hamurdaki şeker pancarı katkısının miktarı arttıkça hamur ve ekmek veriminin arttığı belirtilmiştir. Hacim azalması, ekmek içi kalitesinin düşmesi ve ekmek içi renginin değişmesi gibi olumsuz etkiler bildirilmiştir. %2 şeker pancarı katkısı kullanılması durumunda ekmek kalitesindeki azalmanın düşük olduğu, ancak %5 ve 10 ilave oranlarında kalitedeki azalmanın önemli seviyede olduğu ifade edilmiştir. Pişirmenin 48 saat sonrasında şeker pancarı katkısının su tutma yeteneğine bağlı olarak ekmek tazeliğinin yüksek nitelikte olduğu belirtilmiştir. Genel olarak, %5 ve 10 oranlarında şeker pancarı katkısı ilave edilmiş iyi kaliteli bir ekmeğin, unun glütenle desteklenmesi ve uygun miktarda hamur düzenleyici ilave edilmesi suretiyle elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Javidipour vd. (2005), palm, çiğit ve zeytinyağından hazırlanan interesterifiye edilmiş bitkisel yağlar ile birlikte %2 oranında şeker pancarı lifinin (<425 µm), Türk tipi salam üretiminde kullanımını incelemiştir. Bu bileşikler, geleneksel ürünün yağ asidi kompozisyonunu modifiye etmek ve besinsel lif içeriğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Sığır yağı (%10), interesterifiye edilmiş yağlardan biriyle %60 veya %100 oranında ikame edilmiştir. Şeker pancarı lif ilavesinin, salamların toplam besinsel lif içeriğini ve su tutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. İnteresterifiye bitkisel yağların ilave edilmesinin, yağ asidi bileşimini değiştirmesi nedeniyle ürünün besin içeriğini arttırdığı bildirilmiştir. Sığır yağının, interesterifiye bitkisel yağlar ile tamamen veya kısmen ikame edilmesinin yanı sıra %2 oranında şeker pancarı lifi mevcudiyetinin, ürünün görüntü, renk, tekstür, aroma ve duyusal puanlamasında önemli bir değişiklik meydana getirmediği ifade edilmiştir. İnteresterifiye bitkisel yağlar ve şeker pancarı lifinin yağ ikamesi olarak kullanılmasının, yüksek besinsel lif içeriği ve modifiye edilmiş yağ asidi bileşimine sahip yağ oranı düşük bir ürün elde etmek amacıyla değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Filipovic vd. (2007), şeker pancarından elde edilen modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş (pH 3.5, 7 ve 11 değerlerinde H₂O₂ ile modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş) liflerin kullanımının hamur ve ekmek verimi, ekmek hacmi ve ekmek içi kalitesi üzerine etkilerini deneysel çalışma ve matematiksel faktörler aracılığıyla belirlemişlerdir. Ekmek formülasyonunda %0'dan %15'e değişen oranlarda modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş lifler kullanılırken, %0'dan %5'e değişen oranlarda vital gluten kullanılmıştır. Her iki lif miktarındaki artışla birlikte, hamur ve ekmek veriminin arttığı fakat ekmek hacmi ve ekmek içi kalitesinin azaldığı bildirilmiştir. Diğer yandan, gluten miktarındaki artışın düşük lif miktarlarında ekmek hacmini arttırdığı ancak lif miktarı arttıkça glutenin etkisiz kaldığı belirtilmiştir. Modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş lifler karşılaştırıldığında, modifiye edilmemiş life üstünlük verilmiştir. Ekmeklerin düşük oranda gluten ile birlikte %10'dan düşük oranda modifiye edilmemiş lif ile zenginleştirilmesi tavsiye edilmiştir.

Cappa vd. (2013), glutensiz hamurların karıştırma ve mayalanma davranışları üzerine şeker pancarı lifi ve Psyllium ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Kalıplara dökülmeye uygun veya el ya da makine ile şekil verilebilecek farklı kıvama sahip dört hamur ve bunlardan elde edilen ekmekler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak mayalama esnasında, özellikle de suya karşı yüksek çekime sahip bileşenler formülasyona dahil edildiğinde, iyi bir hamur performansı elde etmek için düşük bir kıvamın tercih edileceği ileri sürülmüştür. Hem şeker pancarı lifi hem de Psyllium ilavesinin hamurların işlenebilirliğini geliştirdiği, fakat Psyllium'un film oluşturma kabiliyeti nedeniyle glutensiz ekmek gelişiminde merkezi bir rol oynadığı ve yüksek su bağlama kapasitesinden dolayı da bayatlamayı önleme açısından daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Pasha vd. (2016), zengin bir besinsel lif kaynağı olarak şeker pancarı tozunu kullanarak elde ettiği kurabiyelerin biyokimyasal karakterizasyonunu ve besinsel lif analizini gerçekleştirmişlerdir. Buğday ununa %4, %8, %12, %16 ve %20 oranlarında şeker pancarı tozu ilave edilmiş ve kurabiyelerin lif içeriği, antioksidan özellikleri ve teknik özellikleri değerlendirilmiştir. Bahsedilen parametrelerin hepsi için kurabiyelerin içeriklerinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Pancar tozu ilavesindeki artışla birlikte, kurabiyelerin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarlarının artış eğilimi gösterdiği ifade edilmiştir. *In vitro* antioksidan çalışmalarında, toplam fenolik madde içeriği ve radikal süpürme gücü (DPPH) önemli düzeyde artış eğilimi

göstermiştir. Şeker pancarı tozunu %20 oranında içeren kurabiye örneğinde fizikokimyasal özellikler açısından en iyi, fakat duyuşal özellikler açısından olumsuz sonuçların elde edildiği belirtilmiş, %12 oranında şeker pancarı tozu içeren kurabiye örneğinin ise iyi fizikokimyasal ve duyuşal özellikler gösterdiği bildirilmiştir.

Soronja Simovic vd. (2016b), fonksiyonel katkı maddeleri olarak şeker pancarı lifi ve keçiyoynuzu unu ilavesinin, deneysel reolojik hamur performansı ve ekmek kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Aynı zamanda, 16 günlük depolama periyodu boyunca ekmeğın mikrobiyolojik kalitesi de değerlendirilmiştir. Çalışmada kontrol örneği, koruyucu kalsiyum propiyonat içeren örnek, keçiyoynuzu unu içeren örnek, şeker pancarı lifi içeren örnek ve keçiyoynuzu unu ile şeker pancarı lifini kombinasyon halinde içeren örnek olmak üzere beş örnek kullanılmıştır. Fonksiyonel katkı maddelerini içeren örneklerin, besinsel lif mevcudiyetine bağlı olarak, daha yüksek su tutma kapasitesi (%2-10) ve daha uzun hamur gelişme süresine sahip oldukları bildirilmiştir. Bu örneklerin hamur direncinin önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir. Fonksiyonel bileşenlerin ilave edilmesinin (besinsel lifin hidrasyon özelliklerine bağlı olarak) ekmeğın tekstürünü ve duyuşal özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir. Şeker pancarı lifi içeren örnekte ekmek içi sertliğinin önemli ölçüde azaldığı (%70), esnekliğin ise kontrol örneğine kıyasla %25 oranında arttığı bildirilmiştir. Keçiyoynuzu unu ilavesine nazaran, ekmek içi esnekliğini arttırmak ve daha ince bir ekmek içi yapısı meydana getirmek suretiyle şeker pancarı lifi ilavesinin pozitif etkisinin onaylandığı belirtilmiştir. 16 günlük inceleme süresi boyunca keçiyoynuzu unu içeren ekmek örneğinde herhangi bir mikrobiyal kontaminasyon meydana gelmediği, dolayısıyla keçiyoynuzu ununun doğal bir koruyucu madde olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Soronja Simovic vd. (2017), şeker pancarı lifi ilavesinin kurabiyelerin antioksidan kapasitesini geliştirme olasılığını araştırmışlardır. Piyasada mevcut bir besinsel lifi (Fibrex) içeren kurabiyelere kıyasla modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş şeker pancarı lifi içeren kurabiyelerin deneysel olarak elde edilen antioksidan aktivitesi verilerine dayanarak kemometrik analiz gerçekleştirilmiştir. Kurabiye formülasyonuna modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş liflerin dahil edilmesinin, kontrol örneklerine kıyasla kurabiyelerin EC₅₀ (antioksidan aktivite) değerlerindeki azalma konusunda umut verici sonuçlar meydana getirdiği ifade edilmiştir. Modifiye şeker pancarı lifi ilave edilen kurabiye örneklerinin ilk 4 hafta

içerisinde (6 hafta süresince ölçüm yapılmıştır) en iyi antioksidan aktiviteyi gösterdiği, Fibrex içeren kurabiyelerin ise en yüksek antioksidan aktiviteyi gösterdiği bildirilmiştir.

Djordjevic vd. (2018), mısır kaynaklı glutensiz formulasyonlarda, hidroksipropilmetilselüloz (HPMC; %2, %3 ve %4 oranlarında), şeker pancarı lifi (%3, %5 ve %7 oranlarında) ve su (%210, %220 ve %230 oranlarında) kullanımını ve bunların glutensiz hamur reolojisi ve ekmek kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yüksek miktarlarda HPMC ilavesinin glutensiz hamur örneklerinin esneklik değerlerini azalttığı ve ayrıca glutensiz hamurun elastik özelliklerindeki artışın göstergesi olan dinamik katsayı değerlerini arttırdığı bildirilmiştir. Bahsedilen reolojik parametreler üzerinde daha az belirgin olmak üzere şeker pancarı lifi ilavesinin de aynı davranış biçimini gösterdiği ifade edilmiştir. Spesifik ekmek hacmi ve ekmek içi tekstürü (sertlik, koheziflik ve esneklik) açısından glutensiz ekmek kalitesi değerlendirildiğinde, yüksek miktarlarda HPMC ve şeker pancarı lifi ilavesinin bu kalite parametrelerini arttırdığı belirtilmiştir. Yeterli su içeriği ile birlikte HPMC ve şeker pancarı lifi ilavesinin, ekmek kalitesi üzerine olumsuz bir etki meydana getirmeksizin glutensiz ekmeklerin besleyici değerini arttırabileceği bildirilmiştir.

2.3. Mikronizasyon

Mikron- ve nanoteknoloji, materyallerin içsel kohezyonunu ortadan kaldıran ve parçalanmasına yol açan mekanik veya hidrodinamik metotlar aracılığıyla partikül boyutunun indirgenmesini kapsayan ve son yıllarda hızla gelişen teknolojilerdir. Partikül boyutunun azalması ile birlikte materyallerin yüzey etkileri, makrokuantum kanal etkileri, kuantum etkileri ile optik, mekanik, manyetik, kimyasal ve katalitik özellikler birtakım değişikliklere maruz kalabilmektedir (Huang vd., 2008a; Chen vd., 2018). Bu önemli değişikliklere bağlı olarak, ultra ince tozlar; seramik, elektrik malzemeleri, eczacılık, kimya, kâğıt yapımı ve buna benzer çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Biyomateryalleri çok ince parçacıklara öğütmek aynı zamanda aktif bileşiklerin verimli bir şekilde ekstraksiyonu açısından da etkili bir yöntemdir. Geçtiğimiz birkaç yıl boyunca, mikro- ve nanoteknolojideki hızlı ve istikrarlı gelişimle birlikte biyolojik toz teknolojisinde pek çok temel işlem geliştirilmiştir. Bu süre içerisinde, mikro- ve nanoteknoloji gıda endüstrisinde oldukça dikkat çekmiş ve birçok

ülkede araştırmaların odağı haline gelmiştir (Sangsuansri ve Augustin, 2006; Chen vd., 2018).

Geleneksel boyut küçültme metotları ile kıyaslandığında, mikron- ve nanoteknolojiler pek çok avantaja sahiptir. Öncelikle, daha küçük bir boyut daha büyük bir yüzey alanı anlamına gelmektedir ve bu durum da su absorpsiyonunun gelişmesi, yüksek çözünürlük, aroma salınımı ve hafif bir ağız hissine neden olmaktadır. Bununla birlikte, çok ince öğütme aracılığıyla boyut azalmasına bağlı olarak besleyici bileşenlerin çözünürlüğü artmakta ve bu bileşenler aynı zamanda insan vücudu tarafından kolaylıkla absorbe edilmektedir. İnce partiküllerin büyük spesifik yüzey alanına bağlı olarak, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlarda ürünün reaksiyon hızı etkili bir şekilde artmaktadır. Yüksek miktarda lif içeren materyallerde, geleneksel parçalama yöntemleri ürünü tam olarak öğütememekte ve çok miktarda atık (israf) oluşumuna yol açmaktadır. Mikron- ve nanoteknoloji, materyallerin aktif bileşenlerini zarar görmeden muhafaza etmek suretiyle gıdaların düşük sıcaklıkta ve kısa sürede öğütülmesi amacıyla kullanılabilmekte ve yüksek kaliteli ürünlerin üretimine olanak sağlamaktadır (Chen vd., 2018).

2.3.1. Katı materyallerde boyut küçültme

2.3.1.1. Jet öğütme

Hava akımı ile öğütme olarak da bilinen jet öğütme, genellikle 10 μm 'den küçük partiküller meydana getirmek için kullanılan bir akış enerjili çarpmalı öğütme tekniğidir. Gaz akışının partiküllerin partiküllere veya partiküllerin duvara çarpmasını sağlamak suretiyle parçalanmaya katkı sağladığı bir karıştırma haznesi içerisine besin partikülleri ile sıkıştırılmış gaz veya kızgın buhar enjekte edilmektedir (Djokic vd., 2014; Chen vd., 2018). Öğütme prosesi esnasında partiküllerin sınıflandırılması mümkün olmadığı için, son ürünü kaba veya ince materyallere ayıran bir havalı sınıflandırma sistemi harici olarak eklenmektedir. Kaba partiküller yeniden sisteme dahil edilmekte, ince olanlar ise bir sonraki birime gitmektedir. Tipik süper ince parçalayıcılara nazaran, jet öğütücü; düşük aşınma hızı, daha az yer kaplaması, düşük ses oranı, ısıya duyarlı materyalleri öğütebilme yeteneği ve otojen öğütme mekanizmasına bağlı olarak kontaminasyon olmaksızın çok ince öğütülmüş partiküller meydana getirebilmektedir. Dolayısıyla bu metot kimyasallar, ilaçlar ve minerallerin öğütülmesinde kullanılmaktadır (Midoux vd., 1999). Jet öğütmede enerji sarfiyatı

genel olarak diğerk öğütme metotlarına göre birkaç kat daha yüksektir. Yüksek maliyeti, düşük verimliliği ve düşük enerji kullanım hızı nedeniyle jet öğütmenin gelişimi sınırlanmıştır (Chen vd., 2018).

2.3.1.2. Bilyeli öğütme

Bilyeli öğütme, katı materyalleri parçalamak için kullanılan düşük maliyetli ve çevre dostu mekanik bir yöntemdir. Granüllerin ufalanması, yoğun öğütme kuvveti ile birlikte bilyenin basınç ve sürtünme faaliyetine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Zhang vd., 2010). Bu faaliyetler sayesinde partiküller parçalanabilmekte ve kristal materyallerin amorfizasyonuna yol açan sınırlı ısınma/erime meydana gelebilmektedir. Etkili öğütme için çok amaçlı bir cihaz olan bilyeli öğütücü türlerinden biri, gezgin bilyeli öğütücüdür. Eksenleri çevresinde açısız hızda dönen bir disk üzerine yerleştirilmiş iki veya daha fazla hazneden oluşmaktadır. Katı parçacıklı materyallerin üzerine öğütme aracının (bilyeler ve hazneler) etkisi, santrifüj ve koriolis kuvvetlerine bağlı olarak parçacıkların partikül boyutunda azalmaya yol açmaktadır. Materyalin boyutunu azaltmak için kullanılan enerji; sürtünme katsayısı, açısız hız ve öğütme süresi gibi parametreler aracılığıyla belirlenmektedir (Broseghini vd., 2015; Chen vd., 2018).

2.3.1.3. Koloit değirmen

Bir koloit değirmen temel olarak bir sabit kısım (statör) bir de döner milden (rotor) oluşmaktadır. Bunlar arasında küçük bir boşluk vardır. Materyaller boşluk içinden geçerken rotor da oldukça yüksek bir hızda dönmektedir. Döner yüzey üzerine yapışan materyaller maksimum hıza sahip olurken, statör üzerindeki materyaller rotora nispeten durgundur. Böylece bunlar arasında yüksek bir hız değişimi bulunmaktadır ve bu da kuvvetli kesme aracılığıyla öğütmeye neden olmaktadır (Maindarkar vd., 2014). Viskoz ve yoğun materyal çok kısa süre içerisinde 2-50 µm boyutlara öğütülebilmektedir ve değirmen aynı zamanda karıştırma, emülsifiye etme ve homojenize etme etkilerine sahiptir. Koloit değirmen basit yapısı, kolay kullanımı ve yer gereksinimi bakımından avantajlara sahiptir. Ancak, statör ve rotor arasındaki boşluk küçüktür ve çalışma alanı geniştir. İşleme etkinliği arttırılabilmesine rağmen cihaz kolaylıkla aşınmaktadır. Ayrıca, koloit değirmenin yapısı nedeniyle işleme kapasitesi oldukça sınırlıdır ve materyallerin düzgün akışını sağlayabilmek için basınçla besleme cihazına ihtiyaç duyulabilmektedir (Chen vd., 2018).

2.3.2. Sıvı materyallerde boyut küçültme

2.3.2.1. Ultrasonik homojenizasyon

Ultrasonik homojenizasyon, yüksek yoğunluklu ultrasonik dalgaların emülsiyon damlacıklarını parçalamak için yoğun kesme ve basınç değişimlerine neden olduğu bir prosestir. Damlacıkların bu şekilde parçalanması esas olarak kavitasyon etkisine dayandırılmaktadır. Ultrasonik homojenizasyon, primer bir emülsiyon oluşturmak yerine mevcut emülsiyonların boyutunu küçültmek için uygundur. Ultrasonik homojenizasyon genellikle 20-50 kHz aralığındaki frekansları kullanmaktadır. Geleneksel homojenizasyonla kıyaslandığında, yağ globül boyutunu indirmek için oldukça etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Chen vd., 2018).

2.3.2.2. Mikrofluidizasyon

Mikrofluidizasyon, interaksiyon haznesi içerisinde ince emülsiyonların oluşumuna yol açan, akışkanların birbiri ile ve hücre duvarı ile çarpıştığı yüksek hızlı mikroakışlar oluşturmak amacıyla yüksek basıncın kullanıldığı sürekli, yüksek kesme özelliğine sahip bir prosestir (McCrae, 1994). Küçük kanallar boyunca hızlı bir şekilde akan süspansiyon aracılığıyla oluşturulan bu çarpma kuvvetlerinin yanı sıra kesme gerilmesi, partiküllerin parçalanmasına ve genel olarak boyut azalmasına sebep olmaktadır. İnteraksiyon hazneleri ya Y-şeklinde ya da Z-şeklinindedir. Y-şeklindeki interaksiyon hazneleri, partikül süspansiyonunun başlangıçtaki jet akımını ikiye bölmekte ve ardından katı parçacıkların çarpışmasına neden olmak amacıyla bunları yüksek bir hızda ve basınçta yeniden birleştirmektedir. Z-şeklindeki hazneler, tek bir jet akımını muhafaza etmekte fakat partikülleri etkileşime girmeye mecbur etmek ve kesme kuvveti oluşturmak amacıyla akışın yönünü ani bir şekilde değiştirmektedir. Bu prosese dair dezavantajlar, mikropartiküllerin yüksek oranı ve partiküllerin istenen boyut aralığını sağlamak için yüksek geçiş sayısı gerektirmesidir (Leleux ve Williams, 2014).

2.3.2.3. Yüksek basınç homojenizasyonu

Homojenizasyon teknolojisinin 1900 yılında Auguste Gaulin tarafından keşfedildiği ve başarılı bir şekilde topluma sunulduğu bildirilmiştir (Fransız patent no. 295.596). O tarihten itibaren gıda endüstrisinde uygulamaya konulmuştur. Homojenizasyon, geliştirilmiş tekstür, tat, rayiha ve raf ömrü özelliklerine sahip gıda

emülsiyonları ve özellikle de süt, krema ve dondurma gibi süt ürünlerinin üretimine olanak sağlamak ve aynı zamanda işlem görmemiş ürüne kıyasla bazı ürünlerin tüketici tarafından kabulünde artış sağlamaktadır (Dickinson ve Stainsby, 1988). Tüketicilerin daha uzun bir raf ömrü ve daha iyi stabiliteye sahip ürünlere dair talebi, homojenizasyon teknolojisinde değişikliklere ve yeni gelişmelere yol açmıştır. Yüksek basınçlar veya ikili homojenizasyonlar başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Paquin, 1999). Doksanlı yılların başında, yüksek basınç homojenizatörleri olarak adlandırılan yeni nesil homojenizatörler geliştirilmiştir. Bu yeni teknoloji, klasik homojenizatörlerden 10-15 kat daha yüksek basınçlara direnç gösterebilen farklı bir reaksiyon haznesi geometrisine sahiptir. Gittikçe artan yüksek basınçlarda çalışan cihaz geliştirilmesi, daha düşük basınçlı işlemlerle birlikte kullanılabilir olmayan yeni uygulamalar ve ürün geliştirme açısından olanaklar yaratmıştır. Homojenizatör, genellikle süt ürünlerini işlemek için kullanılacak bir cihaz olarak düşünülebilmesine rağmen, şu anda pek çok endüstriyel uygulamanın önemli bir parçasıdır. Eczacılık, kozmetik, kimya ve gıda endüstrilerinde yüksek basınç homojenizasyonu, emülsiyonlar ve süspansiyonların hazırlanması ve stabilizasyonu amacıyla veya ürünlerde viskozite değişiklikleri gibi fiziksel değişiklikler oluşturmak için kullanılmaktadır (Pandolf, 1998; Diels ve Michiels, 2006). Yüksek derecede dispersiyon gerektiren bazı uygulamalar için 200 MPa'a kadar veya daha yüksek basınçlar incelenmektedir. Diğer bir uygulama alanı, rekombinant proteinler gibi hücre ürünlerini serbest bırakmak amacıyla maya ve bakteri hücrelerinin parçalanmasıdır (Diels ve Michiels, 2006).

Emülsiyon, dispersiyon, enkapsülasyon ve karıştırma, içecek imalatı esnasında homojenizasyon işleminin kullanılmasına yönelik nedenler arasında yer almaktadır. Gıda endüstrisinde kullanılan geleneksel endüstriyel homojenizatörler 50 MPa basınç seviyelerine kadar çalışabilmektedir. Standart homojenizasyonun bir muhafaza aşaması olmadığına dikkat çekilmiştir. Standart homojenizasyon esnasındaki basınç, sıcaklık ve geçiş süresi kombinasyonlarının temel gıda patojenlerini ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaları inaktive edemeyeceği ifade edilmiştir. Yüksek basınç pompaları, kompresörler, teçhizatlar, contalar ve basınç kazanlarında ortaya çıkan gelişimler, homojenizatörlerin 350 MPa basınca kadar çalışmasına olanak sağlamaktadır (Martinez Monteagudo vd., 2017).

Yüksek basınç homojenizasyonu (YBH) 100-350 MPa basınç seviyelerinde çalışabilen homojenizatörleri ifade ederken, standart homojenizasyon (SH) ifadesi ise 30-50 MPa basınç aralığında çalışan homojenizatörler için kullanılmıştır. Çizelge 2.3'de YBH ve SH'a dair bir karşılaştırma görülmektedir. Temel fark; valf geometrisi, aralık boyutu ve akış hızının bir fonksiyonu olan hedef proses basıncıdır. SH endüstriyel hacimsel akışları kullanabilen iyi gelişmiş bir teknoloji iken, YBH birimleri laboratuvarından pilot ölçeğe kadar hacimsel akışlar için tasarlanmıştır (Martinez Monteagudo vd., 2017).

Çizelge 2.3. Yüksek basınç homojenizasyonu ve standart homojenizasyonun karşılaştırılması (Martinez Monteagudo vd., 2017)

Tanım	Yüksek Basınç Homojenizasyonu	Standart Homojenizasyon
Çalışma basıncı	350 MPa'a kadar	50 MPa'a kadar
Uygulamalar	Partikül boyutunun indirgenmesi Emülsifikasyon Karıştırma Gıda muhafazası	Partikül boyutunun indirgenmesi Emülsifikasyon Karıştırma
Aralık boyutu	2-30 µm	20-100 µm
Ticari uygulamalar	Sütçülük, eczacılık ve içecek endüstrisi açısından potansiyel uygulamalarla gelişme halinde	Sütçülük Eczacılık İçecek endüstrisi
Mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu	Sıcaklık ve basıncın fonksiyonu	Minimal
Mikrobiyal etkinlik	Pastörizasyon ve sterilizasyon	Yok

2.3.2.3.1. Yüksek basınç homojenizatörünün yapısı ve çalışma mekanizması

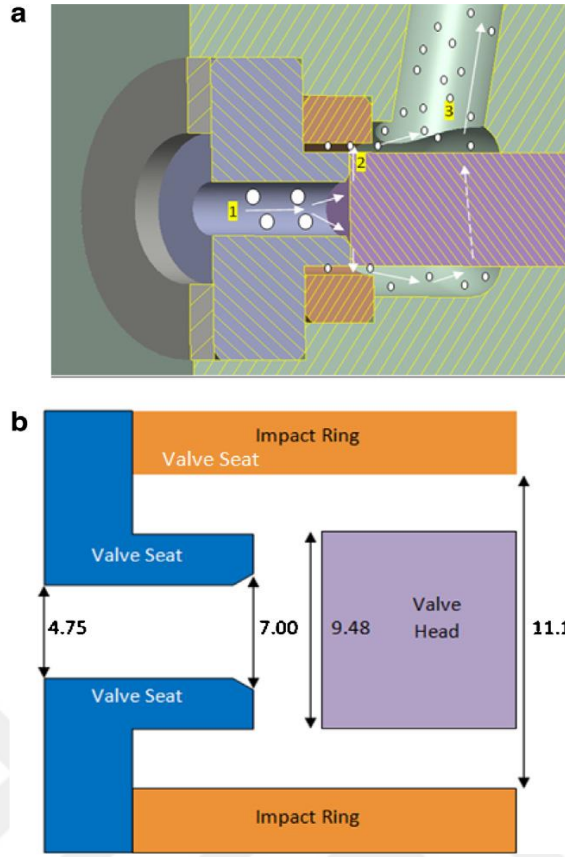
Homojenizasyon teknolojisi, homojenize edici bir valfin bağlı olduğu karşıt hareketli bir pompadan oluşmaktadır. Pompa, basınç altında akışkanları homojenize edici valf boyunca hareket ettirmeye zorlamakta ve ardından sıvı, valf boyunca yüksek hızda akmaktadır. Akışkanın hızı arttıkça, basınç ani bir düşüş meydana getirerek azalmakta ve önem sırasına göre sıralanması ve ölçülmesi oldukça zor olan fakat materyal yapısını parçalamak için yeterli enerjiye sahip olan kavitasyon, kesme,

türbülans ve sıcaklık artışı gibi olayların eş zamanlı olarak gerçekleşmesine neden olmaktadır (Jacquet vd., 2013).

Homojenizatörün, homojenize edici valfi başlıca üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; giriş bölgesi, geçit ve çıkış bölgesi (aynı zamanda darbe bölgesi veya çarpma bölgesi olarak da adlandırılır) olarak adlandırılmaktadır. Bu üç bölge Şekil 2.2'de görülmektedir.

Bir homojenizatör aşağıda belirtildiği şekilde çalışmaktadır:

1. Geçit bölgesinden önce, bir pompa, basıncın aşırı derecede yüksek bir değere artmasına yol açmaktadır. Genellikle, pistonlar tarafından beslenen bir basınç pompası bu basıncı sağlamaktadır. Pek çok homojenizatör günümüzde 150 MPa değerini aşabilmektedir.
2. Karışım, geçit bölgesi olarak adlandırılan dar bir aralık boyunca akmaktadır. Bu aralığın genişliği kullanıcı tarafından ayarlanabilmekte, bu da işlem basıncının değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Geçit bölgesinde, akışkanın hızı maksimum değerine ulaşmaktadır.
3. Akışkan, çarpma halkası yönünde akmak suretiyle geçit bölgesinden ayrılmakta ve çıkış bölgesine girmektedir. Bu bölgeden geçtikten sonra, akışkan çıkış yerinden ayrılmaktadır. Bu akışkan, çoklu geçişler için yeniden devridaim ettirilebilmekte veya bir sistem çıkış işlemine yönlendirilebilmektedir (Clarke vd., 2010).



Şekil 2.2. Homojenizatörde homojenize edici valfin enine kesiti
a) materyalin parçalanması b) kullanılan valf boyutları (Clarke vd., 2010)

Yüksek basınç valfleri veya farklı dizayna sahip interaksiyon hazneleri ile donatılmış ve sonuç olarak da farklı akış karakteristiklerine (laminar veya turbulent akış, kavitasyon, dayanıklı duvara çarpma, sıvı püskürtü çarpışması) sahip homojenizatörler mevcuttur. Tanımlı basınç seviyesine bağlı olarak, teknoloji, yüksek basınç homojenizasyonu (YBH, 150-200 MPa basınca kadar) veya ultra yüksek basınç homojenizasyonu (UYBH, 350-400 MPa basınca kadar) olarak adlandırılmaktadır (Dumay vd., 2013).

Son yıllarda, ultra yüksek basınç homojenizasyonunun yol açabileceği yapısal modifikasyonlardan kaynaklanan spesifik yenilikçi fonksiyonelliklere yönelik özellikle bir ilgi artışı mevcuttur. Aslında, yüksek basınç valf aralığı öncesinde (kısa süreli basınç oluşumu), boyunca (basınç düşmesi, şiddetli kesme kuvvetleri ve uzunlamasına gerilim) ya da çıkışında (türbülans, kavitasyon, çarpma) ard arda ve/veya eş zamanlı olarak meydana gelen çeşitli fiziksel olaylar, işlem gören akışkan içindeki partiküllerin modifikasyonuna yol açmakta, yukarıdan aşağıya (partikül

büyüklüğü azalması) ve aşağıdan yukarıya (partiküllerin tekrar birleşmesi) proses aracılığıyla bu partiküllere yeni yapısal ve fizikokimyasal özellikler kazandırmaktadır. Özellikle işlem gören akışkan çok dar bir yüksek basınç valf aralığı boyunca zorlandığında, partiküller (emülsiyon yağ damlacıkları, yağ globülleri, mikroorganizmalar) veya polisakkarit makromolekülleri mikron/mikron altı aralığa kadar önemli bir boyut azalmasına neden olan mekanikle ilişkili kuvvetler aracılığıyla parçalanabilmektedir (Cortes-Munoz vd., 2009; Paquin, 1999; Dumay vd., 2013). Dolayısıyla, UYBH ile işlem gören emülsiyonlar, nano-/mikron altı damlacıkların dar boyut dağılımına bağlı olarak zamana karşı mükemmel bir stabilite göstermişlerdir. UYBH'na dair ilk uğraş, çeşitli tamponlar, süt ve meyve sularında gösterilen mikrobiyal yük ve enzim aktivitesini dikkat çekecek bir şekilde azaltma kabiliyetine odaklanmıştır. Mikroorganizmaların, kesme etkileri ile birlikte sıcaklık artışı aracılığıyla parçalanabilecek mikropartiküller olarak düşünülebileceği belirtilmiştir. Enzim inaktivasyonunun, protein yapısının açılmasının ardından kümeleşmesinden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Dumay vd., 2013).

2.3.2.3.2. Yüksek basınç homojenizatöründe kırılma ve parçalanma teorileri

Homojenizasyon teorisi, makromoleküller gibi esnek bir kitlenin akış kaynaklı deformasyonuna dayanmaktadır. Partikül boyutunun indirgenmesi ya da partikülün parçalanması homojenizasyon valfi içerisinde gerçekleşmekte ve bunun esas olarak kesme, kavitasyon ve türbülansı kapsayan üç olayın birleşik etkisinin sonucu olduğu düşünülmektedir.

Homojenizasyon valfindeki dar aralık, akışkanın devinimini bozmakta, bu da akışkanın kendi içerisinde ve akışkan ile valf yatağı arasında kesme etkisi meydana getirmektedir. Kesme faaliyetleri; 1) düzlemsel kayma gerilimi ve 2) uzanımsal akış geriliminin nedeni olabilir. Kesme etkileri, laminer bir sistemde, damlacık parçalanması sırasında önemli bir rol oynamaktadır (Martinez Monteagudo vd., 2017).

Yüksek basınç homojenizasyon valflerinde, akışkanın akışı ansızın 100-1000 kat civarında azaltılmakta, bu da büyük ölçekli hız değişimleri meydana getirmektedir. Böyle bir durum, türbülent akışın karakteristikleri olan zaman ve alan bakımından akışkan bünyesinde düzensiz hareketlere yol açmaktadır. Türbülansın kendine özgü karakteristikleri nedeni ile karıştırma, emülsifiye etme ve homojenizasyonun başlıca etkeni olduğu düşünülmektedir. Türbülanslı akışlar, akışkan partiküllerinin karmaşık

yollara maruz bırakıldığı sonu belli olmayan gelişigüzel dağılımlar sergilemekte, bu da akışkan bünyesinde farklı karıştırma bölgelerine yol açmaktadır. Bu karıştırma, yayılma gücünü arttırmakta ve dolayısıyla hız, ısı ve kütle transfer oranlarını arttırmaktadır. Türbülansın önemli bir özelliği, onun dağıtıcı yapısıdır. Türbülans, kinetik enerjiyi girdap ve ısı formunda dağıtmaktadır. Bu, partiküllerin parçalanması ve sıcaklık artışı için yeterli enerjiyi sağlamaktadır. Türbülans, sabit bir enerji kaynağı sağlanmadıkça kendi devamlılığını sağlayamayan kesiksiz bir olaydır. Homojenizasyon boyunca, sisteme sağlanan enerji, farklı yoğunluklar ve uzunluk ölçeğine sahip anforlar veya girdapların spektrumunda dağıtılmaktadır (Martinez Monteagudo vd., 2017).

2.3.2.3.3. Yüksek basınç homojenizasyonu uygulamalarının besinsel lifler üzerine etkileri

Kivelä vd (2010), kısmen seyreltik ve konsantre çözeltilerdeki yulaf β -glukanının akış ve moleküler özelliklerindeki değişimler üzerine iki yüksek basınç homojenizatörü (pilot ölçekli yüksek basınç valfine sahip bir homojenizatör, 5-100 MPa basınç aralığı; laboratuvar ölçekli yüksek basınç homojenizatörü, 20-160 MPa basınç aralığı) ve bir rotor/statör homojenizatörü (pilot ölçekli bir koloit değirmeni) olmak üzere üç homojenizatörün etkilerini incelemişlerdir. Kısmen seyreltik çözeltilere dair her bir homojenizasyon uygulamasının ardından, viskozitede belirgin ve geri dönüşümsüz bir azalma ve akış davranışında değişim gözlenmiştir. Viskozitenin, yüksek basınçla homojenize edilmiş örneklerin molar kütlesi ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu ve mekanik enerji girişi ile paralel olarak azaldığı belirtilmiştir. Molar kütlenin azalması ile birlikte, β -glukan şeklinin daha küresel ve yoğun hale geldiği, ayrıca moleküler ağırlık dağılımının daraldığı bildirilmiştir. Daha önceki çalışmalara aykırı olarak iki yüksek basınç tekniğinin etkileri arasında önemli bir farkın gözlenmediği ifade edilmiştir.

Hu vd (2013), sinir otu (*Plantago asiatica* L.) tohumlarından elde edilen homojenize edilmiş ve homojenize edilmemiş polisakkaritlerin antioksidan kapasitesi ve kısa zincirli yağ asidi üretimini de kapsayan fizyolojik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yüksek basınç homojenizasyonunun, polisakkaridin partikül boyutunu azalttığı ve yüzey özelliklerini geniş pul-benzeri bir yapıdan daha küçük gözenekli parçacıklara dönüştürdüğü belirtilmiştir. Yüksek basınç

homojenizasyonunun, polisakkaridin primer yapısını değiştirmediği ancak antioksidan kapasitesini arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, homojenize edilmiş polisakkaritlerle diyetin desteklenmesinin ardından farelerin kalın bağırsak ve çekumlarında toplam kısa zincirli yağ asidi, propiyonik asit ve n-bütirik asit üretiminde önemli ölçüde artış meydana geldiği belirtilmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu uygulamasının, gıda endüstrisinde katma değerli polisakkaritlerin üretimi için umut verici bir yaklaşım olabileceği ifade edilmiştir.

Chen vd (2013), şeftali ve yulaftan elde edilen çözünmez besinsel lifin (IDF) karakteristikleri ve fizikokimyasal özellikleri üzerine mikrofluidizasyon prosesinin etkilerini incelemişlerdir. Mikrofluidizasyon prosesinin, IDF'in partikül boyutunu etkili bir şekilde mikronaltı ölçeğe indirgediği, lif bileşiminde çözünmez fraksiyondan çözünür fraksiyona bir yeniden dağılıma neden olduğu ve IDF'in fizikokimyasal özelliklerini (su tutma kapasitesi, şişme kapasitesi, yağ tutma kapasitesi) farklı derecelerde geliştirdiği belirtilmiştir. Mikrofluidizasyonun ardından, IDF'in tokluk kan şekeri (IDF'in glukoz difüzyonu, glukoz adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkisini ve α -amilaza yönelik inhibe edici etkisini de kapsamaktadır) ve pankreatik lipaz aktivitesini azaltma kabiliyetinde genel olarak artış olduğu bildirilmiştir. Mikrofluidizasyon prosesinin, IDF'in fonksiyonelliğini etkili bir şekilde geliştirebileceği ve fonksiyonel gıdalarda lifçe zengin potansiyel bir bileşen olarak kullanılabiliceği sonucuna varılmıştır.

Ulbrich ve Flöter (2014), selüloz esaslı bir lif ürününün su bağlama özellikleri üzerine yüksek basınç homojenizasyonu ile modifikasyonun etkilerini araştırmışlardır. Ticari bir besinsel lif, bir yüksek basınç homojenizatöründe süspansiyonu muamele etmek suretiyle modifiye edilmiştir. Makroskopik özellikler ve su bağlama özelliklerini incelemeyen önce farklı kurutma metotları uygulanmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre uygulamaları, mekanik modifikasyondaki artışla birlikte donma özelliği olmayan daha fazla suyun bağlandığını göstermiştir. Kapiler emme yöntemi ve santrifüj denemeleri, mekanik uygulama ile birlikte su bağlama kapasitesinin sistematik olarak değiştiğini tespit etmiştir. Reolojik çalışmalar, modifikasyonun liflerin fizikokimyasal özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu doğrulamıştır. Yüksek su tutma kapasitesine sahip örneklerin, daha yüksek spesifik hacim veya şişme ile ve muhtemelen karşılıklı olarak gerçekleşen birbirine dolaşmadaki artış ile ilişkili olarak jel-benzeri yapılar meydana getirdiği belirtilmiştir.

Su bağlamanın esas olarak porozite gibi yapısal parametrelere bağlı olduğu ve ilave bir mekanik uygulama porozitede artışa yol açmadığı müddetçe su bağlama özelliğinin daha fazla artmayacağı ifade edilmiştir. Mekanik muamelenin etkilerinin, farklı kurutma metotlarının etkilerinin yerini aldığı bildirilmiştir. Ancak, dondurarak kurutma ve su-etanol ekstraksiyonu ile kurutma gibi daha hassas kurutma metotlarının püskürtmeli kurutma ve fırında kurutma gibi kurutma metotlarına göre genellikle daha yüksek su bağlama kapasitelerine yol açtığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın, selüloz esaslı lifli bir materyalin su bağlama kapasitesi üzerine mekanik muamelenin büyük etkisinin kuvvetli bir şekilde kurutulmuş örneklerin porozitesi ile ilişkili olduğunu belgelendirdiği ifade edilmiştir.

Wang vd (2014), mısır kepeğinin antioksidan özellikleri üzerine mikrofluidizasyon prosesinin etkilerini incelemiştir. Mikrofluidizasyon prosesi, mısır kepeğinin partikül boyutunu indirmek ve sıkı mikroyapısını gevşetmek amacıyla uygulanmıştır. Bu prosesin, mısır kepeğinin yüzey tepkime olayı aracılığıyla sergilenen antioksidan aktivitesini ve ayrıca alkali ve asit hidrolizinin ardından fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğini önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. 87 µm interaksiyon haznesinden 5 kez geçmek suretiyle mikrofluidize edilen mısır kepeği için, alkali hidrolizinin ardından serbest kalan ve en çok artış gösteren iki fenolik asidin p-kumarik asit (%51.1) ve ferulik asit (%45.1) olduğu ifade edilmiştir. Mikrofluidizasyon prosesi esnasındaki yüksek kesme geriliminin, sudaki serbest fenolik bileşiklerin kısmen dispersiyonuna ya da çözülmesine yol açtığı ve bu bileşiklerin prosesin ardından kayba uğradığı bildirilmiştir. Ayrıca, alkali ve asit hidrolizinin ardından kepek kalıntısının yine de yüzey tepki olayı aracılığıyla kuvvetli antioksidan aktivite gösterdiği, bunun da muhtemelen solvent ekstraksiyonu ve nispeten ılımlı alkali ve/veya asit hidrolizine dayanan geleneksel metodun mısır kepeğinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesini düşük tahmin etmesini açıkladığı belirtilmiştir.

Hu vd (2015), çözünmez besinsel liflerin gıda kalitesini çoğunlukla olumsuz şekilde etkilediğini ve dolayısıyla buğday kepeğinden elde edilen çözünmez besinsel lifin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin nasıl geliştirilebileceğinin işleme açısından önemli bir sorun olduğunu bildirmişlerdir. Buğday kepeğinden elde edilen çözünmez besinsel lif; yüksek basınç homojenizasyonu, yüksek yoğunluklu sonikasyon ve bu iki yöntemin kombinasyonu kullanılmak suretiyle mikronize edilmiştir. Yüksek basınç

homojenizasyonu ile homojenizasyon ve sonikasyon uygulamaları kombinasyonunun, çözünürlük, şişme, su tutma, yağ tutma ve katyon değişim kapasitelerini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir. Yüksek yoğunluklu sonikasyon uygulamasının tek başına kullanılması durumunda, bahsedilen özelliklere dair gelişimlerin çok az olduğu bildirilmiştir. Birçok durumda, yüksek basınç homojenizasyonunun bahsedilen özellikleri geliştirme açısından yüksek basınç homojenizasyonu + yüksek yoğunluklu sonikasyon prosesi kadar etkili olduğu; dolayısıyla yüksek yoğunluklu sonikasyon uygulamasının, homojenizasyon ve sonikasyonun kombinasyon halinde uygulandığı prosese katkısının çok düşük olduğu ifade edilmiştir. En iyi sonuçlar, buğday kepeğinin minimum partikül boyutunun 9 µm'ye kadar inebileceğini göstermiş ve çözünürlük, şişme, su tutma, yağ tutma ve katyon değişim kapasitelerinin önemli ölçüde değiştiği belirtilmiştir.

Huang vd (2015), soya posasından elde edilen çözünmez besinsel liflerin modifiye edilmesinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Enzimatik [90-150 dk. süresince 50 °C'de selüloz/substrat oranı %2.0-6.0 (w/w)], kimyasal [1-3 saat su banyosu, su banyosu sıcaklığı 50-90 °C, Na₂HPO₄ konsantrasyonu % 0.1-0.9 ve örnek/reaktif oranı 1:40-1:60 (w/v)] ve fiziksel (optimum selüloz uygulama koşullarında bir veya iki kez homojenize etme) uygulamalar kullanmak suretiyle, soya posasından elde edilen modifiye çözünür besinsel lifin (mSDF) fizikokimyasal ve fizyolojik özelliklerindeki değişiklikler değerlendirilmiştir. Kimyasal muamele ile elde edilen mSDF verimliliğinin (%57.16), selüloz muamelesi ile kombinasyon halinde olan fiziksel muameleye [bir (%16.54) ve iki (42.02) kez homojenizasyon] göre önemli ölçüde yüksek olduğu belirtilmiştir. Bütün uygulamaların mSDF'in şişme kapasitesini geliştirdiği ve safra asidi ve kolesterol absorpsiyon kapasitesini arttırdığı, fakat homojenizasyon-selüloz uygulaması hariç, enzimatik ve kimyasal uygulamaların mSDF'in toplam indirgeme gücünü azalttığı bildirilmiştir. Dolayısıyla, homojenizasyon-selüloz uygulamasının SDF oranını arttırmak ve soya küspesinin fonksiyonelliğini geliştirmek amacıyla uygun yöntem olabileceği ifade edilmiştir.

Zhu vd (2015), kabuksuz arpa kepeği besinsel lifinin antioksidan ve fizikokimyasal özellikleri üzerine partikül boyutunun etkisini incelemişlerdir. Kabuksuz arpa kepeği ve ekstrakte edilmiş besinsel lif, normal öğütme ve süperince öğütme (minitype airflow pulverization instrument) aracılığıyla öğütülmüş ve lazer

kırınım metodu kullanılarak partikül boyutları belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, süperince öğütmenin besinsel lif partiküllerini önemli düzeyde mikroölçek haline getirdiğini ve partikül boyutu dağılımının Gauss dağılımına yakın olduğunu göstermiştir. Süperince öğütme ile birlikte, kabuksuz arpa kepeğinin çözünür besinsel lif içeriğinin etkili bir şekilde arttığı belirtilmiştir. Mikronaltı ölçeğe sahip çözünmez besinsel lifin toplam fenolik madde içeriği (TPC), DPPH radikal süpürme aktivitesi ve demir indirgeyici antioksidan gücünde (FRAP) artış meydana geldiği ifade edilmiştir. Partikül boyutunun azalması ile birlikte; su tutma kapasitesi (WRC), şişme kapasitesi (SC), yağ bağlama kapasitesi (OBC) ve nitrit iyonu absorpsiyon kapasitesinin (NIAC) önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Süperince öğütme işlemi uygulamak suretiyle, yüksek çözünür besinsel lif içeriği, WRC, SC, OBC, NIAC ve antioksidan aktiviteye ve sağlık açısından faydalı etkiye sahip bir besinsel lif çeşidinin elde edildiği belirtilmiştir.

Luo vd (2018), fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla bambu filizi kabuğundan elde edilen çözünmez besinsel lifi, enzimatik hidroliz ve dinamik yüksek basınç mikrofluidizasyonu (DHPM) aracılığıyla modifiye etmişlerdir. Enzimatik hidroliz ve DHPM uygulamasının ardından, bambu filizi kabuğu besinsel lifinin partikül boyutunda önemli düzeyde azalma ve dikkat çekici mikroyapısal değişiklikler gözlemlendiği, özellikle DHPM ile modifiye edilmiş lifin yüzeyinde bal peteği görünümü ve büyük boşlukların açık bir şekilde görülebildiği ifade edilmiştir. Uygulamalar esnasında lignin ve hemiselülozun bir kısmının uzaklaştırılmasına bağlı olarak modifiye edilmiş liflerin kristallenme derecesi ve termal stabilitesinin arttığı bildirilmiştir. Modifiye edilmemiş ve enzimatik olarak hidrolize edilmiş liflerle kıyaslandığında, DHPM ile modifiye edilmiş liflerin yalnızca daha yüksek su tutma kapasitesine değil aynı zamanda yağ, nitrit iyonu, glukoz ve kolesterol için daha umut verici bağlanma kapasitelerine sahip olduğu, bu durumun da liflerin partikül boyutundaki azalmaya ve gözenekli yapısına bağlı olabileceği belirtilmiştir. DHPM ile modifikasyonun bambu filizi kabuğu besinsel lifinin fonksiyonel özelliklerini etkili bir şekilde geliştirdiği ve gıdalarda kullanımına katkıda bulunacağı ifade edilmiştir.

Xie vd (2019), pirinç kepeği besinsel lifinin (RBDF) yapısal ve fizikokimyasal özellikleri üzerine selülaz hidrolizi ve yüksek basınç homojenizasyonunun etkilerini araştırmışlardır. Taramalı elektron mikroskopu aracılığıyla, selüloz uygulamasının RBDF yüzeyinde gözenekli bir yapının oluşumuna yol açtığı gösterilmiştir. Yüksek

basınç homojenizasyonun, RBDF'nin çok katlı mikroyapısını etkilediği, düzensiz ve gevşek bir yüzey yapısının oluşmasına neden olduğu bildirilmiştir. Selüloz hidrolizi ve yüksek basınç homojenizasyonunun birlikte uygulanmasının, selülozun kristal bölgelerinde minör bir etkiye sahip olmakla birlikte, hemiselüloz ve selülozun amorf kısımlarını tahrip ettiği ve RBDF'nin kristallenme derecesini değiştirdiği belirtilmiştir. FTIR analizi ile birlikte, proseslerin kombine halde uygulanmasının, lif yapısındaki bazı glikozidik bağların ayrışmasına neden olduğu, selülozdaki hidroksil gruplarını ortaya çıkardığı ve dolayısıyla su moleküllerini bağlama yeteneklerini arttırdığı gösterilmiştir. Selüloz hidrolizi ve yüksek basınç homojenizasyonu uygulamasının, RBDF'nin yağ bağlama kapasitesini arttırmadığı fakat su tutma kapasitesi, şişme kapasitesi ve katyon değişim kapasitesini önemli düzeyde arttırdığı bildirilmiştir. Enzimatik hidroliz ve yüksek basınç homojenizasyonu uygulamasının çok sayıda hidrofilik grubu açığa çıkarmak suretiyle RBDF'nin yapısını değiştirebileceği, hidrasyonu arttıracacağı ve uniform RBDF partiküllerinin elde edilmesini sağlayacağı ifade edilmiştir.

Farklı besinsel liflerin fizikokimyasal özelliklerini geliştirmek amacıyla yüksek basınç homojenizasyonu veya mikrofluidizasyon gibi prosesler uygulanmakla birlikte şeker pancarı lifini modifiye etmek ve özelliklerini geliştirmek için bu tarz bir işlemin uygulanmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla şeker pancarı lifinin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi ve modifiye edilmiş bu lifi ekmek yapımında kullanmak suretiyle lifin hamur ve ekmek özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Şeker ekstraksiyonundan sonra artık olarak elde edilen şeker pancarı posası Malatya Şeker Fabrikası'ndan temin edilmiştir. İçerisinde bulunan koyu renkli parçacıkların ayrılmasının ardından şeker pancarı posası kurutma kağıtları üzerinde oda sıcaklığında kurutulmuş ve kullanılıncaya kadar plastik poşetler içinde derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

Ekmek yapımında kullanılan ticari buğday unu (Söke Geleneksel Un; kuru maddede maksimum %10 protein, maksimum %0.59 kül), pres maya (Pak Maya) ve tuz yerel bir marketten temin edilmiştir. Ekmek üretiminde ayrıca gıda saflığında L-askorbik asit ve ticari un işleme maddesi (Puratos; buğday unu, alfa amilaz, hemiselülaz, lipaz) kullanılmıştır. Kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Şeker pancarı lifinin elde edilmesi

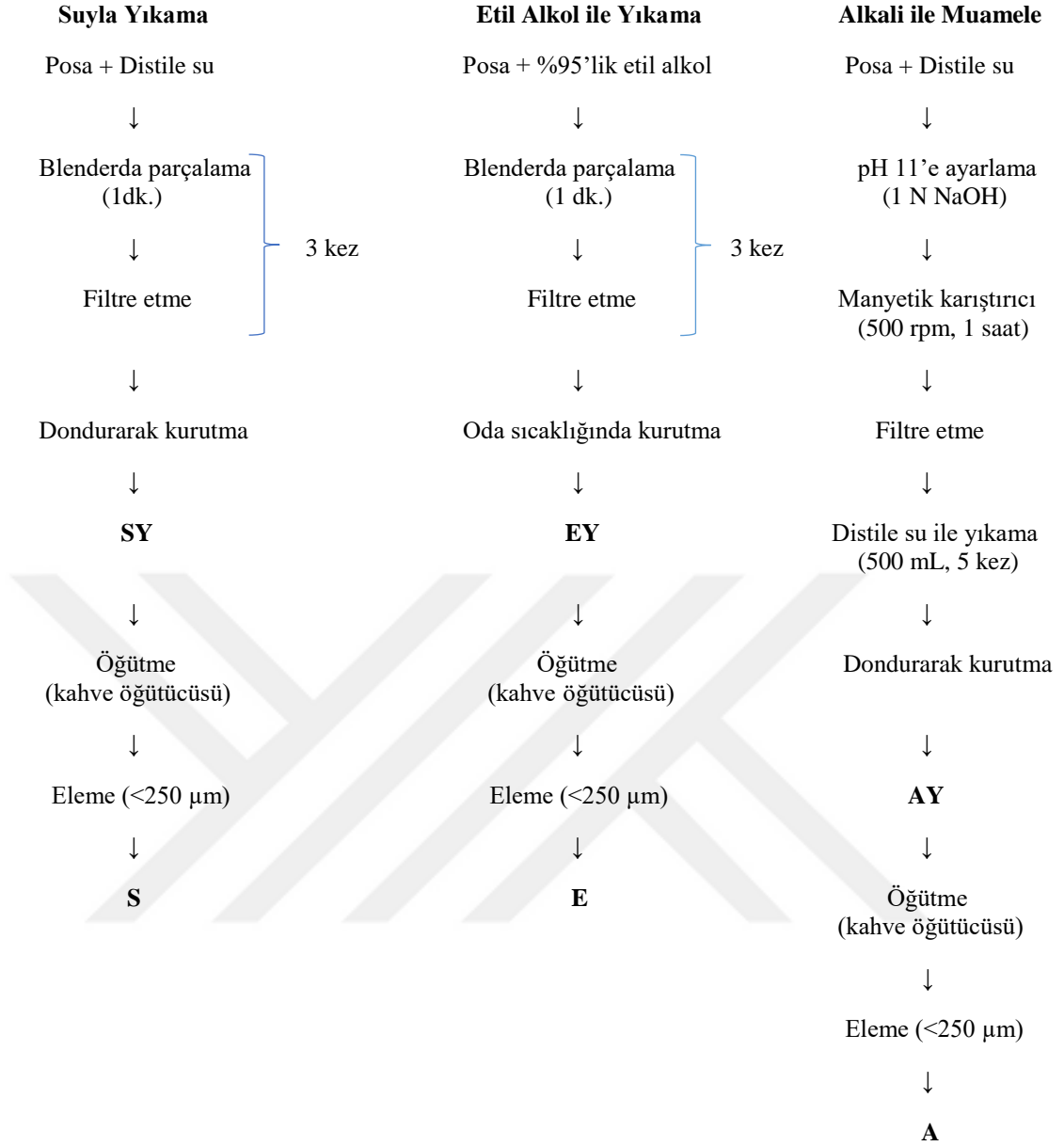
Şeker pancarı posasından besinsel lifçe zengin örneklerin hazırlanması amacıyla uygulanan yöntemler aşağıda tanımlanmış ve Şekil 3.1'de akış şeması halinde verilmiştir.

3.2.1.1. Suyla yıkama

Uygun miktarda posa iki katı kadar distile su içerisinde mutfak tipi parçalayıcı ile 1 dk süreyle parçalanmış ve karışım filtre edilmiştir. Parçalama ve filtrasyon işlemi üç kez tekrarlanmıştır. Elde edilen lifli yapı dondurarak kurutucuda kurutulup kullanılıncaya kadar -18°C'de polietilen poşetler içinde muhafaza edilmiştir.

3.2.1.2. Etil alkol ile yıkama

Michel vd. (1988) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Uygun miktarda posa iki katı (ağırlık/hacim) %95'lik etil alkol içerisinde mutfak tipi parçalayıcı ile 1 dk süreyle parçalanmış ve karışım filtre edilmiştir. Bu işlem üç kez tekrarlanmıştır. Elde edilen lifli yapı oda sıcaklığında kurutulup kullanılıncaya kadar -18°C'de polietilen poşetler içinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Şeker pancarı besinsel lifi hazırlama yöntemleri

S: Suyla yıkanmış lif örneği, **E:** Etil alkol ile yıkanmış lif örneği, **A:** Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

3.2.1.3. Alkali ile muamele

Kuan ve Liong (2008) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu amaçla 15 g posa örneği (partikül iriliği <1 mm) üzerine belirli oranda (1:15, ağırlık/hacim) distile su ilave edilip manyetik karıştırıcı ile karıştırılırken üzerine 1 N NaOH ilave edilerek pH değeri 11'e ayarlanmıştır. 1 saat süreyle 500

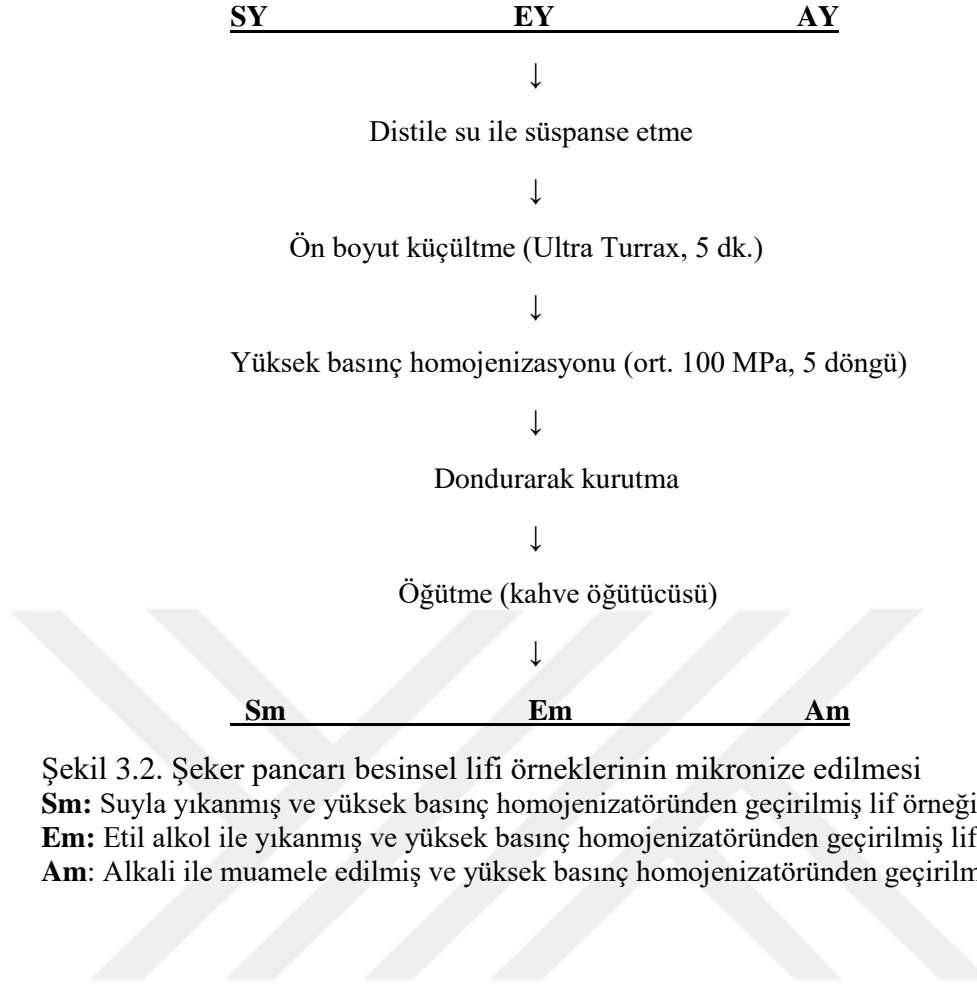
rpm'de karıştırmaya devam edilmiştir. Süre sonunda karışım filtre edilmiş ve 5 kez 500 mL distile su ile yıkanmıştır. Yıkama ve filtrasyon sonrası elde edilen lifli yapı dondurarak kurutucuda kurutulup kullanılıncaya kadar -18°C'de polietilen poşetler içinde muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Mikronize edilmemiş şeker pancarı lifinin hazırlanması

Yukarıda tanımlanan üç farklı uygulama sonucu elde edilen lifli materyallerin mutfak tipi kahve ğtcsnde ğtlp 250 µm'lik elekten geçirilmesi sonucu yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmeyen lif rnekleri (S, E ve A) elde edilmiştir ve kullanılıncaya kadar -18°C'de polietilen poşetler içinde muhafaza edilmiştir.

3.2.3. şeker pancarı lifinin mikronize edilmesi

şeker pancarı lifi rneklерinin mikronize edilmesi amacıyla uygulanan işlemler şekil 3.2'de gösterilmiştir. şeker pancarı posasından üç farklı yöntemle elde edilen lifli materyaller, yüksek basınç homojenizatöründen (SUFLUX, ISA-NLM 100 Nano Disperser) geçirilerek boyut küçültme (mikronize etme) işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, belirli miktarda örnek üzerine distile su ilave edilip (1:75, ağırlık:ağırlık) rnek süspanse edilmiş ve ardından homojenizasyon esnasında gerçekleşebilecek tıkanmayı önlemek amacıyla yüksek devirli parçalayıcıda (Ultra Turrax T25, IKA-WERKE, Germany) 5 dk süreyle bir n boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen örnek yüksek basınç homojenizatöründen ortalama 100 MPa basınçta 5 kez geçirilerek boyut küçültme işlemi uygulanmış ve elde edilen yapı dondurarak kurutucuda kurutulmuştur. Kahve ğtcsnde 2 dk süreyle ğtlerek toz haline getirilmiş ve böylece mikronize edilmiş şeker pancarı lifi rnekleri (Sm, Em, Am) elde edilmiştir. Bu rneklер kullanılıncaya kadar -18°C'de polietilen poşetler içinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.2. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin mikronize edilmesi

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

3.2.4. Kimyasal analizler

3.2.4.1. Nem, protein, yağ ve kül analizleri

AOAC (1997) metotları kullanılarak Kjeldahl yöntemi ile protein miktarı (Nx6.25) (method 954.01), Soxhelet ekstraksiyonu (hegzan) ile yağ miktarı (method 920.39), nem miktarı (method 925.09) ve kül miktarı (method 923.03) belirlenmiştir.

3.2.4.2. Toplam, çözünmez ve çözünür lif tayini

Elde edilen lifli materyallerin toplam besinsel lif miktarı AACC (1990)'e göre belirlenmiştir (method 32-05.01). Örnekler, nişasta ve proteinin uzaklaştırılması amacıyla ısıya dirençli α -amilaz, proteaz ve amiloglukozidaz enzimlerinin art arda kullanıldığı bir enzimatik parçalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlemin ardından enzimlerle parçalanmış olan materyaldeki çözünür besinsel lifi çökeltilmek için alkol ile muamele edilmiş ve filtre edilmiştir. Filtrat (toplam besinsel lif kalıntısı) sırasıyla %95'lik etanol, %78'lik etanol ve aseton ile yıkanmıştır. Ardından örnekler 103 °C'deki etüvde sabit tartıma erişinceye kadar kurutulmuştur.

Toplam besinsel lif miktarı (TBL, %) aşağıdaki formüle göre hesaplanmış, ayrıca kül ve protein düzeltmesi yapılmıştır.

$$TBL (\%) = \frac{[(\text{Kurutma sonrası kroze} + \text{örnek ağırlığı}) - (\text{Kroze ağırlığı})]}{\text{Örnek miktarı}} * 100$$

Çözünmez lif tayininde alkol ile presipitasyon aşaması hariç yukarıdaki prosedür uygulanmıştır. Çözünür lif miktarı, toplam lif miktarından çözünmez lif miktarının çıkarılması suretiyle hesaplanmıştır.

3.2.5. Partikül iriliği

Üç farklı yöntemle elde edilen örnekler distile su ile süspansiyon edilip 5 dakika boyunca yüksek devirli parçalayıcı ile homojenize edilmiş (0 geçiş), ardından bu örnekler yüksek basınç homojenizatöründen 7 kez geçirilmek suretiyle 1, 3, 5 ve 7. geçişler sonunda elde edilen örnekler partikül iriliği analizinde kullanılmıştır. Şeker pancarı posasından elde edilen taneciklerin partikül iriliği ve dağılımını belirlemede lazer ışığı saçılma prensibine göre çalışan ve 0.02-2000 µm arası boyutu ölçebilen Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments LTD.UK) kullanılmıştır.

3.2.6. Lif örneklerinin renk analizi

Lif örneklerinde renk analizi Minolta Color Reader CR-10 renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve posa ile mikronize edilmemiş ve mikronize edilmiş lif örneklerine ait L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri belirlenmiştir.

3.2.7. Partikül morfolojisi

Lif örneklerinin mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM; Leo EVO-40 VPX, Carl Zeiss SMT, Cambridge, İngiltere) ile görüntülenmiştir.

3.2.8. Fonksiyonel özellikler

3.2.8.1. Şişme kapasitesi

Şişme kapasitesi belirli miktardaki lifin uygulama koşullarında şişerek kapladığı hacim olarak ifade edilmektedir. Yaklaşık 1 g lif örneği, 25 mL'lik ölçü silindiri içerisindeki 20 mL suda spatül yardımıyla yavaşça karıştırılarak dağıtılıp hava kabarcıklarının elimine edilmesi sağlanmış ve silindirin üstü parafilmle kaplanarak oda sıcaklığında hidrate olması için bir gece bekletilmiştir. Sonuçlar şişen hacim mL/g kuru lif olarak ifade edilmiştir (Wang vd., 2012).

3.2.8.2. Su tutma kapasitesi

Yaklaşık 1 g lif örneği üzerine 10 mL saf su ilave edilerek 1 dk süresince karıştırılmış ve ardından 2200 g'de 30 dk santrifüj edilerek üstte kalan kısmın hacmi belirlenmiştir. Sonuçlar g tutulan su/g lif olarak ifade edilmiştir (Kuan ve Liong, 2008).

3.2.8.3. Yağ tutma kapasitesi

Yaklaşık 1 g lif örneği üzerine 10 mL sıvı yağ (ayçiçek yağı, $d=0.917$ g/mL) ilave edilerek 1 dk süresince karıştırılmış ve ardından 2200 g'de 30 dk santrifüj edilerek üstte kalan kısmın hacmi belirlenmiştir. Sonuçlar g tutulan yağ/g lif olarak ifade edilmiştir (Kuan ve Liong, 2008).

3.2.8.4. Yığın yoğunluğu

10 mL hacimli ölçü silindirine doldurulan liflerin kütlelerinin hacmine oranı olarak saptanmıştır.

3.2.8.5. Viskozite

Frost vd. (1984) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. Bu amaçla, %1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında lif örneği yavaş bir şekilde distile suya ilave edilmiş ve karışım mutfak tipi karıştırıcıda (Sinbo el blenderı, SHB 3041) 1 dk süreyle karıştırılmıştır. Süspansiyon, dengeye ulaşması ve sıkışmış olan havanın sızması amacıyla oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra Brookfield DV-II vizkozimetre (Brookfield Engineering Laboratories Inc., USA) (spindle no.4) kullanılarak 50 rpm devirde viskozite ölçümü gerçekleştirilmiştir.

3.2.9. Hamur üretimi

Hamur üretiminde Wang vd. (2002) tarafından uygulanan prosedür modifiye edilerek kullanılmıştır. Kullanılan su miktarı 100 g un için 60 g olarak sabit tutulmuştur. Temel hamur formülasyonu 100 g un esasına göre; 2 g tuz, 3 g pres maya, 3 g ticari un işleme maddesi, 0.005 g L-askorbik asit ve 60 g su şeklindedir. Formülasyona lif ilavesi %2, 4, 6, 8 ve 10 olacak şekilde ilave edilen lif miktarına karşılık gelen un miktarını eksiltmek suretiyle yapılmıştır.

3.2.10. Hamur reolojisi

Hamurun reolojik özelliklerini belirlemek için Upadhyay vd. (2012) tarafından uygulanan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Dinamik testler için paralel plaka geometrisi (25 mm çap, 1 mm açıklık) kullanılmış ve tüm ölçümler 25°C sıcaklıkta yapılmıştır. Hamur merkezinden alınan örnek plaka üzerine yerleştirilerek reometrede (Anton Paar, PHYSICA MCR 301) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneysel prosedür, zaman ve salınım frekansının bir fonksiyonu olarak elastisite modülü (G') ve viskoz modülünden (G'') oluşan kesme modülünün gelişim ve sonlanmasının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, frekans salınım testi esnasında, G' ve G'' değerleri 1 ve 100 rad/s arasında değişen frekansın bir fonksiyonu olarak ölçülürken gerilme oranı sabit tutulmuştur.

3.2.11. Hamurun tekstürel özellikleri

Hamur örneklerinin tekstür profil analizi, bir Texture Analyzer cihazı (Lloyd Instruments) kullanılarak Ayadi vd. (2009) tarafından belirtilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır. Silindirik bir prob kullanmak suretiyle hamur örneği 10 mm/s hızda orijinal yüksekliğinin %50'si oranında sıkıştırılmış ve örneklerle ait sertlik, yapışkanlık, adheziflik ve koheziflik gibi parametreler belirlenmiştir.

3.2.12. Ekmek yapımı

Ekmek örnekleri direkt hamur metoduna göre hazırlanmıştır. Bütün kuru bileşenler karıştırıldıktan sonra pres maya katılmış, ardından su yavaş yavaş ilave edilmek suretiyle homojen bir karışım elde edilmiştir. Elde edilen hamur 10 dk süreyle el ile yoğurma işlemine tabi tutulmuş, sonrasında 30°C'de 60 dk boyunca fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sonrasında hamur örnekleri elektrikli bir

fırında 290°C’de pişirilmiş ve fırın içindeki havanın nemini muhafaza etmek için fırın içerisine bir tepsi içinde su konulmuştur. Pişirme süresi kontrol ekmeği ile %2 ve %4 oranlarında lif içeren ekmeklerde 11-12 dakika iken %6, %8 ve %10 oranlarında lif içeren ekmek örnekleri için 18-19 dakika olmuştur. Oda sıcaklığında 1 saat süreyle soğutmanın ardından ekmeğin kalite parametreleri değerlendirilmiştir. %10 oranında lif içeren ekmek örnekleri aşırı sertleştiği için değerlendirmeye alınmamıştır.

3.2.13. Ekmeğin fizikokimyasal özellikleri

Fırından alınan ekmekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra ağırlıkları belirlenmiştir. Ekmek hacmi buğday taşıma metoduna göre belirlenmiş ve spesifik hacim, ekmek hacmini ekmek ağırlığına oranlamak suretiyle hesaplanmıştır. Ekmeklerin nem içeriği Türk Gıda Kodeksi Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği’ne uygun olarak belirlenmiştir (Anonim, 2012). Ekmek örneklerinde renk analizi Minolta Color Reader CR-10 renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ekmek kabuğu ile ekmek içine ait L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri belirlenmiştir.

3.2.14. Ekmek içi tekstür özellikleri

Ekmek örneklerinin tekstür profil analizi, bir Texture Analyzer cihazı (Lloyd Instruments) kullanılarak Wang vd. (2002) tarafından belirtilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır. Ekmeğin merkezinden alınan 2 cm’lik iki farklı dilim 25 mm çapa sahip bir prob kullanmak suretiyle %50 oranında preslenmiştir. İki farklı ekmekten alınan dört dilim örnek analiz edilmiş ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Ekmek içine ait sertlik, koheziflik, esneklik ve çiğnenebilirlik gibi parametreler belirlenmiştir.

3.2.15. Ekmeğin duyuşal değerlendirmesi

Ekmek örneklerinin duyuşal değerlendirmesi Wang vd. (2002) tarafından belirtilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır. Panelistlere kodlanmış (kontrol ekmeği ile farklı oranda lif içeren ekmekler) ekmek dilimleri verilerek koku, ekmek kabuğu rengi, ekmek içi rengi, ekmek içi gözenek yapısı, esneklik, pütürlülük (ağızda bıraktığı his), tat/aroma ve genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından 1 (en düşük) ile 10 (en yüksek) puanlar arasında değerlendirmeleri istenmiştir. Ortalama puanların 5’ten

büyük olması ürünün kabul edilebilir olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Duyusal analizde kullanılan form örneği EK1’de verilmiştir.

3.2.16. İstatistiksel analiz

Her deney en az iki paralelli olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama \pm standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Uygulamalar içinde ve arasındaki farklılıklar SPSS 22.0 kullanılarak One-Way ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ile incelenmiş ve çoklu karşılaştırma amacıyla Duncan testi uygulanmıştır. Sonuçlar ($P < 0.05$) önem seviyesinde değerlendirilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Fizikokimyasal ve Fonksiyonel Özellikleri

Posadan farklı uygulamalar ile elde edilen örnekler ve bu örneklerin yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmesi ile elde edilen örneklerin aşağıda verilen nitelikleri belirlenmiştir.

4.1.1. Nem, protein, yağ ve kül miktarları

Şeker pancarı posası ve lif örneklerinin nem, protein, yağ ve kül içeriklerine ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu çalışmada, üç farklı uygulama sonucu elde edilen lifli materyallerin posaya göre önemli düzeyde yüksek nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$). En yüksek nem değeri (%7.83) etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneğinde (Em) saptanmıştır. Ancak bu nem değerleri, besinsel lif için tavsiye edilen 9 g/100 g’lık sınır değerinin altındadır ve lif örneklerinin depolanması için uygun koşulları sağlamaktadır (Larrauri, 1999).

Çizelge 4.1. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin kimyasal bileşimi (%)

	Nem	Protein (Nx6.25) ^a	Yağ ^a	Kül ^a
P	5.43 ± 0.08 ^a	9.16 ± 0.02 ^{bc}	0.73 ± 0.01 ^e	6.02 ± 0.07 ^f
S	6.55 ± 0.07 ^c	8.65 ± 0.02 ^b	0.42 ± 0.01 ^b	3.61 ± 0.04 ^b
Sm	6.50 ± 0.09 ^c	7.17 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^a	2.96 ± 0.07 ^a
E	6.57 ± 0.05 ^c	9.26 ± 0.02 ^c	0.63 ± 0.00 ^{cd}	6.03 ± 0.06 ^f
Em	7.83 ± 0.08 ^e	8.56 ± 0.00 ^b	0.58 ± 0.01 ^c	4.17 ± 0.03 ^c
A	6.04 ± 0.01 ^b	9.38 ± 0.07 ^c	0.68 ± 0.05 ^{de}	5.24 ± 0.03 ^d
Am	7.31 ± 0.11 ^d	8.84 ± 0.63 ^{bc}	0.36 ± 0.03 ^{ab}	5.88 ± 0.06 ^e

Farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($P < 0.05$)

P: Posa

S: Suyla yıkanmış lif örneği

E: Etil alkol ile yıkanmış lif örneği

A: Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

a: Değerler kuru madde üzerinden verilmiştir.

Lif örneklerinin protein, yağ ve kül miktarları kuru madde bazında sırasıyla %7.17-9.38, %0.32-0.68, %2.96-6.03 değerleri arasında değişmiştir. Su ve etanol ile muamele edilmiş örneklerin yağ içeriği posaya göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalırken ($P < 0.05$), alkali uygulaması lif örneğinin yağ içeriğinde önemli bir değişim

meydana getirmemiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu uygulaması ise su ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin yağ içeriğinin önemli düzeyde azalmasına neden olmuştur. Şeker pancarı lifinin bileşimini inceleyen çeşitli çalışmalarda da lif örneklerinin protein (%6.07-8.69) ve kül (%3.0-5.31) içeriklerine dair benzer sonuçlar bildirilmiştir (Christiensen, 1989; Özboy vd., 1998; Javidipour vd., 2005). Djordjevic vd. (2018), şeker pancarı posasını hidrojen peroksit ile muamele ederek şeker pancarı lifi elde ettikleri çalışmalarında, şeker pancarı lifinin nem içeriğini %8.47, protein ve kül içeriğini ise kuru madde bazında sırasıyla %9.62 ve %3.60 olarak belirlemiştir.

Mikronize edilmemiş lif örneklerinin protein içeriği posaya göre önemli ölçüde değişmezken, yüksek basınç homojenizasyonu sonucunda su ve etanol ile muamele edilmiş lif örneklerinin protein miktarında önemli düzeyde azalma saptanmıştır ($P < 0.05$). Bu sonuç, şeker pancarı posasını etanol ile muamele eden Michel vd. (1988)'nin sonuçları ile uyumludur. Belirtilen çalışmada, posa ve farklı partikül büyüklüğüne sahip (>500 μm ; 500-315 μm ; 315-160 μm ; <160 μm) lif örneklerinde protein içeriğinin önemli oranda değişmediği (%7-8), 160 μm 'den küçük boyuttaki lif örneğinde ise protein içeriğinin azaldığı (%5.5) görülmüştür. Farklı partikül boyutlarına sahip buğday kepeğindeki besin maddeleri ile ekmek kalitesi arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada, daha küçük partikül boyutuna (155-180 μm) sahip buğday kepeğinin daha düşük lif ve protein içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir (Pavlovich-Abril vd., 2015; Zhang vd., 2018). Okara (soya posası), mısır koçanı, buğday samanı ve pirinç kabuğu gibi farklı lifli materyallerin ıslak fraksiyonlama (alkali ile muamele) işlemine tabi tutulduğu çalışmada ise alkali uygulamasının, lif örneklerinde protein ve yağ içeriğini azalttığı bildirilmiştir. Bu durumun, NaOH ile muamele sonucu protein ve lipidlerin parçalanması ve karbonhidratların sızmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Kuan ve Liong, 2008). Başka bir çalışmada ise lif yapılarını parçalayan fiziksel öğütme, alkali vb. uygulamaların lifli materyallerden yüksek oranda protein ve yağ uzaklaşmasına yardımcı olduğu ifade edilmiştir (Fung vd., 2010).

Su ve alkali ile muamele edilmiş lif örneklerinin kül içerikleri (sırasıyla %3.61 ve %5.24) posaya (%6.02) göre önemli ölçüde azalırken ($P < 0.05$), etanol ile muamele edilmiş lif örneğinin posa ile benzer kül içeriğine (%6.03) sahip olduğu görülmüştür. Yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronizasyon işlemi, su ve etanol ile muamele edilmiş örneklerin kül içeriğini önemli düzeyde azaltmış, alkali ile muamele edilmiş

lif örneğinde ise kül içeriğinde artış meydana getirmiştir. Şeker pancarı lifinin partikül boyutundaki azalma ile birlikte kül içeriğinin artmasına dair benzer bir sonuç Michel vd. (1988) tarafından bildirilmiştir. Bu araştırmacılar, 160 µm'den büyük boyuta sahip liflerin kül miktarının %7.5-12.0 arasında değiştiğini, 160 µm'den küçük boyuta sahip liflerin ise kül içeriğinin yüksek (%35.5) olduğunu belirtmişlerdir. Şeker pancarı lifinin kül oranı Özboy vd. (1998) tarafından %3.24, Christensen (1989) tarafından %3 olarak belirlenmiştir.

4.1.2. Toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarları

Şeker pancarı posası ve lif örneklerinin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Şeker pancarı posasının toplam besinsel lif içeriği %69.87, çözünmez lif içeriği %56.18, çözünür lif içeriği ise %13.69 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, Michel vd. (1988)'nin şeker pancarı posası için belirledikleri toplam besinsel lif miktarına göre (%74.0-87.4) daha düşüktür.

Çizelge 4.2. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarları (%)

	Toplam Besinsel Lif	Çözünmez Besinsel Lif	Çözünür Besinsel Lif
P	69.87 ± 0.51 ^a	56.18 ± 1.22 ^b	13.69 ± 0.71 ^a
S	84.94 ± 0.13 ^c	74.42 ± 0.62 ^c	10.52 ± 0.48 ^a
Sm	83.22 ± 0.71 ^c	64.73 ± 1.80 ^d	18.49 ± 1.09 ^b
E	74.06 ± 1.47 ^b	50.92 ± 1.23 ^a	23.14 ± 2.70 ^b
Em	73.12 ± 1.79 ^b	50.79 ± 1.52 ^a	22.33 ± 0.27 ^b
A	82.50 ± 1.53 ^c	60.55 ± 0.50 ^c	21.95 ± 2.04 ^b
Am	83.35 ± 1.72 ^c	60.95 ± 2.04 ^c	22.40 ± 3.75 ^b

Farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($P < 0.05$)

P: Posası

S: Suyla yıkanmış lif örneği

E: Etil alkol ile yıkanmış lif örneği

A: Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Uygulanan üç yöntemde elde edilen örneklerin toplam besinsel lif miktarının %73.12-84.94 arasında değiştiği ve posaya göre istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Bu durumun, her üç yöntem ile diğer bileşenlerin uygulamalar esnasında uzaklaşmasından kaynaklandığı ve lif açısından daha zengin bir yapı elde edilmesine olanak sağladığı saptanmıştır. Şeker pancarı lifinin toplam besinsel lif içeriğini inceleyen çeşitli çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Christiensen (1989), şeker pancarı lifinin toplam besinsel lif içeriğinin en az %80, çözünür lif içeriğinin en az %10 olduğunu; Javidipour vd. (2005), 425 µm'den küçük boyuttaki şeker pancarı lifinin %67.3 toplam besinsel lif içerdiğini bildirmişlerdir. Michel vd. (1988), 160 µm'den büyük boyuttaki liflerin toplam besinsel lif içeriğinin %71-80 olduğunu, 160 µm'den küçük boyuttaki liflerin ise daha düşük düzeyde lif içeriğine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Suyla yıkama ve alkali ile muamele, örneklerin çözünmez lif içeriğinin posaya göre istatistiksel olarak önemli ölçüde artmasına yol açarken ($P < 0.05$), etanol ile muamele çözünmez lif içeriğini azaltmıştır. Suyla yıkanan örneğin en yüksek çözünmez lif ve en düşük çözünür lif içeriğine sahip olması, suyla yıkamanın çözünür bileşenleri, özellikle de kalıntı şekeri uzaklaştırma açısından diğer yöntemlere göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, elma ve armut posalarına uygulanan şeker giderme prosesinin çözünmez lif içeriğinde artışa yol açtığı ifade edilmiştir (Rabetafika vd., 2014). Kuan ve Liong (2008), lifli materyallerden (soya küspesi, mısır koçanı, buğday samanı, pirinç kavuzu) ıslak fraksiyonlama ile lifli kalıntılar elde ettikleri çalışmalarında, alkali muamelesi ile örneklerin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarlarının arttığını belirtmişlerdir. Çözünmez lif miktarındaki artış NaOH kullanımına dayandırılmış, bu uygulama ile protein, lipit ve karbonhidratların çözünür fraksiyonlarının lifli materyallerden elimine edildiği ifade edilmiştir. Alkali çözeltilerin aynı zamanda buğday kepeği ve pirinç kepeğinden çözünür lif bileşeni olan arabinoksilanları ekstrakte etmek amacıyla kullanımı (Doner vd., 1998), alkali ile muamele edilmiş örnekte çözünmez lif miktarındaki artışı desteklemektedir. Benzer bir çalışmada, şeker pancarı lifinin H_2O_2 ile modifikasyonunun (pH 3.5, 7 ve 11'de) örneklerin toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarında artışa yol açtığı bildirilmiştir (Filipovic vd., 2007). Soronja-Simovic vd. (2016a), şeker pancarı lifinin fizikokimyasal özellikleri üzerine hidrojen peroksit ile kimyasal modifikasyon ve vakumda kurutmanın (55, 65 ve 75 °C'de) etkilerini incelemişlerdir. 55, 65 ve 75 °C'de kurutma sonucunda, modifiye edilmemiş lif örneklerinin toplam besinsel lif içerikleri sırasıyla %74.5, %75.6 ve %74.9 olarak belirlenirken, modifiye edilmiş lif örneklerinin toplam besinsel lif içeriği sırasıyla %73.8, %75.0 ve %75.3 olarak belirlenmiştir. Modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş lif örneklerinin toplam besinsel lif içeriği arasındaki farkın önemsiz olduğu, yani uygulanan kimyasal modifikasyonun şeker pancarı lifinin toplam besinsel lif

içeriği üzerinde etkili olmadığı ifade edilmiştir. Ancak kimyasal modifikasyon uygulaması, çözünür/çözünmez besinsel lif oranında önemli değişime neden olmuştur. Şeker pancarı lifinin hidrojen peroksit kullanılarak kimyasal olarak modifiye edilmesinin, modifiye edilmeyen örnek ile kıyaslandığında çözünür besinsel lif içeriğini yaklaşık olarak %3.5 oranında arttırdığı, çözünmez besinsel lif içeriğinde ise %2.2-4.5 oranında bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Yükseltgen bir maddenin ilave edilmesi ile lifte meydana gelen yapısal değişikliklerin sonucu olarak çözünür/çözünmez lif oranında artış gerçekleştiği belirtilmiştir. Hidrojen peroksit tarafından başlatılan etkiye bağlı olarak hücre duvarındaki ligninin bir kısmının çözüldüğü kabul edilmiştir. Ayrıca, uygulanan kimyasal modifikasyondan kaynaklanan şeker pancarı lifindeki makromoleküler karbonhidratların hidrolitik parçalanmasının aynı zamanda modifiye edilmiş lifin hidrasyon özelliklerini de etkileyeceği ifade edilmiştir.

Lif örneklerinin mikronize edilmesi, toplam besinsel lif içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olmamıştır ($P > 0.05$). Benzer şekilde etanol ve alkali ile muamele edilmiş lif örneklerinin çözünmez ve çözünür lif içerikleri mikronizasyonla önemli ölçüde değişmezken, yüksek basınç homojenizasyonu suyla yıkanmış örneklerin çözünmez lif içeriğini önemli ölçüde azaltmış, çözünür lif miktarını ise önemli düzeyde artırmıştır ($P < 0.05$). Mikronizasyon sonrasında çözünmez besinsel lif içeriğindeki azalma hemiselüloz, selüloz ve ligninin mekanokimyasal olarak parçalanmasından kaynaklanmakta ve bu maddeler çözünür bileşenlere dönüşmektedir (Ye vd., 2016). Partikül büyüklüğü sonuçlarından da (Çizelge 4.3) görülebileceği gibi suyla yıkanmış örnek, alkali ve etanol ile muamele edilmiş örneklere göre mikronizasyonla çok daha etkin bir şekilde parçalanmış ve çözünür lif içeriği artmıştır. Farklı boyut küçültme yöntemlerinin kullanıldığı çeşitli çalışmalarda, öğütme sonrası partikül büyüklüğündeki azalma ile birlikte örneklerin çözünmez lif miktarının azaldığı ve çözünür lif miktarının arttığı, dolayısıyla lif bileşenlerinde çözünmez fraksiyondan çözünür fraksiyona doğru yeniden bir dağılım meydana geldiği ifade edilmiştir (Zhu vd., 2014; Huang vd., 2010; Zhu vd., 2010). Konuyla ilgili başka bir çalışmada ise kış kavunu ve kırmızı turptan elde edilen lif örneklerinde partikül büyüklüğü azaldıkça toplam, çözünmez ve çözünür lif miktarlarının azaldığı belirtilmiştir (Gupta ve Premavalli, 2010).

4.1.3. Partikül büyüklüğü

Çözünmez besinsel liflerin pek çok gıda ürünü içine dahil edilmesi, özellikle renk ve tekstür başta olmak üzere, istenmeyen duyuşal değişikliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla, lifçe zengin çeşitli bitkisel matriklere katmadan önce çözünmez besinsel lifin (özellikle selüloz) partikül boyutu indirgenmektedir. Partikül boyutunun azaltılması, çözünmez besinsel liflerin yapısı ve yüzey alanının yanı sıra fonksiyonel özelliklerini de değiştirmektedir (Hu vd., 2015).

Çizelge 4.3. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin partikül büyüklüğü dağılımı üzerine yüksek basınç homojenizasyonunun etkisi

Örnek	Geçiş Sayısı	d (0.1) (µm)	d (0.5) (µm)	d (0.9) (µm)	Spesifik Yüzey Alanı (m ² /g)	D [4,3] (µm)	D [3,2] (µm)
Sm	0	202.47	540.57	1049.02	0.0318	587.11	188.76
	1	40.50	148.27	362.50	0.0845	178.33	71.87
	3	28.95	98.87	237.73	0.1140	119.09	52.69
	5	24.42	82.45	194.67	0.1310	98.67	45.83
	7	21.03	69.87	156.23	0.1490	80.98	40.19
Em	0	113.90	723.01	1423.16	0.0292	749.26	205.63
	1	55.99	263.49	582.43	0.0566	295.11	105.98
	3	39.70	157.55	353.15	0.0807	179.99	74.34
	5	34.84	131.10	294.38	0.0927	150.48	64.76
	7	32.31	118.38	263.00	0.0995	135.30	60.32
Am	0	97.56	382.09	1055.44	0.0318	489.07	188.58
	1	57.94	150.93	361.99	0.0638	183.97	94.01
	3	44.40	112.63	244.34	0.0848	131.16	70.78
	5	41.72	107.52	226.60	0.0891	122.89	67.35
	7	37.73	100.13	209.03	0.0964	113.68	62.27

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

d (0.1): Partiküllerin %10'u (hacim esasına göre) belirtilen boyuttan küçüktür.

d (0.5): Partiküllerin %50'si (hacim esasına göre) belirtilen boyuttan küçüktür.

d (0.9): Partiküllerin %90'ı (hacim esasına göre) belirtilen boyuttan küçüktür.

D[4,3]: Hacim ağırlıklı ortalama çap

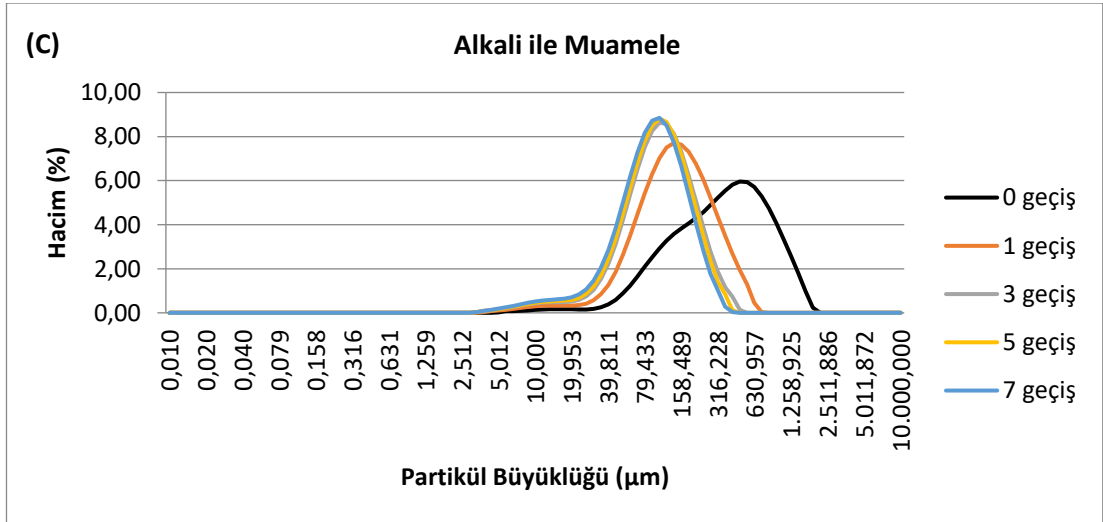
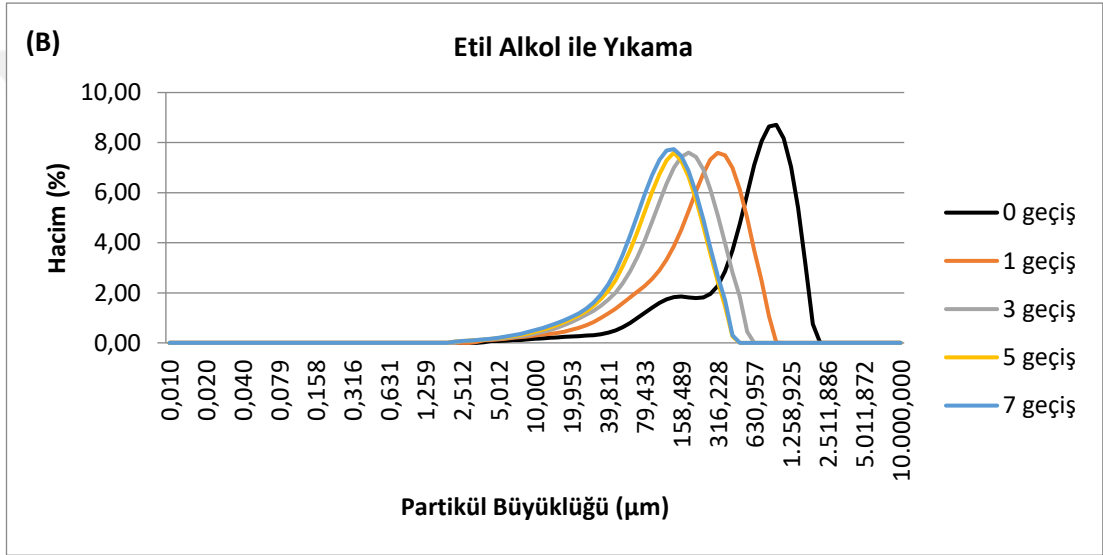
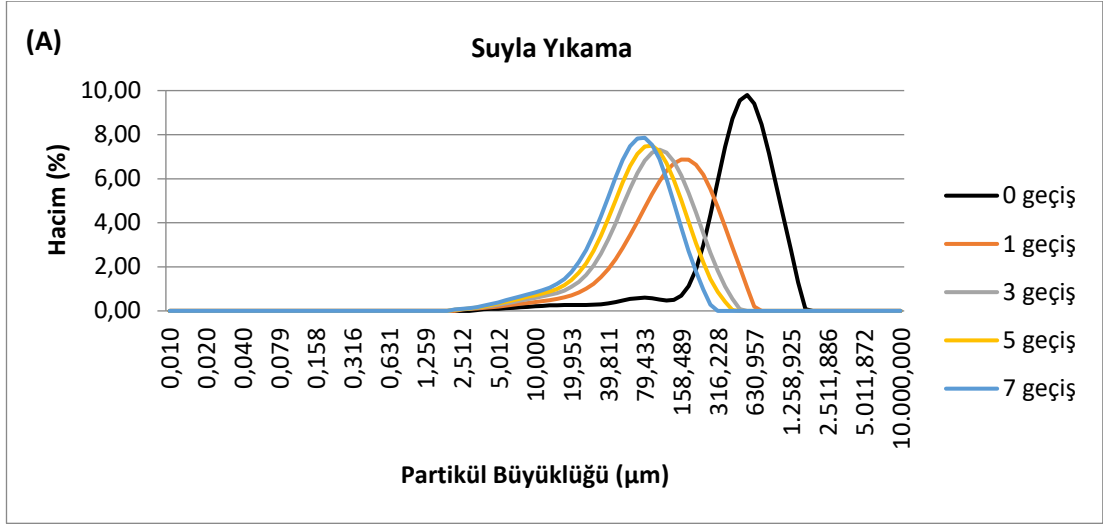
D[3,2]: Alan ağırlıklı ortalama çap

Lif örneklerine ait partikül büyüklüğü değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu tüm örneklerde partikül büyüklüğünü önemli ölçüde azaltmış, partiküllerin yüzey alanında ise artışa yol açmıştır. Homojenizatörden 7 geçiş sonunda partiküllere ait d (0.9) değeri suyla yıkanmış örnekte 1049.02 µm'den 156.23 µm'ye, etanol ile yıkanmış örnekte 1423.16 µm'den 263.00 µm'ye, alkali ile muamele

edilmiş örnekte ise 1055.44 μm 'den 209.03 μm 'ye düşmüştür. Partiküllerin spesifik yüzey alanı bakımından en büyük değer 7. geçiş sonrası suyla yıkanmış örnekte gözlenmiştir (0.0318 m^2/g 'dan 0.149 m^2/g 'a artış olmuştur). Dolayısıyla, yüksek basınç homojenizatöründe en etkin parçalanmanın suyla yıkanmış örnekte meydana geldiği, bunu sırasıyla alkali ile ve etanol ile muamele edilmiş örneklerin takip ettiği belirlenmiştir.

Yüksek basınç homojenizasyonu uygulamasında, partiküllerin parçalanmasındaki en etkili etmenin akışkanın karşılaştığı kayma gerilimi olduğu ifade edilmiş ve yüksek basınç homojenizasyonu ile mikrofluidizasyonun çalışma mekanizmalarının benzer olduğu belirtilmiştir (Clarke vd., 2010). Homojenizasyon aracılığıyla kompleks yapıların mikro parçacıklara kırılabildiği, dolayısıyla oldukça küçük çapa sahip küresel parçacıklar oluştuğu saptanmıştır. Ayrıca, homojenizasyon işlemi ile polimerik yapıların geri dönüşümsüz olarak parçalanmasının yanı sıra polimerin agregasyon derecesinde de değişim olabileceği ifade edilmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu prosesinin polisakkaritlerin partikül boyutunu azalttığı, ancak primer yapılarına zarar vermediği, aynı zamanda polisakkaritlerin reolojik özellikleri, jelleşme özelliği ve viskozite gibi özelliklerinin yüksek basınç homojenizasyonu tarafından etkilendiği bildirilmiştir (Hu vd., 2013).

Her üç yöntemle elde edilen örneklerin partikül büyüklüğü dağılımları Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, homojenizatörden geçiş sayısı arttıkça eğrilerin sola doğru kaydığı yani partikül büyüklüğünde azalma meydana geldiği görülmektedir. Ancak 5. ve 7. geçişler sonunda elde edilen örneklere ait eğrilerde çok fazla fark olmadığı, bu durumun özellikle etil alkol ile yıkanmış (Şekil 4.1-B) ve alkali ile muamele edilmiş (Şekil 4.1-C) örneklerde daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneklerinin partikül büyüklüğü dağılımı

Homojenizasyon uygulamasının, örneklerin partikül büyüklüğü dağılımı üzerine etkilerine dair çeşitli çalışmalar farklı sonuçların elde edildiğini göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, şeftali ve yulaf çözünmez lifleri mikrofluidizasyona (120 MPa, 1 geçiş) maruz bırakılmış, mikrofluidizasyon prosesinin partikül boyutunu etkili bir şekilde indirgediği belirtilmiştir. Partikül boyutunun şeftali çözünmez lifinde 204.628 μm 'den 35.307 μm 'ye, yulaf çözünmez lifinde ise 111.131 μm 'den 74.358 μm 'ye düştüğü bildirilmiştir (Chen vd., 2013). Benzer bir çalışmada, buğday kepeğinden elde edilen çözünmez besinsel lif yüksek basınç homojenizasyonu (HPH; 100 MPa, 30 geçiş), yüksek yoğunluklu ultrasonikasyon (HIU) ve bu yöntemlerin kombinasyonu (HPH+HIU) uygulanmak üzere üç farklı yöntemle mikronize edilmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonunun tek başına veya ultrasonikasyonla kombine olarak kullanılması durumunda örneklerin partikül boyutunu önemli ölçüde azalttığı ve yüzey alanını arttırdığı, ancak ultrasonikasyon uygulamasının partikül boyutunu azaltmada tek başına etkisiz kaldığı ifade edilmiştir. Süspansiyonun başlangıçtaki konsantrasyonunun mikronizasyon prosesini etkilediği, başlangıçtaki çözünmez lif konsantrasyonu arttıkça (%0.2, %0.5, %0.8 ve %1.0) HPH, HIU ve HPH+HIU proseslerine maruz bırakılmış örneklerin partikül boyutunun azaldığı belirtilmiştir. Bir HPH prosesi esnasında partiküllerin parçalanmasının temel nedeninin akışkanın karşılaştığı kayma gerilimi olduğu bildirilmiştir (Clarke vd., 2010). Çözünmez besinsel lif konsantrasyonundaki artışın süspansiyonun viskozitesini arttırdığı, bunun da HPH prosesi esnasındaki kayma gerilimini arttırdığı ifade edilmiştir. Süspansiyonun homojenizasyon valfi boyunca geçmesi esnasında basınçtaki artıştan dolayı, viskozitedeki artışın türbülansı etkilediği bildirilmiştir. Ancak, çözünmez besinsel lif konsantrasyonundaki artışın etkisinin, HPH prosesi için sınırlı olduğu belirtilmiştir. HPH prosesinde, süspansiyonun başlangıçtaki konsantrasyonu %0.2'den %1.0'e arttırıldığında partikül boyutu ve yüzey alanının önemli ölçüde değişmediği bildirilmiştir (Hu vd., 2015). Ulbrich ve Flöter (2014), ticari bir besinsel lifi (yulaf lifi), yüksek basınç homojenizasyonu ile modifiye etmişlerdir (15 MPa; 2, 6, 10, 16 geçiş). Mekanik uygulamanın etkilerini spesifik bir kurutma metodunun etkilerinden ayırmak için dört farklı kurutma metodunun uygulandığı çalışmada, diğer kurutma metodlarının muhtemelen işlenmiş lifin daha fazla kümeleşmesine neden olması nedeniyle dondurarak kurutulmuş örnekler partikül büyüklüğü dağılımı analizinde kullanılmıştır. Ölçümler, iki farklı süspansiyon ortamında yapılmıştır. Hidrasyon ile partiküllerin çok fazla şişmesini önlemek amacıyla bir organik solvent (n-butanol) içerisinde, ayrıca

yeniden hidrate edilmiş modifiye materyalin partikül büyüklüğü hakkında bilgi edinmek için deiyonize su içerisinde partikül büyüklüğü ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şaşırtıcı bir şekilde n-butanolde ölçülmüş örneklerin ortalama partikül büyüklüğünün, su içinde ölçülmüş örneklerin ortalama partikül büyüklüğünden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durumun, dondurarak kurutma prosesinin de muhtemelen partiküllerde bir miktar kümeleşmeye neden olmasından ve bu kümelerin n-butanol içerisinde tekli parçalara ayrıştırılmamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Homojenizatörden geçiş sayısı arttıkça daha büyük partikül büyüklüğüne doğru sistematik bir değişim olduğu bildirilmiştir. Eş zamanlı olarak meydana gelen kavitasyonun, fibrilasyonla birlikte matriksin genleşme ve genişlemesi gibi materyaldeki yapı değişikliklerini açıkladığı ifade edilmiştir. Daha fazla mekanik uygulamanın lif partiküllerinin parçalanmasına yol açacağı ve dolayısıyla boyut küçülmesi ile beraber partikül miktarında bir artış beklendiği belirtilmiştir. Ancak, analiz sonucunda elde edilen verilere göre, partikül boyutundaki artışın etkisinin, parçalanmaya bağlı olarak meydana gelen partikül boyutundaki azalmaya nazaran daha ağır bastığı ileri sürülmüştür. Lifli materyallerin homojenizatörde tekrar edilen muameleye tabi tutulmasına dair çalışmaların partikül boyutunun arttığını ya da azaldığını bildiren değişken sonuçlar ortaya koyduğu, çelişen bu iki sonucun ise spesifik uygulama ve materyale bağlı olduğu ifade edilmiştir.

4.1.4. Lif rengi

Renk, besinsel liflerin gıda endüstrisi veya diğer endüstrilerde potansiyel kullanımının yanı sıra organoleptik özelliklerini de etkileyen önemli faktörlerden biridir (Zheng ve Li, 2018). Çizelge 4.4'te şeker pancarı posası ve lif örneklerine ilişkin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri verilmiştir. Şeker pancarı posasına ait L^* değeri 65.10 olarak belirlenmiştir. Her üç yöntemle elde edilen lif örneklerinin şeker pancarı posasına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek L^* değerlerine sahip olduğu ($P < 0.05$), en yüksek parlaklık değerinin ise alkali ile muamele edilmiş örneğe ait olduğu görülmektedir. Su, etanol ve alkali ile muamele edilmiş lif örneklerinin L^* değerleri sırasıyla 69.62, 68.19 ve 72.61 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, renk açısından tüketici tarafından kabul edilebilir lifle zenginleştirilmiş ürünlerin elde edilebilmesi için, daha parlak lifli materyallerin

kullanılmasına olanak sağlaması nedeniyle şeker pancarı lifi elde etmek amacıyla uygulanan yöntemlerin etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin renk özellikleri

	L^*	a^*	b^*
P	65.10 ± 0.58 ^a	2.02 ± 0.18 ^e	17.13 ± 0.39 ^g
S	69.62 ± 0.30 ^c	0.24 ± 0.07 ^d	14.18 ± 0.12 ^d
Sm	70.55 ± 0.35 ^d	0.13 ± 0.14 ^d	14.82 ± 0.15 ^e
E	68.19 ± 0.31 ^b	-0.43 ± 0.09 ^c	13.02 ± 0.23 ^a
Em	76.77 ± 0.16 ^e	-1.34 ± 0.05 ^a	13.37 ± 0.19 ^b
A	72.61 ± 0.46 ^f	-0.72 ± 0.15 ^b	15.43 ± 0.20 ^f
Am	69.54 ± 0.30 ^c	-1.20 ± 0.11 ^a	13.70 ± 0.12 ^c

Farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($P < 0.05$)

P: Posa

S: Suyla yıkanmış lif örneği

E: Etil alkol ile yıkanmış lif örneği

A: Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

L^* : siyahtan (0) beyaza (100) değişmektedir.

a^* : yeşilden (-) kırmızıya (+) değişmektedir.

b^* : maviden (-) sarıya (+) değişmektedir.

Her üç yöntemle elde edilmiş şeker pancarı lifi örneklerine ait a^* ve b^* değerlerinin şeker pancarı posasına göre istatistiksel olarak önemli ölçüde düşük olduğu görülmektedir ($P < 0.05$). Bu durum örneklerin kırmızılık ve sarılık değerlerinin azaldığını göstermektedir. Suyla yıkanmış örnekte kırmızı renk oranı daha yoğun iken (a^* değeri 0.24), etanol ve alkali ile muamele edilmiş örneklerde yeşil renk oranının daha yoğun olduğu belirlenmiştir (a^* değerleri sırasıyla, -0.43 ve -0.72'dir). Benzer sonuçlar, şeker pancarı lifini hidrojen peroksit ile kimyasal olarak modifiye eden ve farklı sıcaklıklarda (55, 65 ve 75 °C) vakumda kurutma işlemi uygulayan Soronja-Simovic vd. (2016a) tarafından bildirilmiştir. Yapılan çalışmada, modifiye edilmemiş lif örneklerinin L^* değerlerinin 67.2-69.1 arasında, modifiye edilmiş lif örneklerinin L^* değerlerinin ise 88.8-89.3 arasında değiştiği ve kurutma sıcaklığındaki artışla birlikte L^* değerlerinde çok az azalma olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte parlaklıktaki azalmanın Maillard reaksiyonu ve enzimatik olmayan reaksiyonların sonucu olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarına dayanarak kurutma sıcaklığının örneklerin parlaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ancak kimyasal modifikasyonun etkisinin dikkate değer olduğu ifade edilmiştir. Liflerin kimyasal olarak modifiye edilmesi ile birlikte, renkli bileşiklerin

prekürsörlerinin uzaklaştırıldığı, dolayısıyla modifiye edilmiş lif örneklerinin kurutulması esnasında kırmızı renk tonuna rastlanmadığı ve örneklerin sarı renginde azalma olduğu belirtilmiştir. Ancak, en büyük pay en düşük kurutma sıcaklığında olmakla birlikte modifiye edilmiş lif örneklerinde yeşil renk tonunun gözlemlendiği ifade edilmiştir. Liflerin modifiye edilmesinin parlaklıkta artışa ve sarı renk oranında azalmaya neden olduğu, dolayısıyla gıda ürünlerinde liflerin kullanımı için daha çok tercih edilen daha parlak görünüme katkı sağladığı bildirilmiştir.

Yüksek basınç homojenizasyonu sonrasında suyla yıkanmış örneğin L^* değeri 69.62'den 70.55'e, etanol ile muamele edilmiş örneğin L^* değeri 68.19'dan 76.77'ye yükselirken, alkali ile muamele edilmiş örneğin L^* değeri 72.61'den 69.54'e düşmüştür. Bu sonuç, alkali ile muamele edilmiş örneğin mikronizasyon sonrası grimsi bir renk aldığını göstermektedir. Benzer şekilde, mikronizasyon işlemi su ve etanol ile muamele edilmiş lif örneklerine ait sarılık değerlerinde önemli düzeyde artışa neden olurken alkali ile muamele edilmiş örneğin b^* değerinde azalma gözlenmiştir. Mikronize edilmiş lif örneklerine ait a^* değerleri incelendiğinde, suyla yıkanmış örneğe ait a^* değerinde önemli bir değişim meydana gelmediği, etanol ve alkali ile muamele edilmiş lif örneklerinin a^* değerlerinde önemli bir azalma ve yeşil renk oranında artış olduğu belirlenmiştir. Çeşitli kaynaklardan elde edilen besinsel liflerin renk özellikleri üzerine partikül boyutundaki azalmanın etkilerini belirleyen çalışmalarda benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Liu vd. (2016), portakal kabuğundan elde ettikleri çözünmez besinsel lif fraksiyonunun yapısal, fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerine öğütme metotlarının etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, laboratuvarında normal öğütme (RMDF), ultrasantrifüjlü rotor öğütme (UMDF) ve bilyeli öğütme (BMDF) olmak üzere üç farklı öğütme metodu kullanmışlardır. RMDF ile kıyaslandığında, UMDF ve BMDF örnekleri önemli ölçüde daha yüksek L^* değerleri, daha düşük a^* ve b^* değerleri ile karakterize edilmişlerdir. Dolayısıyla BMDF ve UMDF örneklerinin parlaklığının arttığı, kırmızılık ve sarılık değerlerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Partikül boyutunun, toz formundaki lifli materyalin parlaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği ifade edilmiştir. Çözünmez besinsel lif fraksiyonunun partikül boyutundaki azalma ile birlikte parlaklık değerlerinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Bu durumun muhtemelen, ince öğütme prosesinin ardından daha ince lif fraksiyonlarının daha uniform bir şekilde dağılmasına bağlı olduğu bildirilmiştir. Yüksek L^* değerlerine sahip ham bileşenlerin parlaklığının,

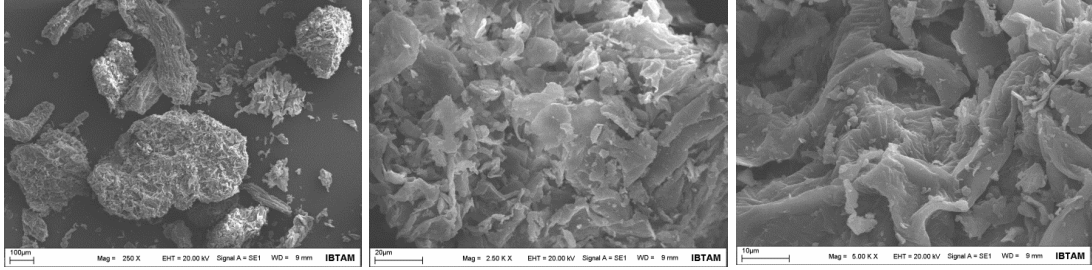
tüketici tercihlerine bağılı olarak gıda geliştirme açısından kritik bir rol oynadığı ifade edilmiştir. Zheng ve Li (2018), hindistan cevizi keki besinsel lifinin yapısı, fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerine selüla hidrolizi, asit uygulaması ve partikül boyutu dağılımının etkilerini inceledikleri çalışmalarında, partikül büyüklüğünün azaltılmasının besinsel lifin rengini etkilediğini belirtmişlerdir. Yağından arındırılmış hindistan cevizi keki besinsel lifi ile bu besinsel lifin selüla hidrolizine tabi tutulması sonucu elde edilen örneklerde, partikül boyutunun azalması ile birlikte b^* değerlerinin arttığı ancak bu durumun bu örneklerin gıda endüstrisinde kullanımına olanak sağlamadığı bildirilmiştir. Spesifik yüzey alanındaki artışın besinsel liflerin öğütülmesi esnasında meydana gelen esmerleşme reaksiyonu olasılığını arttırabileceği ifade edilmiştir.

4.1.5. Partiküllerin morfolojisi

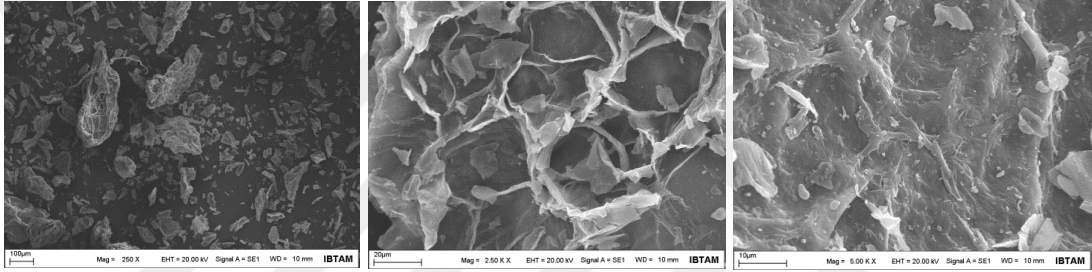
Şeker pancarı posası ve üç farklı yöntem uygulanarak elde edilen şeker pancarı lifi örneklerine (yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilmemiş ve mikronize edilmiş örnekler) ait SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Örneklere ait SEM görüntüleri incelendiğinde genel olarak bütün örneklerin morfolojik olarak düzensiz olduğu ve daha çok köşeli yapılar içerdiği görülmektedir. Posada ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmemiş şeker pancarı lifi örneklerinde daha blok halinde bir yapı gözlemlenirken, yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilmiş şeker pancarı lifi örneklerinin yassılaştırılmış ve ince tabakalar halinde yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Bu durum, mikronize edilmiş lif örneklerine ait yoğunluk değerleri ile uyumludur. Mikronizasyonla birlikte örneklerde gözlemlenen yoğun ve sıkışmış haldeki yapının değiştiği ve bunun sonucunda örneklerin yoğunluklarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Sınır otu (*Plantago asiatica* L.) tohumlarından elde edilen polisakkaritlerden yüksek basınç homojenizasyonuna maruz bırakılmamış örneklerin ESEM (çevresel taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri incelendiğinde, bu polisakkaritlerin kısmen düzenli ve pul benzeri ince levha şeklinde bir yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Ancak, yüksek basınç homojenizasyonunun ardından polisakkarit örneğinde pek çok gözenek belirlendiği ve pul benzeri orijinal yapının tamamen daha küçük parçacıklara dönüştüğü bildirilmiştir. Blok şeklindeki yapıların

homojenizasyon aracılığıyla mikroparçacıklara kırıldığı ve dolayısıyla çok küçük çapa sahip küresel parçacıklar meydana getirdiği ifade edilmiştir (Hu vd., 2013).

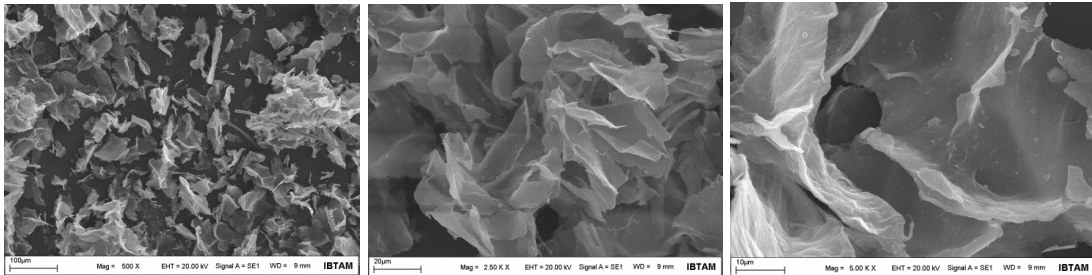
P (Posa)



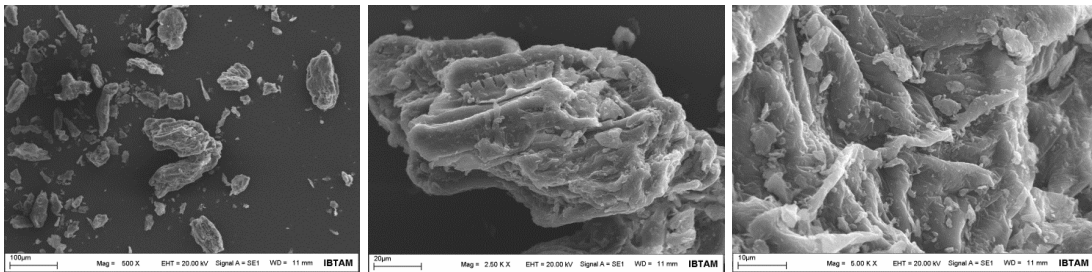
S (Suyla yıkanmış lif örneği)



Sm (Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği)

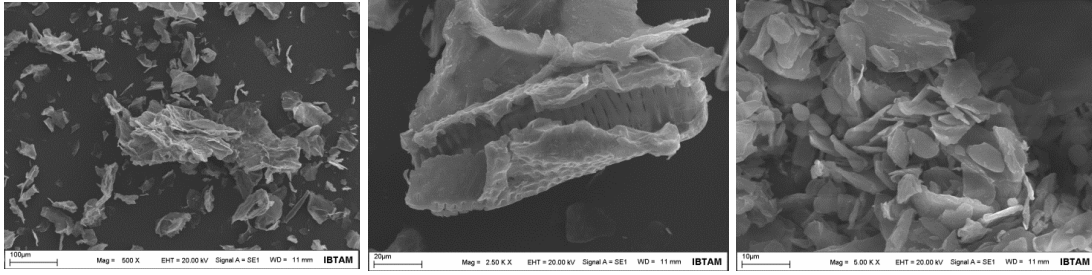


E (Etil alkolle yıkanmış lif örneği)

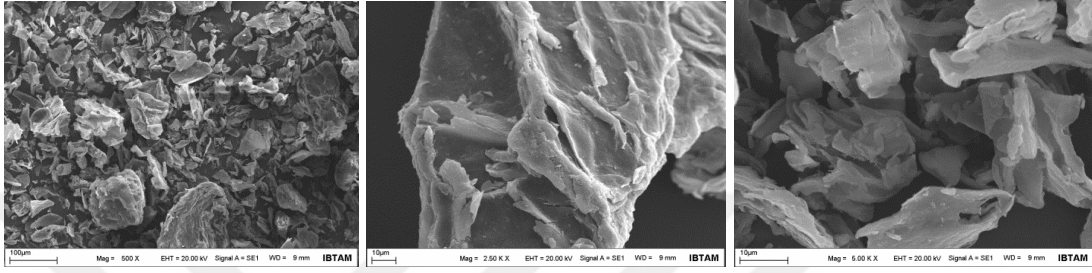


Şekil 4.2. Şeker pancarı posası ve şeker pancarı besinsel lifi örneklerine ait SEM görüntüleri

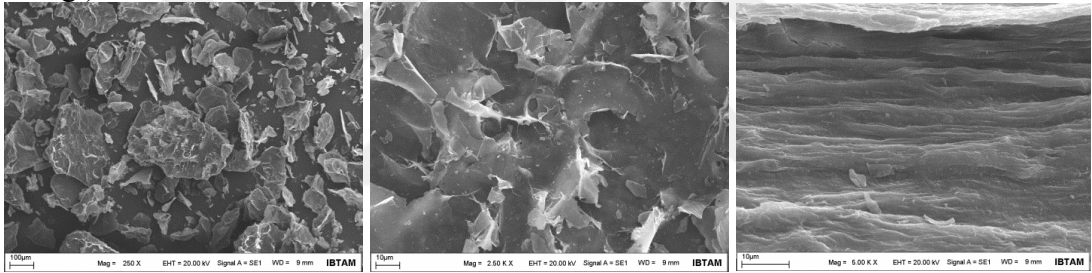
Em (Etil alkolle yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği)



A (Alkali ile muamele edilmiş lif örneği)



Am (Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği)



Şekil 4.2. (devam)

Suyla yıkanmış şeker pancarı lifi örneklerinde yüzeyde ağ şeklinde bir yapı ve oyuklar gözlemlenmiştir ve bu durum bu lif örneğinin daha yüksek su tutma kapasitesi ile ilişkilendirilebilir. Suyla yıkanmış şeker pancarı lifi örneğinin mikronize edilmesi ise yüzeydeki bu ağ benzeri yapının değişerek daha yassı bir hal almasına neden olmuştur. Etil alkolle yıkanmış lif örneği çok katmanlı, blok halinde bir yapı gösterirken yüksek basınç homojenizasyonu ile poröz bir yapının ortaya çıktığı ve yüzeyde bir dizi halinde delikler olduğu gözlenmiştir. Alkali ile muamele edilmiş örneklerin yüzeyde ağ benzeri bir yapıya sahip oldukları ve mikronizasyon işleminin örnek yüzeyinde kanallar içeren bir yapı meydana getirdiği belirlenmiştir. Yağından arındırılmış kimyon besinsel liflerinin kimyasal bileşimi ile yapısal, fizikokimyasal ve fonksiyonel

özellikleri üzerine alkali ekstraksiyonu, enzimatik hidroliz, makaslama ile emülsiyonlaştırma destekli enzimatik hidroliz ve partikül boyutu dağılımının etkilerinin incelendiği çalışmada, alkali ile ekstraksiyona maruz bırakılmış lif örneklerinin ağ şeklindeki yapısının gözden kaybolduğu, diğer uygulamalar sonucu elde edilen örneklerin ise çok sayıda çatlak ve boşluğa sahip karakteristik bir bal peteği yapısı gösterdikleri belirtilmiştir. Bu sonuç, alkalilere göre besinsel lif demetlerinin etrafından daha fazla proteini uzaklaştıran enzimatik hidrolize dayandırılmıştır. Sonuç olarak, alkali ile ekstrakte edilmiş örneğin yapısının kuvvetli alkali koşullarında tahrip olduğu, diğer örneklerin ise mikroyapılarını muhafaza ettiği bildirilmiştir (Ma ve Mu, 2016). Şeker pancarı lifinin hidrojen peroksit ile kimyasal olarak modifiye edildiği bir çalışmada, modifiye edilmemiş lif örneklerine ait SEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda modifiye edilmemiş lif üretim prosesinin lif yapısında önemsiz bir hasara neden olduğu, bunun da selüloz, hemiselülozlar, lignin, pektin ve glukoproteinlerin meydana getirdiği mikrofibril ağından oluşan parenkimal hücre duvarı yapısında bir bozulma olmadığını gösterdiği belirtilmiştir. Ancak kimyasal modifikasyon aracılığıyla iletken doku kısımlarının parçalanmasına bağlı olarak modifiye edilmiş lif örneğinin yapısında belirgin bir parçalanma olduğu ifade edilmiştir. Lignin çözülmesinin liflerde amorf bir yapının gözlenmesine yol açtığı bildirilmiştir (Soronja-Simovic vd., 2016a). Portakal kabuğundan elde edilen çözünmez besinsel lif fraksiyonunun yapısal, fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerine öğütme metotlarının (laboratuvarda normal öğütme- RMDF, ultrasantrifüjlü rotor öğütme-UMDF ve bilyeli öğütme-BMDF) etkilerinin incelendiği bir çalışmada, öğütme işleminin sadece lifin partikül boyutunda azalmaya yol açmadığı aynı zamanda lifte derin bir yapısal modifikasyon meydana getirdiği bildirilmiştir. RMDF örneğine ait SEM görüntülerinin çok sayıda çatlağa sahip gözenekli bir yapının mevcudiyetini ortaya koyduğu, UMDF ve BMDF örneklerinin gözenekli yapısının ise kısmen ortadan kalktığı belirtilmiştir. UMDF ve BMDF örneklerinin mikroyapılarındaki değişim şiddetli mekanik kuvvet altında çöken matriks yapısına dayandırılmış, bu durumun da çözünmez besinsel lif fraksiyonunun fizikokimyasal özellikleri üzerinde etkiye sahip olabileceği ifade edilmiştir (Liu vd., 2016). Selüloz esaslı ticari yulaf lifinin yüksek basınç homojenizasyonu (YBH) aracılığıyla (0, 2, 6, 10, 16 geçiş) modifiye edildiği bir çalışmada, dondurarak kurutulmuş örneklerin makroskopik özellikleri üzerine YBH'nun etkileri incelenmiştir. SEM görüntüleri, temel ticari lif ürünü ile dondurarak kurutulmuş fakat homojenizasyona maruz bırakılmamış örnekler arasında önemli bir

fark ortaya koymamıştır. Suda süspansiyon etme ve ardından dondurarak kurutma işlemlerinin, lifli materyalin makroskopik yapısını değiştirmedeği sonucuna varılmıştır. Ancak, lifli materyalin maruz bırakıldığı mekanik uygulamadaki artışın, selülozik materyalin yapısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Lif yapısının giderek açıldığı, daha az sıkışmış, genişlemiş, büyümüş ve fibrillenmiş bir hal aldığı belirtilmiştir. Özellikle, homojenizatörden 10 geçiş sonrasında fibriller veya mikrofibriller içeren oldukça gözenekli ve genişlemiş bir yapı gözlemlendiği ifade edilmiştir (Ulbrich ve Flöter, 2014).

4.1.6. Fonksiyonel özellikler

Şeker pancarı posası ve lif örneklerinin fonksiyonel özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi posanın yoğunluğu 0.52 g/cm^3 olarak belirlenmiş olup, lif örneklerinin yoğunlukları $0.12-0.62 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasında değişmiştir. Michel vd. (1988), şeker pancarı posasının yoğunluğunu 0.58 g/cm^3 , farklı partikül boyutlarına sahip şeker pancarı lifi örneklerinin yoğunluklarını ise $0.15-0.20 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlemiştir. Javidipour vd. (2005), şeker pancarı lifinin ($<425 \mu\text{m}$) yoğunluğunu 0.38 g/cm^3 olarak bildirmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu tüm örneklerde yoğunluğun istatistiksel olarak önemli ölçüde düşmesine neden olmuştur ($P < 0.05$). En düşük yoğunluk değerinin (0.12 g/cm^3) suyla yıkanmış örneğe ait olduğu belirlenmiştir, bu da bu lif örneğinin diğer örneklerle göre daha gözenekli bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Farklı lifli materyaller ve farklı boyut küçültme yöntemlerinin uygulandığı çeşitli çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiş, partikül büyüklüğü azaldıkça örneklerin yoğunluğunda azalma olduğu bildirilmiş ve bu durum örneklerin porozitesindeki artışa dayandırılmıştır (Huang vd., 2010; Wang vd., 2012; Ulbrich ve Flöter, 2014). Wang vd. (2012), buğday kepeğinin fizikokimyasal özellikleri üzerine mikrofluidizasyon prosesinin etkilerini inceledikleri çalışmalarında, bu prosesin partikül büyüklüğü dağılımını, partikül şeklini ve mikroyapısını değiştirebileceğini dolayısıyla yığın yoğunluğunu da değiştirdiğini belirtmişlerdir. $200 \mu\text{m}$ çapa sahip interaksiyon haznesinden tek geçişin gerçekleştirildiği mikrofluidizasyon sonrasında yığın yoğunluğunun önemli ölçüde azaldığı, ardından geçiş sayısındaki artışla birlikte yoğunluğun daha yavaş bir şekilde azalmaya devam ettiği bildirilmiştir. Yoğunluktaki önemli azalma, buğday kepeğinin gözenekliliğindeki artışa dayandırılmıştır.

Çizelge 4.5. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin fonksiyonel özellikleri

	Yoğunluk (g/cm ³)	Şişme Kapasitesi (mL/g lif)	Su Tutma Kapasitesi (g su/g lif)	Yağ Tutma Kapasitesi (g yağ/g lif)
P	0.52 ± 0.01 ^f	9.00 ± 0.71 ^a	6.10 ± 0.14 ^b	2.50 ± 0.00 ^b
S	0.30 ± 0.01 ^d	16.88 ± 0.18 ^c	9.30 ± 0.14 ^e	3.93 ± 0.15 ^d
Sm	0.12 ± 0.00 ^a	16.13 ± 0.53 ^c	7.30 ± 0.00 ^c	6.32 ± 0.00 ^f
E	0.62 ± 0.00 ^g	12.00 ± 0.00 ^b	5.40 ± 0.28 ^a	1.80 ± 0.08 ^a
Em	0.15 ± 0.00 ^b	17.50 ± 0.00 ^{cd}	5.55 ± 0.21 ^a	3.92 ± 0.00 ^d
A	0.32 ± 0.01 ^e	17.50 ± 1.41 ^{cd}	8.45 ± 0.07 ^d	3.49 ± 0.15 ^c
Am	0.24 ± 0.00 ^c	18.75 ± 0.35 ^d	8.55 ± 0.07 ^d	4.42 ± 0.08 ^e

Farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($P < 0.05$)

P: Posa

S: Suyla yıkanmış lif örneği

E: Etil alkol ile yıkanmış lif örneği

A: Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Gupta ve Premavalli (2010) ise kış kavunu ve kırmızı turptan elde edilen lif örneklerinde partikül boyutunun azalması ile birlikte lif örneklerinin yoğunluğunun arttığını ancak su tutma kapasitesi, su bağlama kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi ve şişme kapasitesi değerlerinde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Liflerin daha düşük su tutma kapasitesi değerlerinin kısmen yüksek yoğunluklarına ve bunun yanı sıra safsızlıkların mevcudiyetine bağlı olarak su bağlayan bileşenlerin daha az olmasına dayandırılabilmesi ifade edilmiştir. Partikül büyüklüğünün azalması ile birlikte yığın yoğunluğa dair elde edilen karşıt sonuçların, örnekleri hazırlamak için farklı metotlar kullanılması ile açıklanabileceği belirtilmiştir.

Şeker pancarı posası ve lif örneklerinin şişme kapasitesi, su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi gibi fonksiyonel özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Üç farklı yöntemle elde edilen lif örneklerinin şişme kapasiteleri posanın kine göre önemli düzeyde daha yüksektir ($P < 0.05$). Posanın şişme kapasitesi 9.00 mL/g lif iken su, etanol ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin şişme kapasiteleri sırasıyla 16.88, 12.00 ve 17.50 mL/g lif olarak belirlenmiştir. Şişme kapasitesindeki en büyük artış alkali ile muamele edilmiş örnekte gözlenmiştir. Şeker pancarı lifinin asidik veya bazik çözeltilerle kimyasal olarak muamele edilmesinin çözünmez besinsel lifin şişme kapasitesini arttırabileceği, bu durumun da hücre duvarları bütünlüğünün zarar görmesi ile açıklanabileceği belirtilmiştir (Bertin vd., 1988; Chen vd., 2013). Yüksek basınç homojenizasyonu, suyla ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin şişme

kapasiteleri üzerinde önemli bir etki göstermezken etanol ile muamele edilmiş örneğin şişme kapasitesini önemli düzeyde arttırmıştır. Su tutma kapasitesi, ekmek üretim prosesi açısından son derece önemli bir özelliktir. Çünkü su nişastanın jelatinizasyonu, protein denatürasyonu ve aroma özelliklerinin oluşumu proseslerinde yer almaktadır. Ayrıca, rengi ve ekmeğin bayatlama kinetiklerini etkilemektedir (Thebaudin vd., 1997). Suyla ve alkali ile muamele posaya göre önemli düzeyde yüksek su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesine sahip örneklerin elde edilmesine neden olmuştur. Bu durum, su ve alkali muamelelerinin şekeri uzaklaştırma bakımından daha etkili olduklarını göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, şeker giderme işleminin su tutma ve şişme kapasitesini arttırdığı, toplam çözünür şeker içeriği daha yüksek olan portakal kabuğu lifi örneklerinin önemli ölçüde düşük su tutma kapasitesi değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Larrauri, 1999). Şekerden arındırılmış posalar daha fazla besinsel lif, özellikle de suyla etkileşime giren hidroksil gruplarınca zengin daha fazla selüloz ve hemiselüloz içermektedir (Rabetafika vd., 2014). Posanın su tutma kapasitesi 6.10 g su/g lif düzeyinde iken suyla ve alkali ile muamele edilmiş örneklerde bu değer sırasıyla 9.30 ve 8.45 g su/g lif olarak belirlenmiştir. Özellikle liflerin su tutma özelliği ile ilişkili olan çözünmez fraksiyonun (Thebaudin vd., 1997) suyla yıkanmış örnekte daha yüksek oranda bulunması nedeniyle, bu örneğe ait su tutma kapasitesi değerlerinin etanol ve alkali ile muamele edilmiş örneklere göre daha yüksek olduğu görülmektedir (S, E ve A örneklerinin çözünmez besinsel lif/çözünür besinsel lif oranı sırasıyla 7.07, 2.20 ve 2.75 olarak belirlenmiştir; veriler gösterilmemiştir). Çözünmez besinsel lifte daha kalın katmanlı bir yapının bulunması nedeniyle, su tutma ve yağ tutma kapasitelerinin çözünür besinsel life göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Zhu vd., 2010). Hidrasyon özellikleri ve yağ tutma kapasitesi açısından en düşük değerlerin etanol ile muamele edilmiş örneğe (E) ait olduğu görülmektedir. Bu durum E örneğinin S ve A örneklerine göre çözünmez besinsel lif içeriğinin daha düşük olması, aynı zamanda daha yüksek yoğunluk değerine sahip olması nedeniyle porozitesinin ve kılcal çekiminin daha düşük olması ile açıklanabilir. Bir tür yeşil elmadan lif izole etmek amacıyla sulu metot ve etanolik metot olmak üzere iki farklı metodun uygulandığı bir çalışmada, örneklere ait ESEM (çevresel taramalı elektron mikroskopisi) sonuçları değerlendirildiğinde etanolik metotla elde edilen örneklerin daha yoğun, daha sıkı, opak, kümelenmiş ve iç içe geçmiş oldukları belirtilmiştir (Sun-Waterhouse vd., 2010). Şeker pancarı lifinin fizikokimyasal özellikleri üzerine kimyasal modifikasyon ve vakumda kurutmanın (55, 65, 75 °C) etkilerini inceleyen

bir çalışmada, hidrojen peroksit ile kimyasal modifikasyonun şeker pancarı lifinin fiziksel yapısını önemli ölçüde etkilediği ve bunun da su bağlama kapasitesi ve şişme kapasitesi gibi hidrasyon özellikleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Modifiye edilmiş tüm lif örneklerinin hidrasyon özelliklerinde artış belirlenmiştir. Modifiye edilmiş lif örneklerinin su bağlama kapasitesi değerlerinin, aynı sıcaklıkta kurutulmuş modifiye edilmemiş lif örneklerine kıyasla dört kata kadar daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Su bağlama kapasitesi değerlerinin modifiye edilmemiş lif örnekleri için 4.65-5.15 g/g aralığında, modifiye edilmiş lif örnekleri içinse 17.16-20.14 g/g aralığında değiştiği belirtilmiştir. Su bağlama kapasitesindeki bu artış, hidrojen peroksit muamelesinin sonucu olarak ligninin parçalanması ve fiziksel şişmeye dayandırılmıştır. Ligninin parçalanmasının yanı sıra, modifikasyon prosesinin ayrılmaz bir parçası olarak karıştırmanın da mekanik kesme işlemi aracılığıyla lif yapısını açtığı ve selülozun serbest hidroksil gruplarını su bağlamaya hazır hale getirdiği ifade edilmiştir. Su bağlama kapasitesine benzer şekilde, modifiye edilmiş örneklerin şişme kapasitesi değerlerinin aynı sıcaklıkta kurutulmuş modifiye edilmemiş örneklere kıyasla üç kata kadar daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Şişme kapasitesinin, bireysel bileşenlerin özelliklerine ve lif matriksinin fiziksel yapısına (gözeneklilik, kristallenme derecesi) bağlı olduğu ifade edilmiştir. Yüksek pektin içeriği ve primer hücre duvarlarındaki polisakkaritlerin gevşek ağ yapısının şeker pancarı lifi için ayırt edici özellikler olduğu ve bu özelliklerin liflerin hidrofilitik ve elastik özelliklerinden sorumlu olduğu bildirilmiştir (Auffret vd, 1994). Bu bağlamda, ligninin kısmen giderilmesine bağlı olarak selüloz konfigürasyonundaki ara boşlukların ve mevcut hidroksil gruplarındaki artışın, lifin polisakkarit ağ yapısındaki değişiklikler için muhtemel bir açıklama olabileceği ve bunun da modifiye edilmiş lif örneklerinin şişme kapasitesinde artışa yol açtığı belirtilmiştir (Soronja-Simovic vd., 2016a).

Yüksek basınç homojenizasyonu, suyla yıkanmış örneğin su tutma kapasitesi değerini mikronize edilmemiş örneğe göre önemli ölçüde düşürürken etanol ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin su tutma kapasitelerinde önemli bir değişime yol açmamış, ancak bütün örneklerin yağ tutma kapasitesi değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış meydana getirmiştir ($P < 0.05$). Thebaudin vd. (1997), besinsel liflerin kaynağı ve partikül boyutunun liflerin şişme özellikleri, su tutma kapasitesi ve yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Şeker pancarı lifinin yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu, ayrıca liflerin partikül boyutunu

arttırmanın su tutma kapasitesini ve yağ absorpsiyon kapasitesini arttırdığı ifade edilmiştir. Benzer şekilde, mango posasından elde edilen tozun fiziksel ve duyuşal özellikleri üzerine partikül büyüklüğünün etkilerini inceleyen Sharma vd. (2013), partikül boyutundaki azalma ile birlikte su absorpsiyon indeksinde lineer bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Küçük partiküllerle kıyaslandığında daha büyük partiküllerin, hücre duvarı matriksi içerisinde su tutma kabiliyetlerinin daha fazla olması nedeniyle, daha yüksek su tutma kapasitesine sahip oldukları bildirilmiştir. Küçük partikül boyutu ve simetrik şeklin, partiküllerin sıkı bir şekilde istiflenmesini arttırdığı ve dolayısıyla suyun penetrasyonunu engellediği ifade edilmiştir. Çeşitli çalışmalarda çözünmez besinsel lifin partikül büyüklüğü ile hidrasyon özellikleri ve yağ tutma kapasitesi arasındaki ilişki incelenmiş, ancak çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmalarında havuç çözünmez lifi kullanan Chau vd. (2007) ve zencefil tozu kullanan Zhao vd. (2009), daha küçük partikül boyutunu yüksek hidrasyon özellikleri ile ilişkilendirerek, mikronizasyonun ortamdaki suya daha fazla yüzey alanı, polar gruplar ve su bağlama bölgelerini maruz bıraktığını, bu durumun da su tutma kapasitesi ve şişme kapasitesi gibi özelliklerde önemli bir artışa yol açtığını ifade etmişlerdir. Şeftali ve yulaf çözünmez liflerinin mikrofluidizasyona maruz bırakıldığı bir çalışmada, partikül boyutunun azalması ile birlikte hidrasyon özellikleri ve yağ tutma kapasitesinin arttığı bildirilmiştir. Hidrasyon özelliklerindeki artış, yüzey alanının artmasına ve mikrofluidizasyon prosesi esnasında açığa çıkan su bağlama bölgeleri tarafından tutulabilecek su miktarındaki artışa dayandırılmıştır. Ayrıca, partikül büyüklüğündeki belirgin azalmanın lifin porozitesini ve kılcal çekimini arttırabileceği, sonuçta yağın fiziksel olarak tutulmasını dolayısıyla yağ tutma kapasitesini de arttıracağı ifade edilmiştir (Chen vd., 2013). Benzer bir çalışmada, buğday kepeği çözünmez lifi ultra ince öğütme prosesine maruz bırakılmış, öğütme sonrasında (ortalama partikül büyüklüğü 343.5 nm) örneklerin su tutma kapasitesi ve şişme kapasitesi gibi hidrasyon özelliklerinin azaldığı saptanmıştır. Bu özelliklerin, polisakkarit zincirler tarafından oluşturulan ve hidrojen bağları aracılığıyla yüksek miktarda su tutabilen poröz matriks yapısıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kuru fibröz materyalin ince toz haline öğütülmesinin, bu materyalin su tutma ve şişme kapasitesini olumsuz etkileyebileceği, bu etkinin sadece partikül boyutunun azalmasına değil aynı zamanda lifin matriks yapısının değişmesine de bağlı olduğu ifade edilmiştir (Zhu vd., 2010). Cadden (1987), besinsel lifin hidrasyon özelliklerinin çözünmez/çözünür lif oranına, partikül büyüklüğüne, ekstraksiyon koşulu ve lif kaynağına bağlı olduğunu

belirtmiştir. Partikül büyüklüğünü hidrasyon özellikleri ile ilişkilendiren bir başka çalışmada, hindistan cevizi lifinde partikül büyüklüğünün 1127 μm 'den 550 μm 'ye düşmesi ile birlikte hidrasyon özelliklerinin arttığı ancak 550 μm 'den sonra, boyuttaki azalma ile birlikte (390 μm 'ye) hidrasyon özelliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Bu azalmanın, öğütme esnasında lif matriksinin zarar görmesine ve gözeneklerin çökmesine bağlı olabileceği bildirilmiştir (Raghavendra vd., 2006). Hu vd (2015), buğday kepeğinden elde edilen çözünmez besinsel lifi üç farklı yöntemle (yüksek basınç homojenizasyonu, yüksek yoğunluklu ultrasonikasyon ve bunların kombinasyonu) mikronize ettikleri çalışmalarında, mikronizasyon prosesinin çözünmez besinsel lifin partikül boyutunu azalttığını, yüzey alanını arttırdığını ve fiziksel yapısını değiştirdiğini, sonuç olarak da şişme kapasitesi ve su tutma kapasitesini etkilediğini belirtmişlerdir. Homojenize edilen süspansiyondaki çözünmez besinsel lifin başlangıçtaki konsantrasyonu arttıkça (%0.2'den %1.0'e) partikül büyüklüğünün azaldığı, bunun sonucunda da şişme ve su tutma kapasitesi değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların, partikül büyüklüğündeki azalma ile birlikte hidrasyon özelliklerinde artış gözlenen bazı çalışmaların sonuçları ile çeliştiği, ancak partikül büyüklüğünün çözünmez besinsel lifin şişme kapasitesi ve su tutma kapasitesini belirleyen sınırlayıcı faktör olmadığı bildirilmiştir. Çözünmez besinsel lifin hidrasyon özelliklerinin aynı zamanda kimyasal bileşim, fiziksel yapıdaki değişiklik ve mikronizasyon metotlarının yol açtığı agregasyon tarafından etkilendiği belirtilmiştir (Peng vd., 2011; Hu vd., 2015). Kurutma esnasında geri dönüşümsüz bir aglomerasyonun meydana geldiği, bunun da partikül büyüklüğünü ve sonuç olarak partikül büyüklüğü ile ilişkili özellikleri etkilediğinden bahsedilmiştir (Beck vd., 2012). Mikronize olmuş çözünmez besinsel lif örneği, konsantrasyon çok düşük olduğunda (%0.2'den az) su içinde tamamen dağılmaktadır. Dondurma esnasında buz kristallerinin sayısı ve boyutundaki artışla birlikte, buz kristallerinin sıkıştırma etkisine bağlı olarak çözünmez lif konsantrasyonu artmaktadır. Dondurarak kurutma esnasında, çözünmez besinsel lifin içinde dağıldığı ortam süblimleşme aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır. Çözünmez besinsel lifin komşu selülozik moleküllerinin hidroksil grupları arasında hidrojen bağının oluşması ile bunlar uzun lifler halinde birleşip sonunda da üç boyutlu bir ağ yapı haline gelene kadar birbirlerine yaklaşmaktadır (Hu vd., 2015). Ancak, çözünmez besinsel lif konsantrasyonu %0.5 veya üzerine çıktığında, mikronizasyon sonrasında dispersiyonda sıkı bir şekilde istiflenmiş olan çözünmez lifin çok miktarda çapraz

bağlanma ve agregasyona neden olduğu ve dondurarak kurutma esnasında iki boyutlu levha benzeri bir yapı meydana getirdiği belirtilmiştir (Chen vd., 2014). Yüksek yoğunluklu ultrasonikasyon uygulamasına maruz bırakılan örneklerin büyük partikül boyutları ve daha küçük yüzey alanlarından dolayı, konsantrasyondan daha az etkilendikleri ifade edilmiştir (Hu vd., 2015).

4.1.7. Viskozite

Şeker pancarı lifi örneklerinin viskozite değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Lif konsantrasyonundaki artışla birlikte çözeltideki suyu tutabilecek madde miktarı artmış, gittikçe daha yoğun bir süspansiyon oluşmuş ve dolayısıyla beklenildiği gibi örneklerin viskozitesi de artmıştır. En yüksek viskozite değerinin suyla yıkanmış örneğe (S) ait olduğu belirlenmiş olup, bunu alkali ile muamele edilip mikronize edilmiş lif örneği (Am) takip etmiştir. Bu sonuçlar, lif örneklerinin su tutma kapasitesi değerleri ile de uyumludur (su tutma kapasitesi değerleri S örneği için 9.3 g su/g lif iken Am örneği için 8.5 g su/g lif’tir). Daha büyük partikül boyutu ile birlikte daha fazla çözünmeyen katı madde miktarının daha yüksek viskoziteye yol açtığı belirtilmiştir (Lopez-Sanchez vd., 2011).

Çizelge 4.6. Şeker pancarı besinsel lifi örneklerinin viskozite değerleri

Konsantrasyon (%)	Viskozite (cP)				
	1	2	3	4	5
P	4.00 ± 0.00 ^a	6.00 ± 2.83 ^a	8.00 ± 0.00 ^a	10.00 ± 2.83 ^a	10.00 ± 2.83 ^a
S	8.00 ± 0.00 ^{ab}	12.00 ± 0.00 ^{ab}	46.00 ± 2.83 ^e	326.00 ± 19.80 ^e	1640.50 ± 51.62 ^e
Sm	4.00 ± 0.00 ^a	18.00 ± 0.00 ^{ab}	18.00 ± 2.83 ^b	38.00 ± 8.49 ^b	106.00 ± 14.14 ^b
E	10.00 ± 2.83 ^{bc}	16.00 ± 0.00 ^b	26.00 ± 2.83 ^c	54.00 ± 2.83 ^{bc}	64.00 ± 0.00 ^{ab}
Em	10.00 ± 2.83 ^{bc}	16.00 ± 0.00 ^b	36.00 ± 0.00 ^d	68.00 ± 5.66 ^c	276.00 ± 5.66 ^c
A	8.00 ± 0.00 ^{ab}	16.00 ± 0.00 ^b	24.00 ± 0.00 ^{bc}	62.00 ± 2.83 ^c	304.00 ± 39.60 ^c
Am	14.00 ± 2.83 ^c	50.00 ± 8.49 ^c	68.00 ± 5.66 ^f	242.00 ± 2.83 ^d	744.00 ± 11.31 ^d

Farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($P < 0.05$)

P: Posa

S: Suyla yıkanmış lif örneği

E: Etil alkol ile yıkanmış lif örneği

A: Alkali ile muamele edilmiş lif örneği

Sm: Suyla yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Em: Etil alkol ile yıkanmış ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Am: Alkali ile muamele edilmiş ve yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

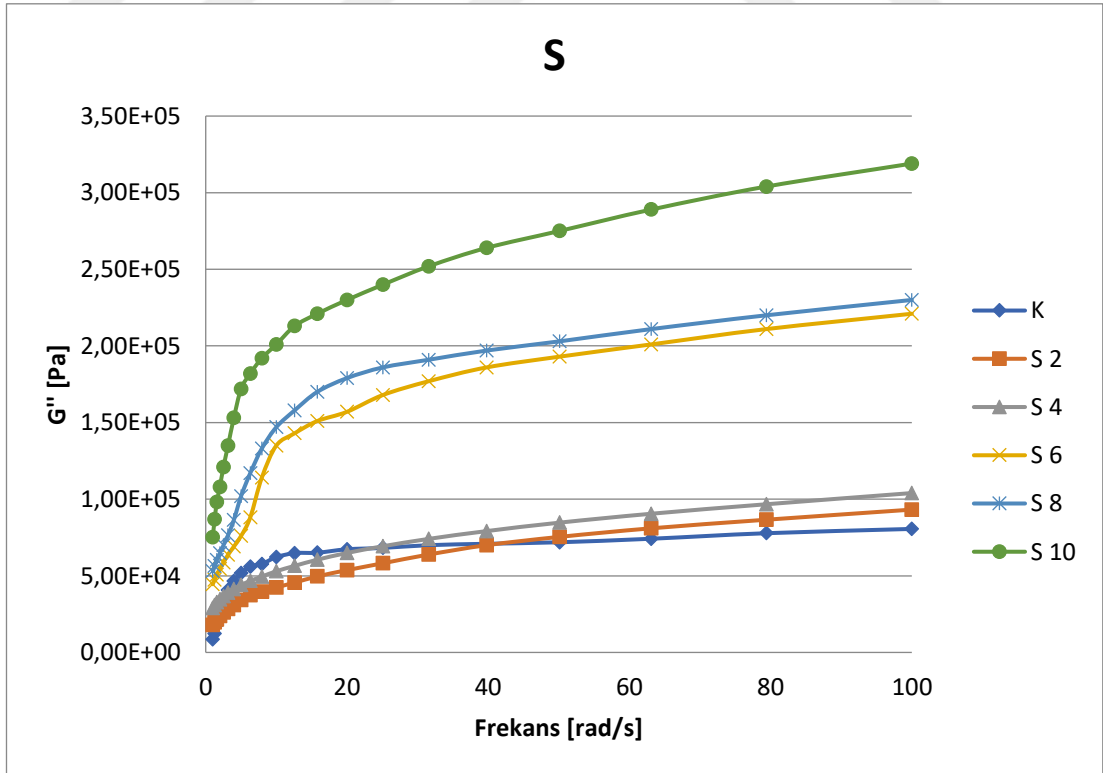
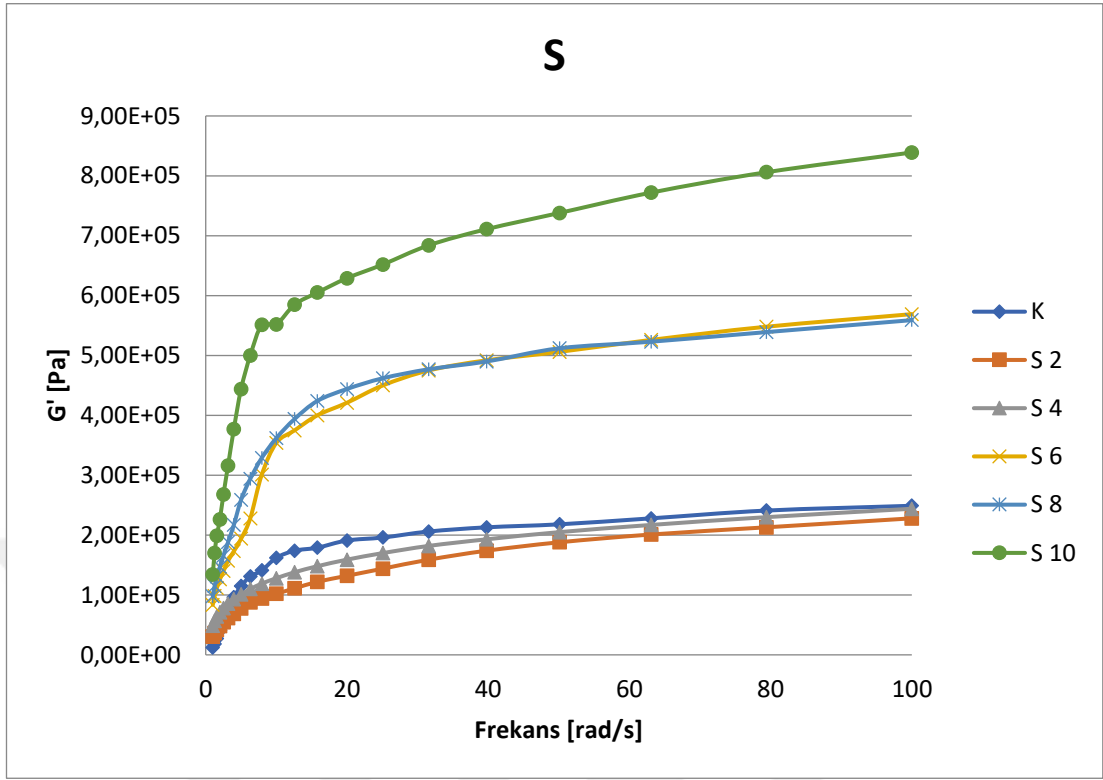
Lifli materyallerin viskozitesinin belirlendiği çeşitli çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yağdan arındırılmış pirinç kepeğinden elde edilen besinsel

lifin %1, %3, %5 ve %7'lik süspansiyonlarının viskozitelerinin belirlendiği bir çalışmada, çözeltinin konsantrasyonu arttıkça viskozitede artış meydana geldiği ancak örneklerle ait viskozite değerlerinin şeker pancarından elde edilen ticari bir lif olan FIBREX'in aynı konsantrasyonlardaki çözeltilerine göre daha düşük olduğu ifade edilmiştir (Abdulhamid ve Luan, 2000). Başka bir çalışmada, ticari bir besinsel lif (yulaf lifi) yüksek basınç homojenizasyonu ile modifiye edilmiş ve örneklerin %6.5'lik süspansiyonlarının reolojik davranışı incelenmiştir. Disperse olmuş liflere mekanik uygulamanın artırılmasıyla birlikte genel olarak belirlenen viskozitelerin arttığı, bu durumun artan su bağlama kapasitesi ile de uyum içinde olduğu belirtilmiştir (Ulbrich ve Flöter, 2014).

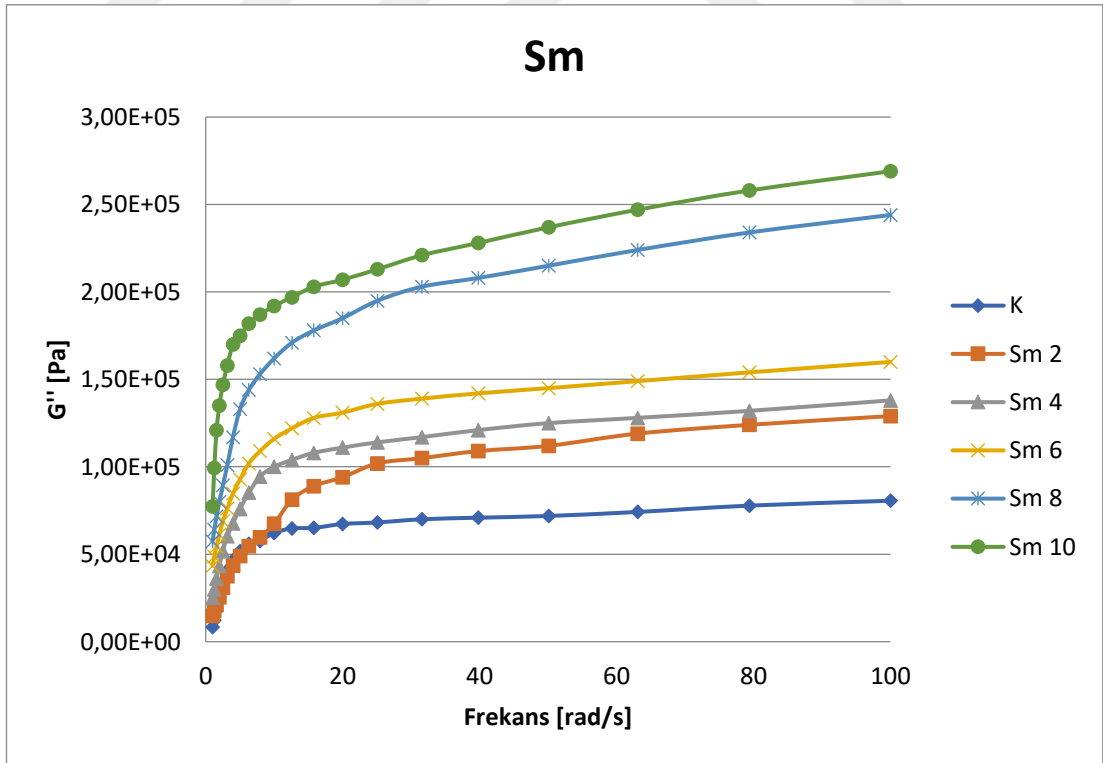
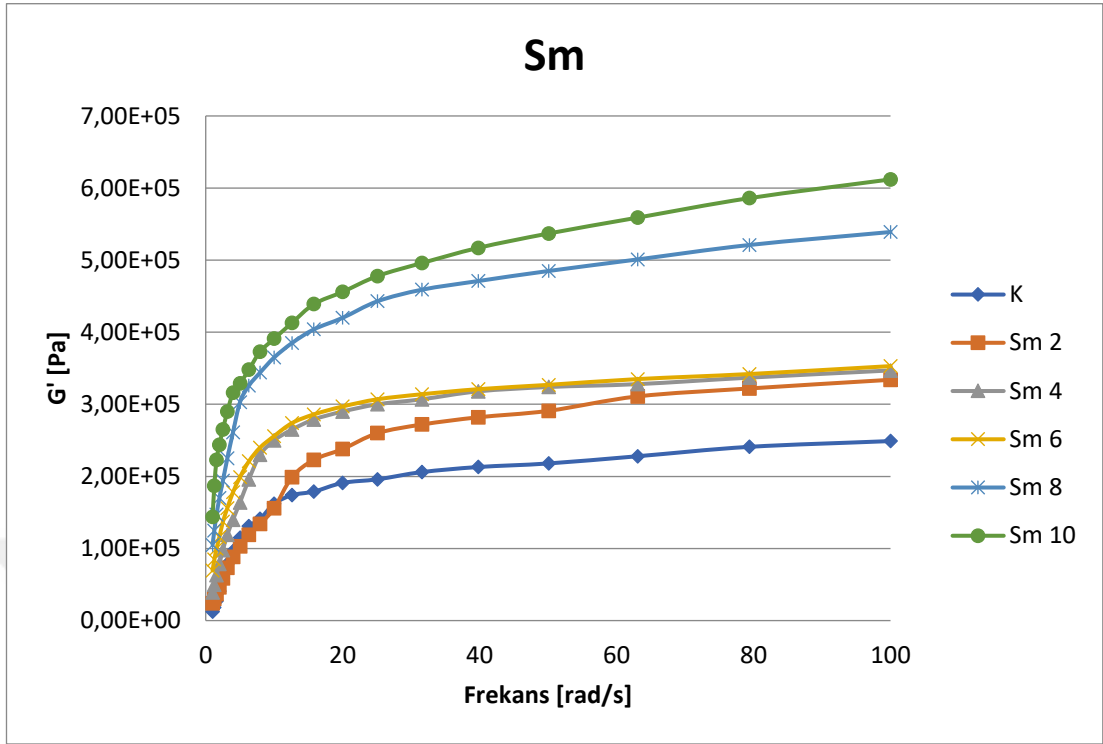
4.2. Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Hamur Özellikleri Üzerine Etkileri

4.2.1. Hamur reolojisi

Kontrol örneği (K) ile un esasına göre farklı oranlarda S lifi (yüksek basınç homojenizatöründen geçmemiş lif örneği) içeren hamur örneklerine ait G' ve G'' değerleri Şekil 4.3'de, Sm lifi (yüksek basınç homojenizatöründen geçmiş lif örneği) içeren hamur örneklerine ait G' ve G'' değerleri ise Şekil 4.4'de sunulmuştur. Lif içeren hamurların kontrol hamuruna göre önemli derecede yüksek G' ve G'' değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer bir sonuç, selüloz, buğday lifi ve yulaf lifi ilave edilmiş hamurlarda da gözlenmiştir. Daha yüksek G' ve G'' değerleri, daha yüksek konsistens ve daha düşük akma eğilimine sahip olan daha katı bir hamurun göstergesidir (Gomez vd., 2010). Viskoelastik hamur matriksi içinde fibröz kepeğin bir dolgu maddesi olarak faaliyet gösterdiği (Uthayakumaran vd., 2002), ve kepek ile gluten arasındaki su rekabetinden dolayı sudan kaynaklanan yağlama etkisini azalttığı (Wang vd., 2003), sonuç olarak da G' değerini arttırdığı belirtilmiştir (Ishwarya vd., 2017). Her iki lif grubunu içeren hamur örneklerinde G' değerlerinin G'' değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. S lifi kullanılması durumunda lif ilavesi arttıkça hamur daha kuvvetli hale gelmiştir (Sm lifine göre daha büyük G' değerleri). Bu durum, S lifinin Sm lifine kıyasla oluşturduğu daha yüksek viskoziteden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar, su ve maya miktarının bir fonksiyonu olarak ve hidrokolloidlerin ilavesi ile buğday unu hamurunun reolojik ve mikroyapısal özelliklerindeki değişimi tanımlayan Upadhyay vd. (2012)'nin elde ettiği sonuçlara benzemektedir.



Şekil 4.3. Farklı oranda S lifli içeren hamur örneklerine ait elastisite modülü (G') ve viskoz modülü (G'') değerleri



Şekil 4.4. Farklı oranda Sm lifi içeren hamur örneklerine ait elastisite modülü (G') ve viskoz modülü (G'') değerleri

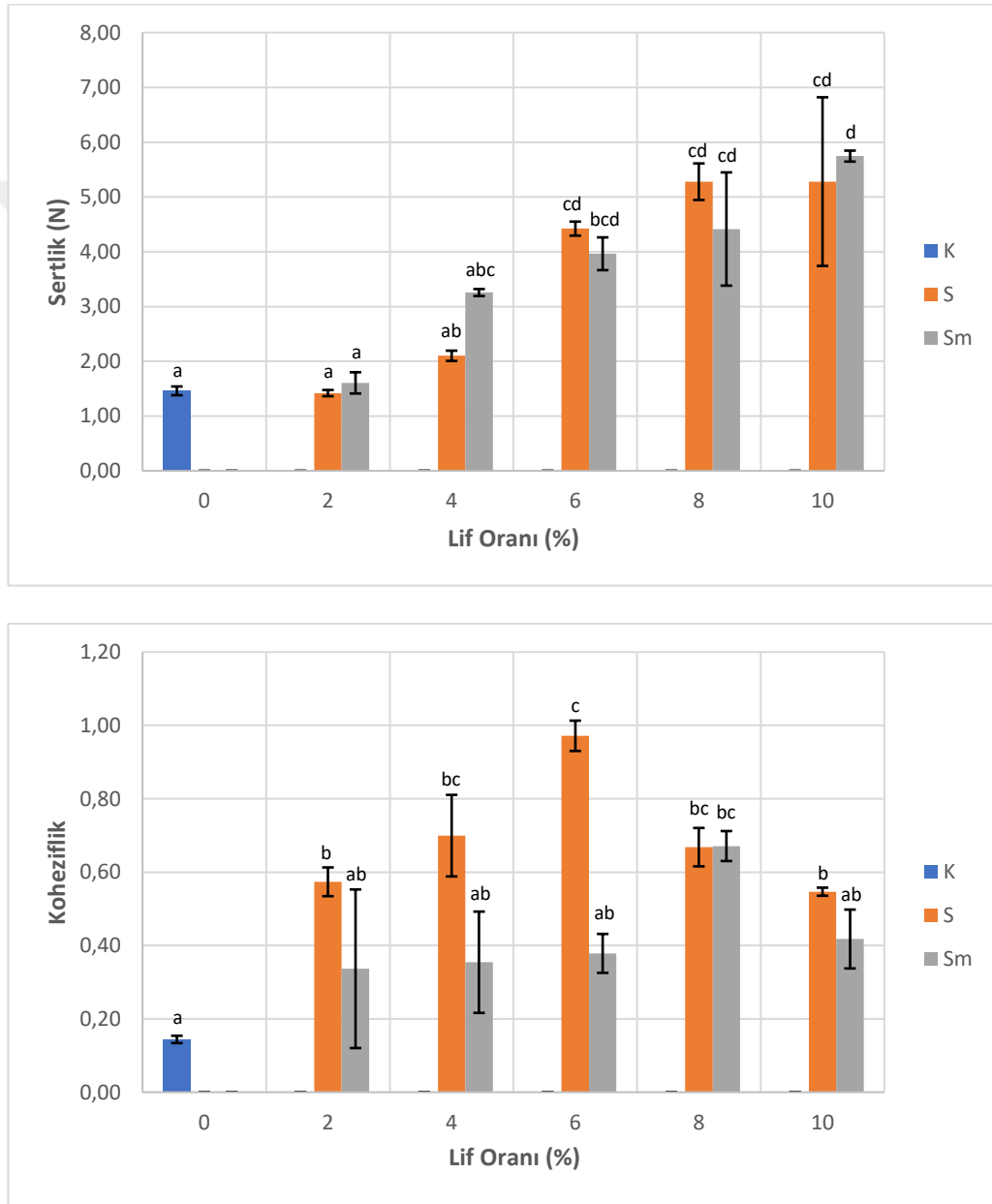
Bu araştırmacılar hamur formülasyonunda %0.5, 1.5 ve 3.0 oranlarında sodyum aljinat ve ksantan gam kullanmış ve hidrokolloid kullanıldığında su miktarını sabit %60, maya miktarını sabit %2 olarak belirlemişlerdir. Hidrokolloid ilavesi ile birlikte G' ve G'' değerleri artmış ve hamurda daha fazla sertlik meydana gelmiştir. Ksantan gam kullanılması durumunda, hidrokolloid ilavesi arttıkça sodyum aljinata kıyasla daha büyük G' değerleri elde edilmesi nedeniyle hamurun daha kuvvetli hale geldiği bildirilmiş, bu durum ksantan gamın sodyum aljinata kıyasla oluşturduğu daha yüksek viskoziteye dayandırılmıştır. Benzer şekilde, bira posası ve elma posası (Ktenioudaki vd., 2013), inülin (Peressini ve Sensidoni, 2009) ve suda çözünmeyen hurma lifi (Ahmed vd., 2013) ilavesinin hamurun reolojik özellikleri üzerine etkilerini inceleyen çeşitli çalışmalarda lif ilavesi ile birlikte G' ve G'' değerlerinde artış gözlenmiştir. Lifle zenginleştirilmiş hamurun kontrol örneğine göre daha yüksek mekanik kuvvet gösterdiği, bunun da daha sert bir hamurun göstergesi olduğu belirtilmiştir. Hamur örneklarine ait G' değerlerinin G'' değerlerinden yüksek olması ise hamurların elastik benzeri bir davranış göstermesine bağlanmış ve bu durumun ($G' > G''$) viskoelastik ağ yapının gerçek bir göstergesi olduğu ifade edilmiştir.

4.2.2. Hamurun tekstürel özellikleri

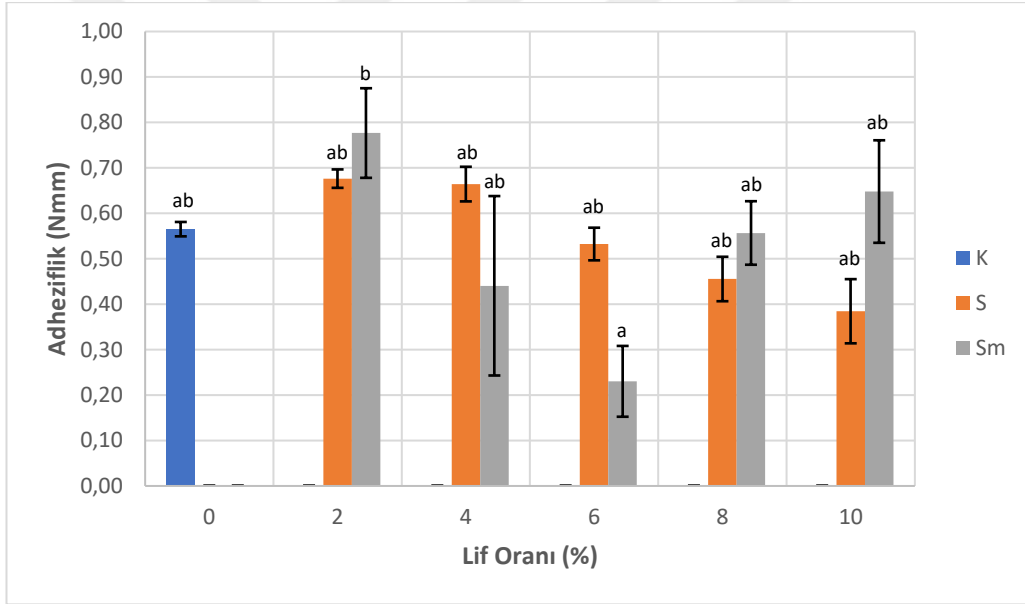
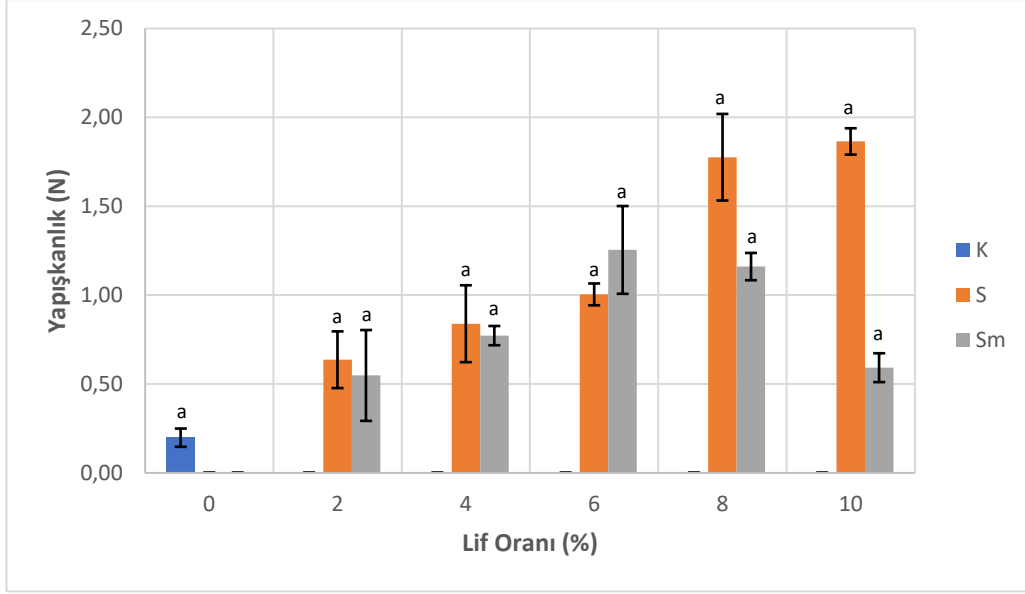
Kontrol örneği ile un esasına göre farklı oranlarda lif (S ve Sm lifi) içeren hamur örneklarine ait tekstürel parametreler şekil 4.5'de verilmiştir. Kontrol hamuru ile %2 ve %4 oranlarında lif içeren hamurların benzer sertlik değerlerine sahip olduğu ve bu hamurların sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı görölmektedir ($P > 0.05$). Ancak, daha yüksek oranda lif ilavesi, hamurların sertlik değerlerinde önemli düzeyde artışa neden olmuştur. Bu sonuç, hamur örneklarinin reolojik analizinde, lif miktarındaki artışla birlikte G' ve G'' değerlerinde gözlemlenen artış ile uyum içindedir ve lifle zenginleştirilmiş hamur örneklarinin daha yüksek mekanik kuvvet gösterdiğini belirtmektedir. Bonnand-Ducasse vd (2010), çözünmeyen buğday kepeği ilavesinin daha sert bir hamura yol açtığını, bunun da muhtemelen lifin hamur matriksindeki dolgu maddesi benzeri etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Yüksek basınç homojenizasyonuna tabi tutulmuş lif örneklarinin hamur sertliği açısından aynı ilave düzeyinde diğer lif grubuna kıyasla önemli bir değişime yol açmadığı belirlenmiştir. S lifi, hamurların koheziflik değerlerinde kontrol hamuruna

göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa neden olurken ($P < 0.05$), S_m lifi içeren hamurların kontrol hamuruna benzer koheziflik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Her iki lif grubunun da hamur örneklerinin yapışkanlık ve adheziflik değerlerini önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kek formülasyonunda kladod tozu (Ayadi vd., 2009) ve elma posası (Sudha vd., 2007) kullanılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.5. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin hamurun tekstürel özellikleri üzerine etkisi



Şekil 4.5. (devam)

Bu araştırmacılar, karışımda bulunan lif fraksiyonundaki artışla birlikte hamurun daha sert bir hal almasının ya gluten proteinlerinin seyrelmesine ya da buğday unundaki proteinler ile polisakkaritler arasındaki etkileşime bağlı olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca, hamur kohezyonu üzerine kladod (hint inciri) tozu ilavesinin hemen hemen önemsiz bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Ekmek kalitesi üzerine lif ilavesinin etkilerinin incelendiği başka bir çalışmada ise bezelye ve bakla kabuğu lifi ilavesinin hamurun tekstürel özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir. İlave edilen lif konsantrasyonu arttıkça kohezyon, adhezyon ve esneklik parametreleri artış göstermiştir. Düşük konsantrasyondaki (0.25 ve 0.5 g/100g) lif ilavesinde hamur sertliği azalırken, yüksek konsantrasyondaki (0.75 ve 1 g/100g) lif ilavesinde sertlik kısmen artmıştır (Fendri vd., 2016). Armero ve Collar (1997), buğday unu hamuruna ait bazı tekstür parametrelerinin primer öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Adhezifliğin, hamurun işlenebilirliğini son derece etkileyen bir parametre olduğu, diğer tekstür parametrelerinin ise hamurun işlenebilirliği üzerinde bir avantaj ya da dezavantaja sahip olmadığı ancak ekmek kalitesini tahmin etme açısından önemli olduğu ifade edilmiştir. İç yapıları yüksek gerilim ve deformasyona dirençli daha kohezif hamurların, spesifik hacmi daha yüksek ve daha yumuşak ekmeklere yol açtığı bildirilmiştir.

Rosell vd (2010), ekmek hamuruna besinsel lif ilave edilmesinin proteinlerin birleşmesini önemli ölçüde engellediğini, ayrıca soğutma ve ısıtma prosesleri esnasında ekmeğin davranışını etkilediğini belirtmişlerdir. Hamur matriksi içine dahil edilen şeker pancarı besinsel lifinin, viskoelastik sistemin bozulmasını teşvik ettiği ve daha zayıf bir hamurun oluşmasına yol açtığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, şeker pancarı lifinin mevcut nişasta ile su için rekabete girdiği ve dolayısıyla jelleşme ve çirışlenmeyi etkilediği bildirilmiştir.

4.3. Şeker Pancarı Besinsel Lifi Örneklerinin Ekmek Özellikleri Üzerine Etkileri

4.3.1. Ekmeğin fizikokimyasal özellikleri

Ekmek örneklerine ait fizikokimyasal değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ekmeğin nihai nem içeriğinin, hamurun hazırlanması esnasındaki su absorpsiyonu ve pişirme esnasındaki su kaybına bağlı olduğu ifade edilmiştir (Rubel vd., 2015). Kontrol ekmeğine ait nem değeri %37.02 iken S lifi içeren ekmeklerin nemi %31.67-38.47 değerleri arasında, Sm lifi içeren ekmeklerin nemi ise %33.60- 37.63 değerleri arasında değişmiştir. %2, 4 ve 6 oranlarında S lifi içeren ekmeklerin nem değerleri ile kontrol ekmeğinin nem değeri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı, %8 ilave oranında ise ekmeğe ait nem değerinin kontrole göre önemli ölçüde düşük olduğu görülmektedir. Sm lifi ilavesi ise ekmek örneklerinin nem miktarı üzerinde

kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli bir farka yol açmamıştır ($P > 0.05$). Ekmeklerin ağırlıklarının da nem değerleri ile paralel bir eğilim içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi

	Nem (%)	Ağırlık (g)	Hacim (mL)	Spesifik Hacim (mL/g)
K	37.02 ± 0.64 ^{bcd}	141.69 ± 0.84 ^{bc}	440.00 ± 16.43 ^f	3.11 ± 0.12 ^f
S				
%2	38.47 ± 1.98 ^e	146.86 ± 0.48 ^d	420.00 ± 7.75 ^{ef}	2.86 ± 0.05 ^e
%4	38.29 ± 0.58 ^{de}	147.83 ± 0.96 ^d	309.17 ± 11.58 ^c	2.09 ± 0.09 ^c
%6	33.86 ± 2.15 ^{abc}	140.18 ± 0.10 ^{ab}	236.67 ± 6.06 ^{ab}	1.69 ± 0.04 ^{ab}
%8	31.67 ± 2.76 ^a	136.31 ± 5.86 ^a	237.50 ± 9.87 ^{ab}	1.74 ± 0.08 ^{ab}
Sm				
%2	37.28 ± 0.16 ^{cde}	141.98 ± 0.08 ^{bc}	401.67 ± 20.17 ^e	2.83 ± 0.14 ^e
%4	37.63 ± 0.74 ^{de}	144.90 ± 0.42 ^{cd}	331.67 ± 9.83 ^d	2.29 ± 0.06 ^d
%6	34.81 ± 0.84 ^{abcd}	138.08 ± 1.30 ^{ab}	246.67 ± 4.08 ^b	1.79 ± 0.04 ^b
%8	33.60 ± 1.12 ^{ab}	140.19 ± 0.99 ^{ab}	225.00 ± 4.47 ^a	1.61 ± 0.03 ^a

K: Kontrol

S: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmemiş lif örneği

Sm: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Ekmeklere şeker pancarı lifi ilavesi, ekmek örneklerinin hacimlerinin kontrol ekmeğine göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur ($P < 0.05$). İlave edilen lif oranı arttıkça hacim değerleri de aşamalı olarak azalmıştır. Aynı durum, her iki lif örneği ile zenginleştirilmiş ekmeklerin spesifik hacim değerlerinde de gözlenmiştir. Kontrol ekmeğinin hacmi 440 mL iken %2, 4, 6 ve 8 oranlarında S lifi içeren ekmeklerin hacmi sırasıyla 420, 309.17, 236.67 ve 237.50 mL olarak belirlenmiştir. Aynı ilave oranlarında Sm lifi içeren ekmeklerin hacim değerleri ise sırasıyla 401.67, 331.67, 246.67 ve 225 mL'dir. Ekmek hacmine dair elde edilen bu sonuçlar, ekmek üretiminde şeker pancarı katkısı kullanan Filipovic vd. (2004)'nin sonuçları ile uyumludur. Bu araştırmacılar, katkı ilavesindeki artışla birlikte ekmek hacminin azaldığını ve %0, 2, 5 ve 10 oranlarındaki katkı ilavesi için ekmek hacminin sırasıyla 337, 309, 268 ve 194 mL olarak belirlendiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, ekmek içi yapısının oldukça kaba ve ekmek içi renginin kabul edilemez şekilde koyu bir hal aldığı ifade edilmiştir. Lif ilavesinin ekmek hacmi üzerinde meydana getirdiği bu olumsuz etkinin glutenin dilüsyonuna veya gluten ve lif arasındaki etkileşime bağlı olabileceği, aynı zamanda lifin hamur yapısını zayıflatması

ya da bozması ve dolayısıyla CO₂ gazı tutma kapasitesini azaltmasının bir sonucu olabileceği bildirilmiştir (Fendri vd., 2016). Ekmek yapımında buğday kepeğinin etkilerinin incelendiği bir çalışmada, kepeğin su için gluten ve nişasta ile rekabete girmesinin glutenin yeterli bir şekilde hidrasyonunu engelleyebileceği, bu durumun da ekmek hacminin azalmasına yol açabileceği belirtilmiştir (Lai vd., 1989a). Yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronize edilmiş şeker pancarı lifi (Sm lifi) içeren ekmek örneklerinin hacim değerleri mikronize edilmemiş lif örneklerini (S lifi) içeren ekmeklerin hacim değerleri ile kıyaslandığında, %4 ilave oranı hariç, benzer ilave oranlarında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir. %4 ilave oranında ise Sm lifi içeren ekmeğin S lifi içeren ekmeğe göre daha yüksek hacim değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, kepek fraksiyonlarının partikül boyutunu azaltmanın ekmek kalitesi üzerine olumsuz etkilerini arttırdığı bildirilmiştir. İnce kepeğin gluten ağının oluşumuna ilişkin olumsuz etkisindeki artış, kepek partiküllerinin yüzey alanındaki artışla birlikte hamur yoğurma esnasında gluten ile interaksiyonlarındaki artışa ve aynı zamanda glutenin gelişimini engelleyebilecek reaktif bileşenlerin serbest kalmasına dayandırılmıştır (Noort vd., 2010). Başka bir çalışmada ise, ortalama partikül boyutları 75 µm ve 150 µm olan yulaf lifi tozları ekmek üretiminde farklı oranlarda (%4, 8, 12, 16, 20) kullanılmıştır. Buğday ekmeğinde bulunan daha küçük partikül boyutuna sahip besinsel lif, son ürünün spesifik hacmini arttırmış fakat bu hacmin kontrole göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Kurek vd., 2016).

4.3.2. Ekmek içi ve ekmek kabuğu rengi

Ekmek örneklerinin kabuk ve iç kısımlarına ait renk parametreleri sırasıyla Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir. Her iki lif grubu için, %2 ve %4 oranlarında lif ilavesi ekmek kabuğunda parlaklığın önemli düzeyde azalmasına neden olurken, yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği %6 ve %8 ilave oranlarında ekmek kabuğu parlaklığının kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde artmasına neden olmuştur ($P < 0.05$). Lif ilavesi ekmek içinin daha koyu bir renk almasına yol açmış ve ilave edilen lif miktarı arttıkça ekmek içi parlaklığı giderek azalmıştır. Unlu mamullerin parlaklığındaki azaltmanın, şekerler ve aminoasitler arasındaki reaksiyonlar için ortam yaratan suyun life bağlanması olayının bir sonucu olabileceğine dikkat edilmesi gerektiği bildirilmiştir (Kurek vd., 2016).

Çizelge 4.8. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmek kabuğu rengi üzerine etkisi

Ekmek Kabuğu Rengi			
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>
K	61.8 ± 2.51 ^c	9.3 ± 0.78 ^{ab}	27.8 ± 1.26 ^b
S			
%2	52.9 ± 2.23 ^a	11.5 ± 2.23 ^{bc}	25.9 ± 1.61 ^b
%4	51.8 ± 1.24 ^a	15.7 ± 1.69 ^c	27.0 ± 2.55 ^b
%6	61.7 ± 4.27 ^c	16.8 ± 12.41 ^c	20.6 ± 9.79 ^a
%8	62.6 ± 1.76 ^c	6.7 ± 1.71 ^{ab}	27.6 ± 2.88 ^b
Sm			
%2	53.0 ± 2.32 ^a	9.5 ± 0.72 ^{ab}	25.8 ± 1.00 ^b
%4	56.5 ± 2.94 ^b	9.0 ± 0.80 ^{ab}	26.7 ± 1.30 ^b
%6	66.6 ± 0.84 ^d	4.1 ± 0.52 ^a	26.0 ± 0.97 ^b
%8	66.6 ± 0.32 ^d	3.9 ± 1.13 ^a	27.0 ± 1.63 ^b

K: Kontrol

S: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmemiş lif örneği

Sm: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Çizelge 4.9. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmek içi rengi üzerine etkisi

Ekmek İçi Rengi			
	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>
K	71.9 ± 1.67 ^g	-1.9 ± 0.36 ^a	19.0 ± 0.80 ^{cd}
S			
%2	69.3 ± 0.85 ^f	0.2 ± 0.91 ^{cd}	18.7 ± 1.01 ^c
%4	66.4 ± 0.37 ^{de}	5.0 ± 1.43 ^e	17.3 ± 0.65 ^b
%6	62.4 ± 1.15 ^{ab}	8.2 ± 0.48 ^f	16.1 ± 0.16 ^a
%8	63.9 ± 0.41 ^c	0.8 ± 0.10 ^d	18.9 ± 0.40 ^c
Sm			
%2	67.2 ± 0.63 ^e	-1.3 ± 0.17 ^{ab}	18.6 ± 0.20 ^c
%4	65.4 ± 0.42 ^d	-0.5 ± 0.12 ^{bc}	19.0 ± 0.21 ^c
%6	63.3 ± 0.43 ^{bc}	0.5 ± 0.11 ^d	19.7 ± 0.23 ^d
%8	61.7 ± 0.34 ^a	0.7 ± 0.29 ^d	18.7 ± 0.38 ^c

K: Kontrol

S: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmemiş lif örneği

Sm: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

Ekmegin teknolojik kalitesi üzerine farklı besinsel lif kaynaklarının (buğday kepeği, dirençli nişasta ve keçi boynuzu gamı) etkilerini inceleyen bir çalışmada ise keçi boynuzu gamının ekmek içi parlaklığında meydana getirdiği azalma, bu lif kaynağının ekmek içi nem miktarı üzerindeki etkisi ile ilişkilendirilmiştir (daha fazla nem, daha düşük parlaklık) (Almeida vd., 2013). S lifi ekmek kabuğu ve ekmek içine ait kırmızı renk oranında kontrole göre önemli bir değişim meydana getirirken, Sm lifi yalnızca ekmek içine ait kırmızılık değerlerinde artışa neden olmuştur. Genel olarak, lif içeren ekmek örneklerinin sarı renk oranının benzer olduğu ve bu örnekler için b değerlerinde kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak bir fark olmadığı görülmektedir ($P > 0.05$). Farklı besinsel lifler ile zenginleştirilmiş ekmeklerin kalite

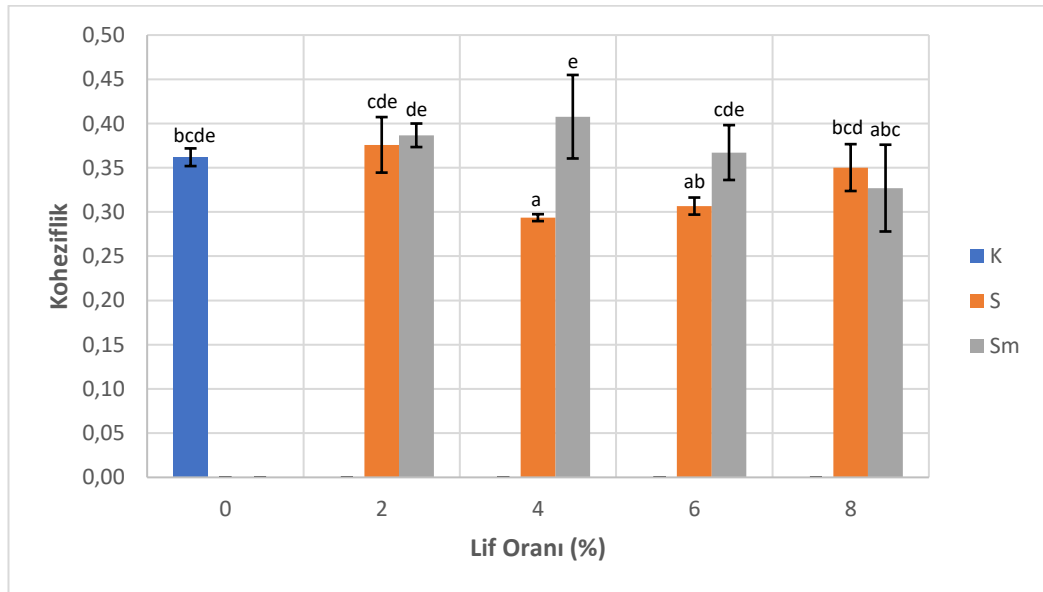
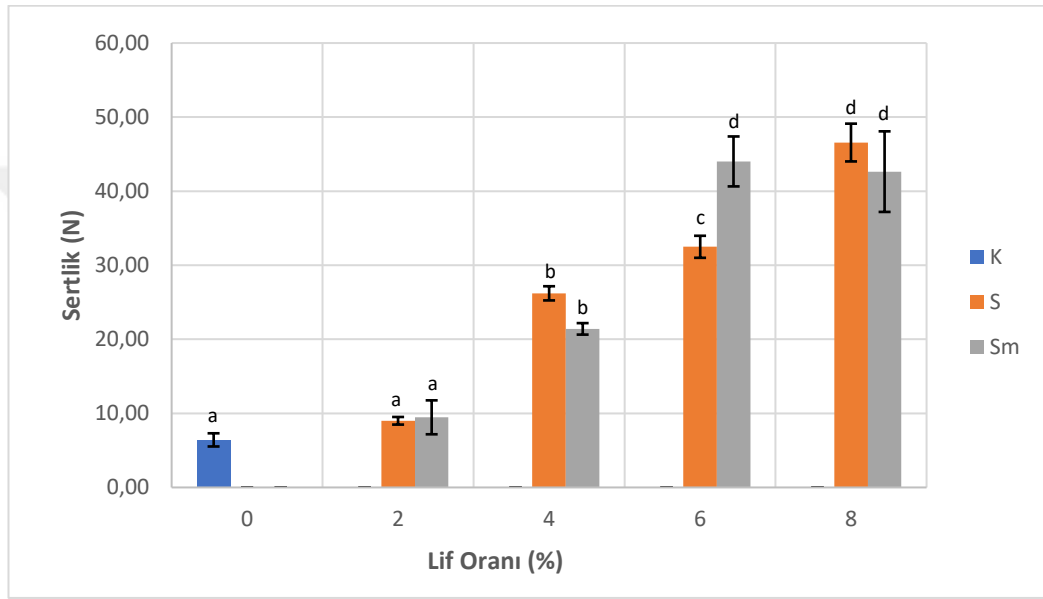
özelliklerini araştıran çeşitli çalışmalarda da ekmek rengine dair benzer sonuçlar elde edilmiş, genel olarak lif ilavesi ile birlikte ekmek kabuğu ve ekmek içine ait parlaklık (L^*) ve sarılık (b^*) değerlerinin azaldığı, kırmızı renk oranının (a^*) arttığı bildirilmiştir (Filipovic vd., 2004; Romankiewicz vd., 2017; Fendri vd., 2016). Yüksek sıcaklıklara doğrudan maruz bırakılmış unlu mamullerin yüzey renginin, karamelizasyon ve maillard reaksiyonları sonucu değiştiği belirtilmiştir. Pişirme prosesi sırasında ekmek içinin sıcaklığı 100°C 'ye ulaşmazken, ekmek kabuğunda sıcaklık 100°C 'nin üzerindedir. Ürünün rengini etkileyen maillard reaksiyonunun yalnızca ekmek kabuğunda meydana geldiği, ekmek içi renginin ise yalnızca hamur üretiminde kullanılan bileşenlerle doğrudan ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Romankiewicz vd., 2017). Ekmek üretiminde iki farklı boyutta (ortalama $75\ \mu\text{m}$ ve $150\ \mu\text{m}$) yulaf lifi tozu kullanılan bir çalışmada ise unlu mamullere ilave edilen daha küçük boyuttaki besinsel lifin kontrol örneği ile karşılaştırıldığında renk bakımından daha az farklılığa neden olduğu belirtilmiştir (Kurek vd., 2016). Bu durum, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

4.3.3. Ekmek içi tekstür özellikleri

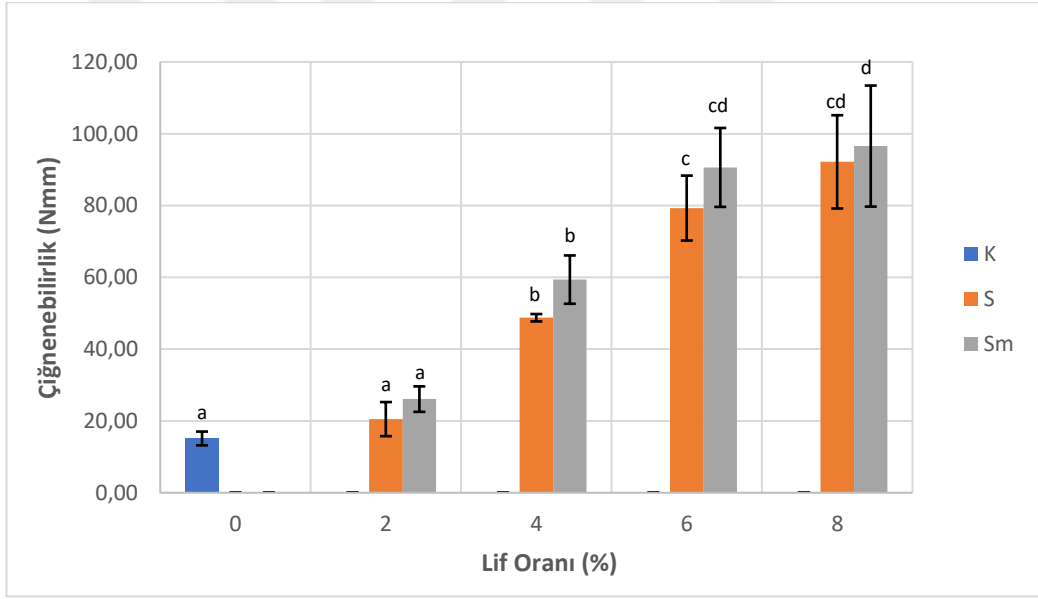
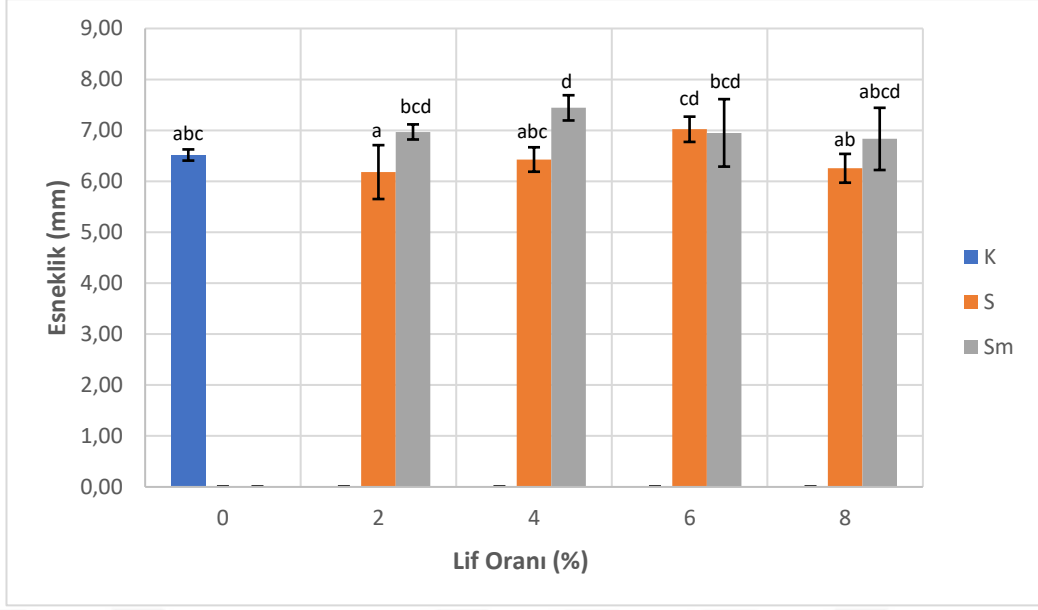
Ekmek içine ait sertlik, koheziflik, esneklik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel parametreler Şekil 4.6'da verilmiştir. Kontrol ekmeğinin sertlik değeri $6.42\ \text{N}$ iken, S lifi içeren ekmeklerin $9.00-46.56\ \text{N}$ arasında, Sm lifi içeren ekmeklerin ise $9.47-44.02\ \text{N}$ arasında sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Her iki lif grubunu içeren ekmek örneklerinin sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri, %2 ilave oranı hariç kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir ($P < 0.05$). Lif oranındaki artış, bu parametrelere ait değerlerin gittikçe artmasına neden olmuştur. Bu durum, formülasyondaki su miktarının sabit olması ile ilişkilendirilebilir. Cappa vd. (2013), hidrokolloidler ve yüksek lifli bileşenlerin kullanımının, genellikle ekmek ve ilişkili ürünlerin tekstürü üzerinde olumlu etkilere neden olduğunu, bu maddelerin ilavesinin, özellikle de glutensiz ekmeklerde, liflerin su bağlama ve pişirme prosesi boyunca bu suyu tutma kabiliyetleri nedeniyle ekmek içi yumuşaklığını geliştirebildiğini bildirmişlerdir. Özellikle çözünür lif oranı yüksek liflerin (psyllium ve şeker pancarı lifi gibi), nemin tutulmasına yardım etmek ve ekmek içi nemliliğinin algılanmasını arttırmak suretiyle ekmek içi yumuşaklığını pozitif bir şekilde etkileyebileceği belirtilmiştir. Ancak, eğer orijinal kütledeki su miktarı sınırlı ise ve

birçok madde bu su için rekabet etmek zorunda ise hem hidrokolloidler hem de yüksek lifli bileşenlerin fonksiyonlarını en iyi şekilde yerine getiremeyeceği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, ekme örneklerinin sertlik ve çiğnenebilirlik parametrelerine dair elde edilen sonuçlar, Gül ve Şen (2017)'in sonuçları ile uyumludur. Ekme üretiminde nar çekirdeği unu kullanan bu araştırmacılar, formülasyondaki lif oranı arttıkça ekme içi sertliği ve çiğnenebilirliğinin arttığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.6. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin tekstürel özellikleri üzerine etkisi



Şekil 4.6. (devam)

Tüketicilerin ekmek tazeliği ile ilgili algılarının kuvvetli bir şekilde ilişkili olması nedeniyle, unlu mamuller için özellikle ekmek içi sertliğinin yaygın bir kalite özelliği olduğu bildirilmiştir. Genel olarak ekmek hacmi ne kadar büyükse sertlik değerinin o kadar düşük olacağı yani ekmeğin daha yumuşak olacağı ifade edilmiştir. Bu durum, ekmek hacmi ve ekmek içi sertliğine dair bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumludur. Şeker pancarı lifi konsantrasyonu arttıkça, ekmeğin spesifik

hacmindeki azalma ile eşzamanlı olarak ekmeğin sertliğinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ekmeğin sertliğindeki artışın besinsel lifin seyreltme etkisinden (lif ile gluten ağının interaksyonu) kaynaklandığı, bu etki ile birlikte gaz tutulmasının zayıfladığı ve dolayısıyla daha düşük ekmeğin hacmine yol açtığı ifade edilmiştir (Rubel vd., 2015). Başka bir çalışmada ise, fitik asitten arındırılmış ve konsantre edilmiş buğday kepeği ile pirinç kepeği ekmeğin üretiminde kullanılmış, kepek ilavesinin ekmeğin sertliğini önemli düzeyde arttırdığı bildirilmiştir. Sertliğin istenen bir özellik olmadığı çünkü aynı zamanda ekmeğin bayatlaması ile ilişkili olduğu belirtilmiş ve yüksek hacim ile üstün ekmeğin tekstürü arasında pozitif bir ilişki olduğu ifade edilmiştir (Özkaya vd., 2018). Ekmeğin sertliği; ekmeğin tekstürü, nişasta retrogradasyonu, ekmeğin gözenekli ve suyun ekmeğin içinden yüzeye göç etmesi gibi pek çok faktöre dayanmaktadır (He ve Hosney, 1990; Özkaya vd., 2018). Limon posasından elde edilmiş lifin hamur ve buharda pişirilmiş ekmeğin (mantou) reolojik, antioksidatif ve duyu özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, lifin rijit yapısı veya su absorpsiyonu için un bileşenleri ile lif arasındaki rekabete bağlı olarak, lifle zenginleştirilmiş ekmeğin daha yüksek sertliğe sahip olduğu bildirilmiştir (Fu vd., 2015). Farklı kaynaklardan (portakal, bezelye, kakao, kahve, buğday ve mikrokristalin selüloz) elde edilen saflaştırılmış bazı besinsel liflerin ekmeğin formülasyonunda %2 ve %5 oranlarında kullanıldığı bir çalışmada, ekmeğin sertliğinin gluten ve lifli materyaller arasındaki etkileşimin bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Genel olarak, %2 lif ilave edilmiş taze ekmeğin kontrol ekmeğine göre önemli ölçüde daha sert bir ekmeğin tekstürüne sahip olduğu ifade edilmiştir. Ortalama lif boyutu 35 µm olan buğday-S lifi ile ortalama lif boyutu 250 µm olan buğday-L lifi olmak üzere iki buğday lifi kullanılmıştır. %2 oranında buğday-S lifi içeren ekmeğin örneklerinin sertlikteki en büyük artışı meydana getirdiği, bu etkinin muhtemelen ekmeğin içindeki hava kabarcıklarını çevreleyen duvarların lif etkisiyle kalınlaşmasına bağlı olduğu bildirilmiştir. Yalnızca, %2 oranında buğday-L lifi içeren ekmeğin sertlikte çok az bir azalma göstermiştir (Gomez vd., 2003).

Genel olarak, lif ilavesi ile birlikte (%4 S lifi ve %4 Sm lifi ilavesi haricinde) ekmeğin örneklerinin kohezivlik ve esneklik değerlerinde kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Ekmeğin üretiminde farklı besinsel liflerin kullanıldığı çeşitli çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Rodriguez-Sandoval vd., 2017; Gül ve Şen, 2017; Romankiewicz vd., 2017). S lifi ile

Sm lifi kıyaslandığında, Sm lifinin %2 ve %4 ilave oranlarında S lifi içeren ekmeklere göre daha yüksek esneklik ve koheziflik değerlerine sahip ekmeklerin elde edilmesine olanak sağladığı belirlenmiştir. Kırılganlığın azalmasının göstergesi olan yüksek bir koheziflik değerinin, ekmek için istenen bir özellik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ekmeğe ait düşük esneklik değerlerinin elastisite kaybı ile, yüksek esneklik değerlerinin ise tazeliğe ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Özkaya vd., 2018).

Lifin partikül boyutundaki azalmaya bağlı olarak yüzey alanında meydana gelen büyük ölçüdeki artış nedeniyle kimyasal reaksiyonların çok daha kolay bir şekilde gerçekleşebileceği ve dolayısıyla ekmeğin fiziksel özelliklerinin olumsuz etkilenebileceği ifade edilmiştir. Lif mikronizasyonunun aynı zamanda öğütme esnasında hücrelerin alöron tabakasının parçalanması ile ilişkilendirilebileceği, bunun da enzimler, glutatyon ve fitatların serbest kalmasına neden olacağı ve kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak gluten oluşumuna zarar verebileceği bildirilmiştir (Chen vd., 2013; Kurek ve Wyrwisz, 2015).

4.3.4. Ekmek örneklerinin duyuşal değerdendirilmesi

Şeker pancarı lifi ilavesinin ekmeğin duyuşal özellikleri üzerine etkisi Çizelge 4.10'da verilmiştir. Kontrol ekmeğine kıyasla, lifle zenginleştirilmiş ekmeklere panelistler tarafından her bir parametre için daha düşük puanlar verilmiştir. Formülasyondaki lif oranının artması genellikle puanların düşmesine neden olmuştur ancak belirli ilave oranlarında (%2 ve %4) kontrol ekmeği ile lifli ekmekler arasında puanlar açısından istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif içeren ekmek örnekleri, esneklik bakımından S lifi içeren ekmeklere göre daha yüksek puanlar almıştır ve daha fazla tercih edilmiştir. Sm lifi içeren ekmekler koku, ağızda bıraktığı his, tat/aroma gibi parametreler bakımından bütün ilave oranlarında kontrol ekmeğine benzer sonuçlar vermişlerdir. Genel kabul edilebilirlik açısından bakıldığında, panelistlerin bütün ekmekleri kabul edilebilir olarak değerdendirdiği görülmektedir (ortalama puanlar 5'ten büyüktür). Farklı kaynaklardan (portakal, bezelye, kakao, kahve, buğday ve mikrokristalin selüloz) elde edilen besinsel liflerin ekmek üretiminde kullanıldığı bir çalışmada, ekmek örneklerinin duyuşal olarak değerdendirilmesi ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak panelistlerin lif içermeyen ekmekleri tercih ettiği, bununla birlikte kahve ve kakao lifleri ilavesi haricinde bütün ekmeklerin kabul

edilebilir olarak değerlendirildiği bildirilmiştir. Ayrıca, ortalama partikül boyutu 250 µm (buğday-L lifi) ve 35 µm (buğdağ-S lifi) olan iki buğday lifinin %2 ve %5 oranlarında kullanıldığı çalışmada, panelistlerin daha yüksek oranda buğday-S lifi içeren ekmekleri tercih ettikleri belirtilmiştir (Gomez vd., 2003). Ekmek üretiminde nar çekirdeği unu (%0, 5, 7.5 ve 10 oranlarında) kullanılan bir çalışmada, ekmek örneklere hacim, ekmek içi ve ekmek kabuğu rengi, ekmek içi görünüşü, çiğnenebilirlik, koku, tat/aroma ve satın alınabilirlik gibi parametreler bakımından değerlendirilmiştir. Nar ekirdeği unu ile zenginleştirilmiş ekmeklerin, ilave miktarı arttıķa kontrol ekmeğine göre önemli ölçüde düşük puanlar aldığı belirtilmiştir. Ekmek içi rengi, koku, tat/aroma ve satın alınabilirlik bakımından %5 oranında nar çekirdeği unu içeren ekmeklerin diğerlerine göre tercih edildiği bildirilmiştir (Gül ve şen, 2017).

Bu çalışmada, %4 oranında S lifi ve %2 oranında Sm lifi içeren ekmek örneklere, genel kabul edilebilirlik açısından kontrol ekmeğine benzer puanlar aldığı ve tüketici beğenilerini karşılayabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.10. Şeker pancarı besinsel lifi ilavesinin ekmeğin duyuşal özellikleri üzerine etkisi

	Koku	Kabuk Rengi	Ekmeş İçi Rengi	Ekmeş İçi Gözenek Yapısı	Esneklik	Pütürlülük	Tat/Aroma	Genel Kabul Edilebilirlik
K	8.00 ± 0.56 ^a	8.00 ± 0.53 ^c	8.79 ± 0.73 ^b	8.75 ± 0.50 ^b	8.33 ± 0.76 ^c	8.08 ± 1.12 ^a	8.13 ± 0.71 ^b	8.54 ± 0.43 ^d
S								
%2	7.50 ± 1.41 ^a	7.88 ± 0.83 ^c	7.75 ± 0.89 ^{ab}	8.13 ± 0.83 ^{ab}	7.38 ± 1.51 ^{bc}	7.88 ± 1.13 ^a	7.75 ± 1.16 ^{ab}	8.13 ± 0.83 ^{cd}
%4	6.63 ± 1.41 ^a	7.38 ± 0.92 ^{bc}	6.88 ± 1.64 ^{ab}	7.50 ± 1.51 ^{ab}	6.25 ± 1.58 ^{abc}	7.00 ± 1.41 ^a	6.63 ± 1.51 ^{ab}	6.75 ± 1.04 ^{abcd}
%6	6.25 ± 1.75 ^a	7.00 ± 1.07 ^{bc}	6.00 ± 1.31 ^a	6.38 ± 1.19 ^a	4.88 ± 1.55 ^a	6.38 ± 1.51 ^a	5.75 ± 1.58 ^a	5.75 ± 1.58 ^{ab}
%8	5.75 ± 1.39 ^a	4.88 ± 1.25 ^a	5.75 ± 2.12 ^a	6.38 ± 1.60 ^a	4.75 ± 1.16 ^a	6.13 ± 2.10 ^a	5.63 ± 1.92 ^a	5.50 ± 1.60 ^a
Sm								
%2	7.50 ± 1.69 ^a	7.75 ± 0.71 ^{bc}	7.38 ± 1.19 ^{ab}	7.63 ± 0.92 ^{ab}	8.00 ± 1.07 ^{bc}	7.38 ± 1.92 ^a	7.38 ± 1.41 ^{ab}	7.63 ± 1.41 ^{bcd}
%4	6.38 ± 1.19 ^a	6.38 ± 1.41 ^{abc}	6.25 ± 1.67 ^a	6.13 ± 0.99 ^a	6.00 ± 1.85 ^{abc}	6.63 ± 0.92 ^a	6.00 ± 1.20 ^{ab}	5.88 ± 1.25 ^{ab}
%6	6.13 ± 1.64 ^a	6.13 ± 0.83 ^{ab}	6.00 ± 1.31 ^a	6.50 ± 1.60 ^a	6.13 ± 1.55 ^{abc}	6.13 ± 1.96 ^a	6.00 ± 1.85 ^{ab}	6.13 ± 1.55 ^{abc}
%8	6.25 ± 1.58 ^a	6.50 ± 1.41 ^{abc}	6.25 ± 1.98 ^a	6.50 ± 2.07 ^a	5.88 ± 1.81 ^{ab}	5.88 ± 1.25 ^a	6.13 ± 1.25 ^{ab}	6.00 ± 1.41 ^{ab}

K: Kontrol

S: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmemiş lif örneği

Sm: Yüksek basınç homojenizatöründen geçirilmiş lif örneği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda, sağlık açısından sağladıkları olumlu etkilere bağlı olarak araştırmacılar ve endüstri tarafından besinsel liflere yönelik artan bir ilgi söz konusudur. Besinsel lifler, fizyolojik etkilerinin yanı sıra fonksiyonel ve teknolojik özellikleri nedeni ile de gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Gıda formülasyonlarında kullanımları tekstürün modifiye edilmesini, üretim ve depolama boyunca gıdanın stabilitesinde artışı sağlamaktadır. Ekmek, makarna, bisküvi vb. tahıl ürünlerinin çeşitli lif kaynakları ile zenginleştirilmesi bu ürünlerin fonksiyonel özelliklerini değiştirmektedir. Ancak, unlu mamullerde besinsel liflerin kullanımına ilişkin önemli bir sorun ekmek hacminin azalması, ekmek içi sertliğinin artması, ekmek kabuğunun koyu rengi ve bazen de lezzet üzerindeki etkilerine bağlı olarak tüketici kabul edilebilirliği açısından meydana getirdiği olumsuz etkidir. Dolayısıyla, besinsel lifin kalitesini geliştirmeye yönelik alternatif uygulamalar belirlemek amacıyla araştırmalar devam etmektedir. Çözünmez besinsel liflerin fizikokimyasal özelliklerini modifiye etmek için kullanılan farklı teknikler arasında mikronizasyon teknikleri muhtemelen en dikkate değer olanıdır. Mikronizasyon aracılığıyla çeşitli materyallerde partikül boyutunun indirgenmesi, materyalin yapısını, yüzey alanını ve fonksiyonel özelliklerini değiştirebilmektedir ve böylece tüketici albenisinden ödün vermeksizin çözünmez lif gıda materyalleri içine dahil edilebilmektedir.

Şeker üretim endüstrisinin yan ürünlerinden biri olan ve önemli düzeyde besinsel lif içeriğine sahip olan şeker pancarı posasından elde edilip yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilen şeker pancarı lifi, yaygın olarak tüketilen ekmek üretiminde kullanılarak hamur ve ekmek özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Farklı partikül büyüklüğüne sahip şeker pancarı lifinin ekmek ve diğer unlu mamullerde kullanıldığı çeşitli çalışmalarda genellikle bu lif örneklerinin geleneksel öğütme metotları sonucu elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada, şeker pancarı posasından üç farklı uygulama ile (suyla yıkama, etil alkol ile yıkama ve alkali ile muamele) ekstrakte edilen şeker pancarı lifi, fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilmiştir. Bu örnekler fizikokimyasal (nem, protein, yağ, kül, toplam, çözünmez ve çözünür besinsel lif içeriği, partikül iriliği, lif rengi ve SEM görüntüleri) ve fonksiyonel özellikleri (şişme kapasitesi, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi,

yoğunluk, viskozite) açısından değerlendirilmiş ve en iyi özelliklere sahip olduğu belirlenen suyla yıkanmış şeker pancarı lifi örneği ekmek üretiminde kullanılmıştır. Suyla yıkama yöntemi sonucu elde edilmiş olan şeker pancarı lifi örneklerinden; hem yüksek basınç homojenizasyonuna maruz bırakılmamış lif örnekleri (S), hem de yüksek basınç homojenizasyonu aracılığıyla mikronize edilmiş lif örnekleri (Sm) ayrı ayrı ekmek formülasyonunda kullanılarak hamur ve ekmek özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Ekmek formülasyonunda yer alan buğday ununu %2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında şeker pancarı lifi ile ikame etmek suretiyle ekmek örnekleri üretilmiştir. Üretilen hamur örnekleri tekstürel özellikleri (sertlik, yapışkanlık, adheziflik, koheziflik) açısından değerlendirilmiştir. Ekmek örneklerinin ise fizikokimyasal özellikleri (nem, ağırlık, hacim, spesifik hacim, ekmek içi ve ekmek kabuğu rengi), tekstürel özellikleri (sertlik, koheziflik, esneklik, çignenebilirlik) ile duyu özellikleri (koku, ekmek kabuğu rengi, ekmek içi rengi, ekmek içi gözenek yapısı, esneklik, pütürlülük-ağızda bıraktığı his, tat/aroma ve genel kabul edilebilirlik) belirlenmiş ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Şeker pancarı posası ve üç farklı yöntemle elde edilen şeker pancarı lifi örneklerinin kimyasal özellikleri değerlendirildiğinde, lifli materyallerin posaya göre daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu ve örneklere ait protein, kül ve yağ değerlerinin literatürle uyum içinde olduğu görülmüştür. Yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronize etme işlemi, suyla ve etanol ile muamele edilmiş örneklerin protein içeriğinin azalmasına neden olurken, alkali ile muamele edilmiş örneğin protein içeriğinde önemli bir değişim meydana getirmemiştir. Üç farklı uygulama sonucu elde edilen şeker pancarı lifi örneklerinin toplam besinsel lif içeriği posaya göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artarken ($P < 0.05$), mikronizasyon işleminin örneklerin toplam besinsel lif içeriğinde önemli bir değişime yol açmadığı belirlenmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonunun, suyla muamele edilmiş örneğin çözünmez besinsel lif içeriğinde azalma ve çözünür besinsel lif içeriğinde artışa neden olduğu, etanol ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin çözünmez ve çözünür besinsel lif miktarı üzerine önemli bir etki meydana getirmediği saptanmıştır.

Örneklerin partikül büyüklüğü dağılımları bakımından homojenizatörden geçiş sayısı arttıkça partikül büyüklüğünde azalma meydana geldiği tespit edilmiş ancak 5. ve 7. geçişler sonunda elde edilen örneklere ait eğrilerde çok fazla fark olmadığı gözlenmiştir. Yüksek basınç homojenizasyonu tüm örneklerde partikül büyüklüğünün

önemli ölçüde azalmasına, partiküllerin yüzey alanında ise artışa yol açmıştır. Yüksek basınç homojenizatöründe en etkin parçalanmanın suyla yıkanmış örnekte meydana geldiği, bunu sırasıyla alkali ile ve etanol ile muamele edilmiş örneklerin takip ettiği görülmüştür.

Şeker pancarı posası ve lif örneklerinin fonksiyonel özellikleri bakımından uygulanan üç yöntemin de örneklere ait şişme kapasitesi değerlerinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Suyla ve alkali ile muamele edilmiş örneklerin su tutma ve yağ tutma kapasiteleri posaya göre önemli ölçüde artarken etanol ile muamele edilmiş örneğe ait bu değerler posaya kıyasla azalmıştır. Yüksek basınç homojenizasyonu, tüm örneklere ait yoğunluk değerlerinde azalmaya neden olurken yağ tutma kapasitelerinde ise artış meydana getirmiştir.

Farklı oranlarda S ve Sm lifi ilave edilerek üretilen hamur örneklerinin reolojik ve tekstürel özellikleri (sertlik, yapışkanlık, adheziflik ve koheziflik) incelenmiştir. Lif ilavesi hamurun G' ve G'' değerlerinde artışa yol açmış, daha elastik ve katı benzeri bir materyalin elde edilmesine neden olmuştur. S lifi kullanılması durumunda lif ilavesi arttıkça hamur daha kuvvetli hale gelmiştir (Sm lifine göre daha yüksek G' değerleri). Lif ilavesi ile %2 ve %4 oranlarında hamurların sertlik değerlerinde önemli bir değişim meydana gelmezken, daha yüksek ilave oranları sertlik değerlerinde artışa yol açmıştır. Hamur örneklerine ait yapışkanlık ve adheziflik değerlerinde ise önemli bir değişim meydana gelmediği saptanmıştır.

Lif ilavesinin ekmeğin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkileri değerlendirildiğinde, mikronize edilmiş şeker pancarı lifi içeren ekmek örneklerinin tüm ilave oranlarında kontrol ekmeğine benzer nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Şeker pancarı lifi ilavesi, ekmek örneklerine ait hacim değerlerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemiş ($P < 0.05$), ilave edilen lif oranı arttıkça hacim değerleri de aşamalı olarak azalmıştır. Ekmek örneklerine ait renk parametreleri değerlendirildiğinde, lif ilavesinin ekmek içinin daha koyu bir renk almasına yol açtığı ve ilave edilen lif miktarı arttıkça ekmek içi parlaklığının giderek azaldığı gözlenmiştir. Ekmek içine ait sertlik, koheziflik, esneklik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel parametreler araştırılmıştır. Her iki lif grubunu içeren ekmek örneklerinin sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin, %2 ilave oranı hariç kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak, lif ilavesi ile

birlikte (%4 S lifi ve %4 Sm lifi ilavesi haricinde) ekmek örneklerinin koheziflik ve esneklik değerlerinde kontrol ekmeğine kıyasla istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir.

Şeker pancarı lifi ilavesinin ekmeğin duyuşal özellikleri üzerine etkisi bakımından formülasyondaki lif oranının artmasının genellikle değeriendirilen parametrelere ait puanların düşmesine neden olduğu ancak birçok ilave oranında kontrol ekmeği ile lifli ekmekler arasında puanlar açasından istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Mikronize edilmiş lif örneklerini içeren ekmekler koku, ağızda bıraktığı his, tat/aroma gibi parametreler bakımından bütün ilave oranlarında kontrol ekmeğine benzer sonuçlar vermişlerdir. Lif ilave edilmiş bütün ekmekler duyuşal değeriendirmede panelistler tarafından kabul edilebilir olarak değeriendirilmiştir.

Suyla yıkama yöntemi lif örneklerinin daha düşük maliyetle hazırlanmasına olanak sağlarken aynı zamanda kimyasal bir maddeye gerek kalmaksızın elde edilen lif örneklerinin ekmek üretiminde kullanımını mümkün kılmıştır. Yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronize edilen şeker pancarı lifi örneklerinin kullanılması sonucunda, özellikle belirli ilave oranlarında, daha parlak bir kabuğa aynı zamanda daha düşük sertlik ve daha yüksek esneklik değerlerine sahip, duyuşal özellikler açasından kabul edilebilir ekmekler elde edilmesi sağlanmıştır. Yüksek basınç homojenizasyonu ile mikronizasyon aracılığıyla besinsel liflerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilebileceği ve bu liflerin kullanımının ekmek vb ürünlerin kalite parametrelerini etkileyebileceği sonucuna varılmıştır. Mikronizasyon aracılığıyla fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş şeker pancarı lifinin çeşitli gıdalarda kullanımı ve lif ilavesinin bu gıdaların fizikokimyasal özellikleri üzerine etkileri değeriendirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- AACC (1990). American Association of Cereal Chemists: Approved Methods of the AACC, 8th ed., The Association: St. Paul, MN.
- AACC Report (2001). The definition of dietary fibre. *Cereal Foods World*. **46:3**, 112-126.
- Abdul-Hamid, A., Luan, Y.S. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chem.* **68:1**, 15-19.
- Ahmad, S., Zubair, M., Iqbal, N., Cheema, N.M., Mahmood, K. (2012). Evaluation of sugar beet hybrid varieties under Thul-Kumbi soil series of Pakistan. *Int. J. Agric. Biol.* **14**, 605-608.
- Ahmed, J., Almusallam, A.S., Al-Salman, F., AbdulRahman, M.H., Al-Salem, E. (2013). Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough. *Food Sci. Technol.* **51**, 409-416.
- Almeida, E.L., Chang, Y.K., Steel, C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *Food Sci. Technol.* **50**, 545-553.
- Anonim (2012). Türk Gıda Kodeksi. Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği (2012/2). Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 4 Ocak 2012 tarih ve 28163 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonymous (2012). Sugar beet fibre: physiological effects and clinical studies, Nordic Sugar, Sweden.
- AOAC (1997). Association of Official Analytical Chemists. Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed.; AOAC: Washington, DC.
- Armero, E., Collar, C. (1997). Texture properties of formulated wheat doughs. Relationships with dough and bread technological quality, *Z Lebensm. Unters Forsch A*. **20**, 136-145.
- Aspinall, G.O. (1970). *Polysaccharides*. Pergamon Press, Oxford, 244 p.
- Auffret, A., Barry, J.L., Thibault, J.F. (1993). Effect of chemical treatments of sugar beet fibre on their physicochemical properties and on their in vitro fermentation. *J. Sci. Food Agric.* **61:2**, 195-203.
- Auffret, A., Ralet, M.C., Guillon, F., Barry, J.L., Thibault, J.F. (1994). Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibres. *Lebensm. Wiss Technol.* **27**, 166-172.
- Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Ind. Crops Prod.* **30**, 40-47.
- Beck, S., Bouchard, J., Berry, R. (2012). Dispersibility in water of dried nanocrystalline cellulose. *Biomacromolecules*. **13**, 1486-1494.
- Bertin, C., Rouau, X., Thibault, J.F. (1988). Structure and properties of sugar beet fibres. *J. Sci. Food Agric.* **44**, 15-29.

- Bogdanovic B., Seres Z., Gyura J. (2013). The influence of the extraction parameters on the quality of dried sugar beet pulp. *Hem Ind.* **67**, 269-275.
- Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., Saulnier, L. (2010). Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *J. Cereal Sci.* **52:2**, 200-206.
- Broseghini, M., Gelisio, L., D’Incau, M., Ricardo, C.L.A., Pugno, N.M., Scardi, P. (2015). Modeling of the planetary ball milling process: The case study of ceramic powders. *J. Eur. Ceram. Soc.* **36:9**, 2205-2212.
- Cadden, A. (1987). Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J. Food Sci.* **52:6**, 1595-1599.
- Cappa, C., Lucisano, M., Mariotti, M. (2013). Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydr. Polym.* **98**, 1657-1666.
- Castiglia-Delavaudi, C., Verdier, E., Besle, J.M., Vernet, J., Boirie, Y., Beaufre, B. (1998). Net energy value of non-starch polysaccharide isolates (sugar beet fibre and commercial inulin) and their impact on nutrient digestive utilization in healthy human subjects. *Br. J. Nutr.* **80**, 343-352.
- Chau, C.F., Wang, Y.T., Wen, Y.L. (2007). Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre. *Food Chem.* **100**, 1402-1408.
- Chen, J., Gao, D., Yang, L., Gao, Y. (2013). Effect of microfluidization process on the functional properties of insoluble dietary fiber. *Food Res. Int.* **54**, 1821-1827.
- Chen, T., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, Z. (2018). Micronization and nanosizing of particles for an enhanced quality of food: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **58:6**, 993-1001.
- Chen, W., Li, Q., Wang, Y., Yi, X., Zeng, J., Yu, H., Liu, Y., Li, J. (2014). Comparative study of aerogels obtained from differently prepared nanocellulose fibers. *Chem Sus Chem.* **7**, 154-161.
- Cherbut, C., Salvador, V., Barry, J.L., Doulay, F., Delort-Laval, J. (1991). Dietary fibre effects on intestinal transit in man: involvement of their physicochemical and fermentative properties. *Food Hydrocoll.* **5**, 15-22.
- Christensen, E.H. (1989). Characteristics of sugar beet fibre allow many food uses. *Cereal Foods World.* **34:7**, 541-544.
- Clarke, A., Prescott, T., Khan, A., Olabi, A.G. (2010). Causes of breakage and disruption in a homogenizer. *Appl. Energy.* **87**, 3680-3690.
- Codex (2009). Report on the 30th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. ALINORM 09/32/26, Appendix II (p.46), Rome: Codex Alimentarius Commission.
- Cortes-Munoz, M., Chevalier-Lucia, D., Dumay, E. (2009). Characteristics of submicron emulsions prepared by ultra-high-pressure homogenization: effect of chilled or frozen storage. *Food Hydrocoll.* **23**, 640-654.

- DeVries, J.W. (2003). On defining dietary fibre. *Proc. Nutr. Soc.* **62:1**, 37-43.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R.T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *J. Food Sci. Technol.* **49:3**, 255-266.
- Dickinson, E., Stainsby, G. (1988). Emulsion stability. (pp: 1-44). In: Dickinson, E., Stainsby, G. (eds), *Advances in Food Emulsions and Foams*, Elsevier Applied Sciences, London, Chapter 1.
- Diels, A.M.J., Michiels, C.W. (2006). High pressure homogenization as a non-thermal technique for the inactivation of microorganisms. *Crit. Rev. Microbiol.* **32**, 201-216.
- Dikeman, C.L., Fahey G.C. (2006). Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **46**, 649-663.
- Djokic, M., Kachrimanis, K., Solomun, L., Djuris, J., Vasiljevic, D., Ibric, S. (2014). A study of jet milling and spray drying process for the physicochemical and aerodynamic dispersion properties of amiloride HCl. *Powder Technol.* **262**, 170-176.
- Djordjevic, M., Soronja-Simovic, D., Nikolic, I., Dokic, L., Djordjevic, M., Seres, Z., Saranovic, Z. (2018). Rheology and breadmaking performance of gluten-free formulations affected by different levels of sugar beet fibre, hydroxypropylmethylcellulose and water. *Int. J. Food Sci. Technol.* **53**, 1832-1837.
- Doherty, W.O.S., Mousavioun, P., Fellows, C.M. (2011). Value-adding to cellulosic ethanol: lignin polymers. *Ind. Crop Prod.* **33**, 259-276.
- Doner, L.W., Chau, H.K., Fishman, M.L., Hicks, K.B. (1998). An improved process for the isolation of corn fiber gum. *Cereal Chem.* **75:4**, 408-411.
- Dreher, M. (1999). Food sources and uses of dietary fiber. (pp: 327-371). In: Cho, S.S., Prosky, L., Dreher M. (eds), *Complex Carbohydrates in Foods*, CRC Press, New York.
- Dumay, E., Chevalier-Lucia, D., Picart-Palmade, L., Banzaria, A., Gracia-Julia, A., Blayo, C. (2013). Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenization. *Trends Food. Sci. Technol.* **31**, 13-26.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chem.* **124**, 411-421.
- Englyst, H.N., Kingman, S.M., Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* **46**, 33-50.
- Espejo G.G.A., Hernandez-Herrero M.M., Juan B., Trujillo A.J. (2014). Inactivation of *Bacillus* spores inoculated in milk by ultra-high-pressure homogenization. *Food Microbiol.* **44**, 204-210.

- FDA (2008). *Health claims: Fiber containing grain products, fruits and vegetables and cancer*. In Code of Federal Regulations; Food and Drug Administration: Silver Spring, MD, USA, Volume 2.
- Felli R., Yang T.A., Abdullah W.N.W., Zzaman W. (2018). Effects of incorporation of jackfruit rind powder on chemical and functional properties of bread. *Trop. Life Sci. Res.* **29:1**, 113-126.
- Fendri, L.B., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Chaaboni, S.E., Ghribi-Aydi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pod fibers: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Sci. Technol.* **73**, 584-591.
- Ferguson, L.R., Chavan, R.R., Harris, P.J. (2001). Changing concepts of dietary fiber: implications for carcinogenesis. *Nutr. Cancer.* **30**, 155-169.
- Filipovic, N., Djuric, M., Gyura, J. (2007). The effect of the type and quantity of sugar-beet fibers on bread characteristics. *J. Food Eng.* **78**, 1047-1053.
- Filipovic, N.K., Gyura, J.F., Filipovic, J.S. (2004). Influence of additive from sugar beet on white bread quality. *APTEFF.* **35**, 25-29.
- Floury J., Desrumaux A., Axelos M., Legrand J. (2002). Degradation of methylcellulose during ultra-high-pressure homogenization. *Food Hydrocoll.* **16:1**, 47-53.
- Frost, J., Hegedus, E.F., Glicksman, M. (1984). Objective characterization of hydrocolloid organoleptic properties, *Food Technol.* **38**, 118-122.
- Fu, J.T., Chang, Y.H., Shiau, S.Y. (2015). Rheological, antioxidative and sensory properties of dough and Mantou (steamed bread) enriched with lemon fiber. *Food Sci. Technol.* **61**, 56-62.
- Fung, W.Y., Yuen, K.H., Liong, M.T. (2010). Characterization of fibrous residues from agrowastes and the production of nanofibers. *J. Agric. Food Chem.* **58**, 8077-8084.
- Giacosa, A., Sukkar, S.G., Frascio, F., Ferro, M. (1990). Sugar beet fibre: A clinical study in constipated patients. Dietary fibre-chemical and biological aspects. *Royal Society of Chemistry.* **83**, 355-361.
- Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., Caballero, P.A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *Food Sci. Technol.* **43**, 33-38.
- Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, P.A., Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *Eur. Food Res. Technol.* **216**, 51-56.
- Gupta, P., Premavalli, K.S. (2010). Effect of particle size reduction on physicochemical properties of ashguard (*Benincasa hispida*) and radish (*Raphanus sativus*) fibres. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **61:1**, 18-28.
- Gül, H., Şen, H. (2017). Effects of pomegranate seed flour on dough rheology and bread quality. *CYTA-J Food.* **15:4**, 622-628.
- Gyura, J., Seres, Z., Sakac, M., Misan, A. (2009). Physicochemical characteristics of filler additives from sugar beet for application in the production of bread and cookies. *Sugar Ind.* **134**, 593-600.

- Gyura, J., Seres, Z., Sakac, M., Pajin, B., Soronja Simovic, D., Jokic, A. (2010). Production of dietary fiber from sugar beet crops for application in food industry. (pp: 43-83). In: Hertsburg, C.T. (ed), *Sugar Beet Crops: Growth, Fertilization and Yield*, Nova Science Publishers, UK.
- Hagander, B., Holm, J., Asp, N.G., Efendic, S., Lundquist, I., Nilsson-Ehle, P., Schersten, B. (1988). Dietary fibre decreases fasting blood glucose levels and plasma LDL concentration in non-insulin-dependent diabetes mellitus patients. *Am. J. Clin. Nutr.* **47**, 852-858.
- He, H., Hosoney, R. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chem.* **67:6**, 603-605.
- Hu, J.L., Nie, S.P., Xie, M.Y. (2013). High pressure homogenization increases antioxidant capacity and short-chain fatty acid yield of polysaccharide from seeds of *Plantago asiatica* L. *Food Chem.* **138**, 2338-2345.
- Hu, R., Zhang, M., Adhikari, B., Liu, Y. (2015). Effect of homogenization and ultrasonication on the physical properties of insoluble wheat bran fibres. *Int. Agrophys.* **29**, 423-432.
- Huang, C.C., Chen, Y.F., Wang, C.C.R. (2010). Effects of micronization on the physicochemical properties of peels of three roots and tuber crops. *J. Sci. Food Agric.* **90**, 759-763.
- Huang, S., He, Y., Zou, Y., Liu, Z. (2015). Modification of insoluble dietary fibres in soy bean okara and their physicochemical properties. *Int. J. Food Sci. Technol.* **50**, 2606-2613.
- Huang, Y.L., Sheu, F., Lee, M.H., Chau, C.F. (2008a). Effects of particle size reduction of insoluble fibres by micron technology on various caecal and faecal indices. *J. Sci. Food Agric.* **88:3**, 435-441.
- Ishwarya, S.P., Desai, K.M., Naladala, S., Anandharamakrishnan, C. (2017). Bran-induced effects on the evolution of bubbles and rheological properties in bread dough. *J. Texture Stud.* **48**, 415-426.
- Israelsson, B., Järnblad, G., Persson, K. (1993). Serum cholesterol reduced with Fibrex, a sugar beet fibre preparation. *Scand J. Nutr. /Neringsforskning.* **37**, 146-149.
- Jacquet N., Vanderghem C., Danthine S., Blecker C., Paquot M. (2013). Influence of homogenization treatment on physicochemical properties and enzymatic hydrolysis rate of pure cellulose fibers. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **169**, 1315-1328.
- Javidipour, I., Vural, H., Özboy-Özbaş, Ö., Tekin, A. (2005). Effects of interesterified vegetable oils and sugar beet fiber on the quality of Turkish-type salami. *Int. J. Food Sci. Technol.* **40**, 177-185.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D.V., Meta, G.L., Albert, K.G.M.M. (1978). Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br. Med. J.* **1**, 1392-1394.
- Kay, R.M. (1982). Dietary fibre. *J. Lipid Res.* **23**, 221-242.

- Kivelä, R., Pitkänen, L., Laine, P., Aseyev, V., Sontag-Strohm, T. (2010). Influence of homogenization on the solution properties of oat β -glucan. *Food Hydrocoll.* **24**, 611-618.
- Knuckles, B.E., Chiu, M.M., Betschart, A.A. (1992). Beta-glucan enriched fractions from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. *Cereal Chem.* **69**, 198-202.
- Kritchevsky, D. (2001). Dietary fibre in health and disease. (pp: 149-161). In: McLeary, B.V., Prosky, L. (eds), *Advanced Dietary Fibre Technology*, Blackwell Science, Oxford UK.
- Ktenioudaki A., Gallagher E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends Food Sci. Technol.* **28**, 4-14.
- Ktenioudaki, A., O'Shea, N., Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *J. Food Eng.* **116**, 362-368.
- Kuan, Y.H., Liong, M.T. (2008). Chemical and physicochemical characterization of agrowaste fibrous materials and residues. *J. Agric. Food Chem.* **56**, 9252-9257.
- Kurek, M., Wyrwicz, J. (2015). The application of dietary fiber in bread products. *J. Food Process. Technol.* **6:5**, 447-450.
- Kurek, M., Wyrwicz, J., Piwinska, M., Wierzbicka, A. (2016). The effect of oat fibre powder particle size on the physical properties of wheat bread rolls. *Food Technol. Biotechnol.* **54:1**, 45-51.
- Lai, C.S., Hosney, R.C., Davis, A.B. (1989a). Effects of wheat bran in breadmaking. *Cereal Chem.* **66:3**, 217-219.
- Langkilde, A.M., Andersson, H., Bosaeus, I. (1993). Sugar beet fibre increases cholesterol and reduces bile acid excretion from the small bowel. *Br. J. Nutr.* **70**, 757-766.
- Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends Food. Sci. Technol.* **10**, 3-8.
- Lattimer, J.M., Haub, M.D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients.* **2**, 1266-1289.
- Leleux, J., Williams, R.O. (2014). Recent advancements in mechanical reduction methods: particulate systems. *Drug Dev. Ind. Pharm.* **40:3**, 289-300.
- Liu, Y., Wang, L., Liu, F., Pan, S. (2016). Effect of grinding methods on structural, physicochemical and functional properties of insoluble dietary fiber from orange peel. *Int. J. Polym. Sci.* 1-7.
- Lopes M.T., Mota M.J., Gomes A.M., Delgadillo I., Saraiva J.A. (2018). Application of high pressure with homogenization, temperature, carbon dioxide, and cold plasma for the inactivation of bacterial spores: A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **17**, 532-555.

- Lopez-Sanchez, P., Nijse, J., Blonk, H.C.G., Bialek, L., Schumm, S., Langton, M. (2011). Effect of mechanical and thermal treatments on the microstructure and rheological properties of carrot, broccoli and tomato dispersions. *J. Sci. Food Agric.* **91**, 207-217.
- Luo, X., Wang, Q., Fang, D., Zhuang, W., Chen, C., Jiang, W., Zheng, Y. (2018). Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties. *Int. J. Biol. Macromol.* **120**, 1461-1467.
- Ma, M., Mu, T. (2016). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chem.* **194**, 237-246.
- Macagnan, F.T., da Silva, L.P., Hecktheuer, L.H. (2016). Dietary fibre: the scientific search for an ideal definition and methodology of analysis, and its physiological importance as a carrier of bioactive compounds. *Food Res. Int.* **85**, 144-154.
- Maindarkar, S., Dubbelboer, A., Meuldijk, J., Hoogland, H., Henson, M. (2014). Prediction of emulsion drop size distributions in colloid mills. *Chem. Eng. Sci.* **118**, 114-125.
- Martinez-Montegudo, S.I., Yan, B., Balasubramaniam, V.M. (2017). Engineering process characterization of high-pressure homogenization - from laboratory to industrial scale. *Food Eng. Rev.* **9**, 143-169.
- McCarty, M.C. (2005). Nutraceutical resources for diabetes prevention-an update. *Med. Hypotheses.* **64**, 151-158.
- Mccrae, C.H. (1994). Homogenization of milk emulsions-use of microfluidizer. *J. Soc. Dairy Technol.* **41:1**, 28-31.
- Meyer, K.A., Kushi, L.H., Jacobs, D.R., Slavin, J., Sellers, T.A., Folsom, A.R. (2000). Carbohydrates, dietary fiber and incident type 2 diabetes in older women. *Am. J. Clin. Nutr.* **71**, 921-930.
- Michel, F., Thibault, J.F., Barry J.L. (1988). Preparation and characterization of dietary fibre from sugar beet pulp. *J. Sci. Food Agric.* **4**, 77-85.
- Midoux, N., Hosek, P., Pailleres, L., Authelin, J.R. (1999). Micronization of pharmaceutical substances in a spiral jet mill. *Powder Technol.* **104:2**, 113-120.
- Misan, A., Sakac, M., Medic, D., Tadic, V., Markovic, G., Gyura, J., Pagano, E., Izzo, A.A., Borelli, F., Saric, B., Milovanovic, I., Milic, N. (2016). Antioxidant and physicochemical properties of hydrogen peroxide-treated sugar beet dietary fibre. *Phytother. Res.* **30**, 855-860.
- Mudgil, D., Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* **61**, 1-6.

- Nomura, A.M., Hankin, J.H., Henderson, B.E., Wilkens, L.R., Murphy, S.P., Pike, M.C., Le Marchand, L., Stram, D.O., Monroe, K.R., Kolonel, L.N. (2007). Dietary fiber and colorectal cancer risk: The multiethnic cohort study. *Cancer Causes Control*. **18**, 753-764.
- Noort, M.W.J, van Haster, D., Hemery, Y., Schols, H.A., Hamer, R.J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality- Evidence for fibre-protein interactions. *J. Cereal Sci.* **52**, 59-64.
- Ozyurt, V.H., Ötles, S. (2016). Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* **15:3**, 233-245.
- Özboy Ö, Köksel H. (1999). Utilization of sugar beet fiber in the production of high fiber bread. *Zuckerindustrie*. **124**, 712-715.
- Özboy, Ö., Şahbaz, F., Köksel, H. (1998). Chemical and physical characterization of sugar beet fibre. *Acta Aliment.* **27**, 137-138.
- Özkaya, B., Baumgartner, B., Özkaya, H. (2018). Effects of concentrated and dephytinized wheat bran and rice bran addition on bread properties. *J. Texture Stud.* **49**, 84-93.
- Öztürk S., Özboy Özbaş Ö., Cavidoğlu I., Köksel S. (2008). Utilization of sugar beet fiber and zero-trans interesterified and non-interesterified shortenings in cookie production. *Zuckerindustrie*. **133**, 704-709.
- Pandolf, W.D. (1998). High pressure homogenization: Latest technology expands performance and product possibilities. *Chem. Process.* **61**, 39-43.
- Paquin, P. (1999). Technological properties of high-pressure homogenizers: The effect of fat globules, milk proteins and polysaccharides. *Int. Dairy J.* **9**, 329-335.
- Park, Y., Brinton, L.A., Subar, A.F., Hollenbeck, A., Schatzkin, A. (2009). Dietary fiber intake and risk of breast cancer in postmenopausal women: The National Institutes of Health-AARP Diet and Health Study. *Am. J. Clin. Nutr.* **90**, 664-671.
- Pasha, I., Chungtai, M.F.J., Akhter, S., Sameen, A., Manzoor, M.S. (2016). Biochemical characterisation and dietary fibre analysis of sugar beet supplemented cookies. *Pak. J. Sci. Ind. Res.* **59**, 139-145.
- Pavlovich-Abril, A., Rouzaud-Sandez, O., Romero-Baranzini, A.L., Vidal-Quintanar, R.L. (2015). Relationships between chemical composition and quality-related characteristics in bread making with wheat flour-fine bran blends. *J. Food Qual.* **38:1**, 30-39.
- Peng, Y., Gardner, D.J., Han, Y. (2011). Drying cellulose nanofibrils: in search of a suitable method. *Cellulose*. **19**, 91-102.
- Pereira, M.A., O'Reilly, E., Augustsson, K., Fraser, G.E., Goldbourt, U., Heitmann, B.L., Halsmann, G., Knekt, P., Liu, S.M., Pietinen, P., Spiegelman, D., Stevens, J., Virtamo, J., Willett, W.C., Ascherio, A. (2004). Dietary fiber and risk of coronary heart disease- A pooled analysis of cohort studies. *Arch. Intern. Med.* **164**, 370-376.

- Peressini, D., Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *J. Cereal Sci.* **49**, 190-201.
- Rabetafika, H.N., Bchir, B., Aguedo, M., Paquot, M., Blecker, C. (2014). Effects of processing on the compositions and physicochemical properties of fibre concentrate from cooked fruit pomaces. *Food Bioproc. Tech.* **7**, 749-760.
- Raghavendra, S.N., Swamy, R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S., Tharanathan, R.N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *J. Food Eng.* **72**, 281-286.
- Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suarez, M.J., Goni, I. (2015) Healthy dietary fibers from plant food by-products. (pp: 26-49). In: Hui Y.H., Evranuz E.Ö. (eds), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, CRC Press, USA.
- Renard, C.M.G.C., Crepeau, M.J., Thibault, J.F. (1994). Influence of ionic strength, pH and dielectric constant on hydration properties of native and modified fibre from sugar beet and wheat bran. *Ind. Crops Prod.* **3**, 75-84.
- Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **33**, 103-148.
- Rodriguez-Sandoval, E., Polania-Gaviria, L.Y., Lorenzo, G. (2017). Effect of dried cassava bagasse on the baking properties of composite wheat bread. *J. Texture Stud.* **48**, 76-84.
- Romankiewicz, D., Hassoon, W.H., Cacak-Pietrzak, G., Sobczyk, M., Wirkowska-Wojdyla, M., Ceglinska, A., Dziki, D. (2017). The effect of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) addition on quality and nutritional value of wheat bread. *J. Food Qual.* 1-7.
- Rosell C.M., Santos E., Collar C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Res. Int.* **42**, 176-184.
- Rosell, C., Santos, E., Collar, C. (2010). Physical characterization of fiber enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab. *Eur. Food Res. Technol.* **231**, 535-544.
- Rubel, I.A., Perez, E.E., Manrique, G.D., Genovese, D.B. (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Struct.* **3**, 21-29.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R. (2006). Resistant starch-a review, *Compr. Rev. Food. Sci. F.* **5:1**, 1-17.
- Sakac M.B., Gyura J.F., Misan A.C, Seres Z.I., Pajin B.S., Soronja-Simovic D.M. (2011). Antioxidant activity of cookies supplemented with sugar beet dietary fiber. *Sugar Ind.* **136**, 151-158.
- Sangeethapriya, M., Siddhuraju, P. (2014). Health related functional characteristics and antioxidant potential of mucilage (dietary fiber) from *Zizyphus mauritiana* fruit. *Fruit Sci. Hum. Welln.* **3**, 79-88.

- Sangsuansri, P., Augustin, M.A. (2006). Nanoscale materials development- a food industry perspective. *Trends Food Sci. Technol.* **17:10**, 547-556.
- Schatkinz, A., Park, Y., Leitzmann, M.F., Hollenbeck, A.R., Cross, A.J. (2008). Prospective study of dietary fiber, whole grain foods and small intestinal cancer. *Gastroenterology.* **135**, 1163-1167.
- Schubert, W.J. (1965). *Lignin Biochemistry*. Academic Press, New York, 131 p.
- Seres, Z., Gyura, J., Filipovic, N., Soronja-Simovic, D. (2005). Application of decolorization on sugar beet pulp in bread production. *Eur. Food Res. Technol.* **221**, 54-60.
- Sharma, M., Kadam, D.M., Chadha, S., Wilson, R.A., Gupta, R.K. (2013). Influence of particle size on physical and sensory attributes of mango pulp powder. *Int. Agrophys.* **27**, 323-328.
- Siro I., Plackett D. (2012). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose.* **17**, 459-494.
- Skrbic, B., Duriic-Mladenovic, N., Macvanin, N. (2010). Determination of metal contents in sugar beet (*Beta vulgaris*) and its products: empirical and chemometrical approach. *Food Sci. Technol. Res.* **16**, 123-134.
- Slavin, J.L. (1987). Dietary fiber: classification, chemical analysis, and food sources, *J. Am. Diet. Assoc.* **87:9**, 1164-1171.
- Soronja-Simovic, D., Maravic, N., Seres, Z., Misan, A., Pajin, B., Jevric, L.R., Podunavac-Kuzmanovic, S.O., Kovacevic, S.Z. (2017). Antioxidant capacity of cookies with non-modified and modified sugar beet fibers: chemometric and statistical analysis. *Eur. Food Res. Technol.* **243**, 239-246.
- Soronja-Simovic, D., Seres, Z., Maravic, N., Djordjevic, M., Djordjevic, M., Lukovic, J., Tepic, A. (2016a). Enhancement of physicochemical properties of sugar beet fibres affected by chemical modification and vacuum drying. *Food Bioprod. Process.* **100**, 432-439.
- Soronja-Simovic, D., Smole-Mozina, S., Raspor, P., Maravic, N.R., Zahorec, J.J., Luskar, L., Seres, Z. (2016b). Carob flour and sugar beet fiber as functional additives in bread. *APTEFF.* **47**, 83-93.
- Streppel, M.T., Ocke, M.C., Boshuizen, H.C., Kok, F.J., Kromhout, D. (2008). Dietary fiber intake in relation to coronary heart disease and all-cause mortality over 40 y: The Zutphen Study. *Am. J. Clin. Nutr.* **88**, 1119-1125.
- Sudha, M.L., Baskaran, V., Leelavathi, K. (2007b). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chem.* **100**, 1365-1370.
- Sun-Waterhouse, D., Farr, J., Wibisono, R., Saleh, Z. (2008). Fruit-based functional foods I: production of food-grade apple fibre ingredient. *Int. J. Food Sci. Technol.* **43**, 2113-2122.
- Thebaudin, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M., Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends Food. Sci. Technol.* **8**, 41-48.

- Thibault, J., Renard, C., Guillon, F. (2001). Sugar beet fiber: production, composition, physicochemical properties, physiological effects, safety, and food applications. (pp: 553-582). In: Cho, S., Dreher, M. (eds), *Handbook of Dietary Fiber*, Marcel Dekker, New York, USA.
- Thibault, J.F., Lahaye, M., Guillon, F. (1992). Physicochemical properties of food plant cell walls. (pp: 21-56). In: Schweizer T.F., Edwards C.A. (eds), *Dietary Fibre, A Component of Food. Nutritional Function in Health and Disease*, Springer-verlag, Berlin.
- Thibault, J.F., Renard, C.M.G.C., Guillon, F. (1994). Physical and chemical analysis of dietary fibres in sugar beet and vegetables. (pp: 23-55). In: Linkens, H.F., Jacksons, J.F. (eds), *Modern Methods of Plant Analysis 16*, Springer-Verlag, Berlin.
- Tjebbes, J. (1988). Utilization of fiber and other non-sugar products from sugar beet. (pp: 139-145). In: Clarke, M.A., Godshall, M.A. (eds), *Chemistry and Processing of Sugarbeet and Sugarcane*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Tucker, L.A., Thomas, K.S. (2009). Increasing total fiber intake reduces risk of weight and fat gains in women. *J. Nutr.* **139**, 576-581.
- Ulbrich, M., Flöter, E. (2014). Impact of high-pressure homogenization modification of a cellulose based fiber product on water binding properties. *Food Hydrocoll.* **41**, 281-289.
- Upadhyay, R., Ghosal, D., Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *J. Food Eng.* **109**, 104-113.
- Uthayakumar, S., Newberry, M., Phan-Thien, N., Tanner, R. (2002). Small and large strain rheology of wheat gluten. *Rheol. Acta.* **41:1-2**, 162-172.
- Villemenaje, C., Roussel, P., Berland, S., Aymard, P., Michon, C. (2013). Technological and sensory tools to characterize the consistency and performance of fibre-enriched biscuit doughs. *J. Cereal Sci.* **57**, 551-559.
- Vulic, J., Canadanovic-Brunet, J., Cetkovic, G., Tumbas, V., Djilas, S., Cetojevic-Simin, D., Canadanovic, V. (2012). Antioxidant and cell growth activities of beet root pomace extracts. *J. Funct. Foods.* **4**, 670-678.
- Wanders, A.J., Feskens, E.J.M., Jonathan, M.C., Schols, H.A., Graaf, C., Mars, M. (2014). Pectin is not pectin: A randomized trial on the effect of different physicochemical properties of dietary fiber on appetite and energy intake. *Physiol. Behav.* **128**, 212-219.
- Wang, J., Rosell, J.M., Barber, C.B. (2002). Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality. *Food Chem.* **79**, 221-226.
- Wang, M., Hamer, R.J., van Vliet, T., Gruppen, H., Marseill, H., Weegels, P.L. (2003). Effects of water unextractable solids on gluten formation and properties: Mechanistic considerations. *J. Cereal Sci.* **37:1**, 55-64.
- Wang, T., Sun, X., Zhou, Z., Chen, G. (2012). Effects of microfluidization process on physicochemical properties of wheat bran. *Food Res. Int.* **48**, 742-747.

- Wang, T., Zhu, Y., Sun, X., Raddatz, J., Zhou, Z., Chen, G. (2014). Effect of microfluidization on antioxidant properties of corn bran. *Food Chem.* **152**, 37-45.
- Westerbrink, S., Brunt, K., van der Kamp, J.W. (2013). Dietary fibre: challenges in production and use of food composition data. *Food Chem.* **140**, 562-567.
- Wu M.Y., Shiao S.Y. (2015). Effect of the amount and particle size of pineapple peel fiber on dough rheology and steamed bread quality. *J. Food Process. Pres.* **39**, 549-558.
- Xie, F., Zhao, T., Wan, H., Li, M., Sun, L., Wang, Z., Zhang, S. (2019). Structural and physicochemical characteristics of rice bran dietary fiber by cellulase and high-pressure homogenization. *Appl. Sci.* **9:7**, 1270-1270.
- Ye, F., Tao, B., Liu, J., Zou, Y., Zhao, G. (2016). Effect of micronization on the physicochemical properties of insoluble dietary fiber from citrus (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) pomace. *Food Sci. Technol. Int.* **22:3**, 246-255.
- Zhang, H., Wang, H., Cao, X., Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fibre flour: A review. *Food Res. Int.* **113**, 24-35.
- Zhang, Z.M., Zhao, S.M., Xiong, S.B. (2010). Morphology and physicochemical properties of mechanically activated rice starch. *Carbohydr. Polym.* **79:2**, 341-348.
- Zhao, X., Yang, Z., Gai, G., Yang, Y. (2009). Effect of superfine grinding on properties of ginger powder. *J. Food Eng.* **91**, 217-222.
- Zheng, Y., Li, Y. (2018). Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibers: Effect of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chem.* **257**, 135-142.
- Zhu, F., Du, B., Li, R., Li, J. (2014). Effect of micronization technology on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from buckwheat hulls. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* **3:3**, 30-34.
- Zhu, F., Du, B., Xu, B. (2015). Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fibre from Qingke (hull-less barley) grown in Qinghai-Tibet Plateau, China. *J. Cereal Sci.* **65**, 43-47.
- Zhu, K., Huang, S., Peng, W., Qian, H., Zhou, H. (2010). Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber. *Food Res. Int.* **43:4**, 943-948.

7. EKLER

EK 1. Duyusal Analiz Formu

Adı-Soyadı:

Tarih:

Örnek	Koku	Kabuk Rengi	Ekmek İçi Rengi	Ekmek İçi Gözenek Yapısı	Esneklik	Pütürlülük	Tat/Aroma	Genel Kabul Edilebilirlik
125								
287								
362								
473								
529								
693								
752								
897								
941								

Örnekler 1 ile 10 arasında puan verilerek değerlendirilecektir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayla HANÇER

Doğum Yeri ve Tarihi: Gürün/SİVAS, 23.07.1982

Adres: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Gürün Meslek Yüksekokulu Gürün/SİVAS

E-Posta: ayla_hancer@hotmail.com

aylahancer@cumhuriyet.edu.tr

Lisans: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü (2004)

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı (2010)

Doktora: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı (2020)

Yayın Listesi:

- Özboy-Özbaş, Ö., **Hançer, A.**, Gökbulut, I. (2010). Utilization of Sugarbeet Fiber and Brewer's Spent Grain in the Production of Tarhana. *Zuckerindustrie*. 135, 496-501.
- Özboy-Özbaş, Ö., **Hançer, A.**, Gökbulut, I. (2014). Utilization of Bulgur By-Products in the Production of Tarhana. *Academic Journal of Science*. 03:02, 207-215.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Hançer, A.**, Karabulut, İ. (2019). Şeker Pancarı Besinsel Lifinin Fonksiyonel Özellikleri Üzerine Farklı Ekstraksiyon Uygulamaları ve Mikronizasyonun Etkileri. *GIDA*. 44:3, 498-512.