

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

HAMUR REOLOJİSİ KARAKTERİZASYONUNDA
KULLANILABİLECEK YENİ BİR ANALİZ YÖNTEMİ:
TOZ AKIŞ ÖLÇÜM CİHAZI (PFT)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve YAŞASIN

İstanbul
Mart, 2020

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

HAMUR REOLOJİSİ KARAKTERİZASYONUNDA
KULLANILABİLECEK YENİ BİR ANALİZ YÖNTEMİ: TOZ
AKIŞ ÖLÇÜM CİHAZI (PFT)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve YAŞASIN

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ertan ERMİŞ

İstanbul
Mart, 2020

ÖNSÖZ

Araştırmamdaki her aşamada bana yardımcı olan, beni başarabileceğime inandıran ve zor zamanlarında dahi vakit ayırıp benimle ilgilenen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ertan ERMİŞ'e, değerli katkıları için Prof. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ'a, çalışma kapsamında bazı testlerin tamamlanmasında destek olan Arş. Gör. Fatih BOZKURT'a, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen aileme özellikle de biricik anneme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmadan elde edilen veriler aşağıda belirtilen bilimsel yayına dönüştürülerek yayımlanmıştır.

Ermis, E., Yasasin, M., Bozkurt, F., ve Yilmaz, M. T. (2018). Powder Flow Tester (PFT): a new tool to evaluate wheat flour dough behavior by measuring unconfined failure strength under variable consolidation stresses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-8.

<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9783-7>

Merve YAŞASIN

İstanbul - 2020

ÖZET

HAMUR REOLOJİSİ KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILABİLECEK YENİ BİR ANALİZ YÖNTEMİ: TOZ AKIŞ ÖLÇÜM CİHAZI (PFT)

Merve YAŞASIN

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ertan ERMİŞ

Mart-2020, 70 Sayfa

Bu çalışmada, farklı buğday unu hamur numunelerinin reolojik özelliklerini belirlemek için yeni bir yaklaşım olarak Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester-PFT) kullanılmıştır. Bu metodoloji; uygulanan sıkıştırma gerilimlerindeki değişiklik altında, dairesel hareket sonucu numunede oluşan akma dayanımının ölçülmesine dayanır. Bu özelliğinden dolayı, cihazın hamur reolojisi karakterizasyonunda kullanılarak özellikle doğrusal olmayan bölgelerdeki hamur reolojisinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada, dört farklı buğday unu (sert buğday unu, tam buğday unu, özel amaçlı buğday unu ve nohut unu ile özel amaçlı buğday unu karışımı) kullanılarak hazırlanan hamur numunelerinin reolojik özellikleri PFT kullanılarak belirlenmiştir. Reolojik ölçümler ekstensograf, farinograf ve reometre ile de yapılmış olup tüm sonuçlar PFT'den elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu, özellikle hamurun doğrusal olmayan bölgedeki davranışlarını ayırt etmek amacıyla PFT kullanılmasının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak; test edilen hamur örnekleri 0,5 ila 5,5 kPa arasında değişen değerlerde uygulanan sıkıştırma gerilimleri altında 0,5 ila 3,5 kPa arasında değişen farklı değerlerde kopma dayanımları sergilemiştir. PFT, hamurun deformasyonlara reolojik tepkilerini daha iyi anlamak için alternatif bir yöntem gibi görünmekte ve hamur reolojisine yeni bir bakış açısı sunabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hamur reolojisi, Buğday unu, Toz akış ölçüm cihazı, SAOS, LAOS

ABSTRACT

A NEW ANALYSIS METHOD IN DOUGH RHEOLOGY CHARACTERIZATION: POWDER FLOW TESTER (PFT)

Merve YAŞASIN

Master of Science, Food Engineering

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ertan ERMIŞ

March-2020, 70 Pages

In this work, a Powder Flow Tester (PFT) were firstly used as a novel approach to determine rheological properties of different wheat flour dough samples. This methodology is based on the measurement of failure strength of a sample as a result of rotational movement under a change in consolidating stresses applied. Due to this feature, it is thought that the device can also be used in the characterization of dough rheology and it will contribute to a better understanding of dough rheology especially for rheological measurements in nonlinear regions. In the present study, rheological properties of dough samples prepared by using four different wheat flours (hard wheat flour, whole wheat flour, baker's special wheat flour, and mix of chickpea flour with baker's special wheat flour) were determined using PFT. Rheological measurement were made with extensograph, farinograph, and rheometer. After that, all results were compared with the data obtained by PFT. The results are compatible, especially it has been determined that it may be appropriate to use PFT in order to distinguish the behaviour of dough in nonlinear regions. As a result, the dough samples tested exhibited different failure strenghts ranging from 0,5 to 3,5 kPa under applied consolidating stresses changing from 0,5 to 5,5 kPa. PFT seems to be an alternative method to understand dough's rheological responses to deformations better and may offer a new insight into the dough rheology.

Key Words: Dough rheology, Wheat flour, Powder Flow Tester, SAOS, LAOS

İÇİNDEKİLER

DIŞ KAPAK

İÇ KAPAK

TEZ ONAYI	i
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi

GİRİŞ	1
-------------	---

BİRİNCİ BÖLÜM.....	4
--------------------	---

LİTERATÜR TARAMASI	4
--------------------------	---

1.1. Tahıllar	4
---------------------	---

1.1.1. Buğday	4
---------------------	---

1.2. Glüten	6
-------------------	---

1.3. Hamur Reolojisi	10
----------------------------	----

1.4. Hamur Reolojisinin Ekmek Kalitesine Etkisi	11
---	----

1.5. Hamur Reolojisi Ölçüm Metotları.....	12
---	----

1.5.1. Ekstensograf	15
---------------------------	----

1.5.2. Farinograf	15
-------------------------	----

1.5.3. Diğer Ölçüm Metotları	16
------------------------------------	----

1.5.4. Küçük Genlikli Salınımlı (SAOS) ve Büyük Genlikli Salınımlı (LAOS) Gerilme/Kayma Testleri	17
--	----

1.6. Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester).....	20
--	----

İKİNCİ BÖLÜM	23
--------------------	----

MATERYAL VE METOT	23
-------------------------	----

2.1. Materyal	23
---------------------	----

2.2.	Metot	23
2.2.1.	Un Numunelerinin Kimyasal Analizi	23
2.2.2.	Hamur Hazırlama.....	23
2.2.3.	Hamurların Yoğrulma ve Gerilme Özellikleri.....	24
2.2.4.	Dinamik Kesme (Kayma) Analizi (DSA) ile Viskoelastik Yapı Analizi	24
2.2.5.	PFT ile Kopma Dayanımı ve Yığın Yoğunluğu Analizi	25
2.2.6.	Metodun Geometrik Analizi	27
2.2.7.	PFT Verilerinin Matematiksel Analizi	29
2.2.8.	DSA ve PFT Parametreleri Arasındaki Korelasyonlar	30
2.3.	İstatistik Analizler	30
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM		31
BULGULAR VE TARTIŞMA		31
3.1.	Un Karakteristikleri.....	31
3.2.	Un Örneklerinin Karışım Özellikleri.....	32
3.3.	Un Örneklerinin Uzama Kabiliyeti	36
3.4.	Hamur Numunelerinin Viskoelastik Özellikleri (DSA Ölçümleri).....	40
3.5.	PFT Ölçümleri.....	44
3.6.	Glüten İçeriği, DSA Verileri ve PFT Parametreleri Arasındaki Korelasyon.....	49
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		51
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		51
KAYNAKÇA		53
ÖZGEÇMİŞ.....		58

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Tahıl Ürünlerinde Kullanılan Reolojik Metotlar	14
Tablo 3.1: Test Edilen Farklı Un Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonları	31
Tablo 3.2: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Farinogram Karakteristikleri.....	33
Tablo 3.3: Değişen Analiz Sürelerinde Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Ekstensogram Karakteristikleri.....	39
Tablo 3.4: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Depolama ve Kayıp Modüllerini Tanımlayan Güç Kanunu Fonksiyonlarının Dinamik Kayma Parametreleri	43
Tablo 3.5: DSA, % Glüten İçeriği Değerleri ve PFT Parametreleri Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları ^a (r).....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Buğdayın Tane Yapısı (Arslan, 2018).....	5
Şekil 1.2: Buğday Unu Proteinlerinin Sınıflandırılması (Yazar, G., 2016).....	8
Şekil 1.3: Buğday Glütenuinin Şematik Yapısı (Buehler, 2006).....	9
Şekil 1.4: Hamurda Disülfid Bağı Oluşum Mekanizması (Yazar, G., 2016).....	10
Şekil 1.5: Faz Açısına Bağlı Olarak Gerinim Girdi ve Çıktısının Değişimi	18
Şekil 1.6: Sabit Bir Frekansta Gerinim Süpürme Tarama Testi (Yazar, G., 2016)...	19
Şekil 1.7: (a) PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı), (b) PFT'nin Özel Olarak Tasarlanmış Hareketli Üst Çenesi	22
Şekil 2.1: (a) PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı) Haznesi (Alt Plaka), (b) Dış Toplama Tepsisi ve Hamur Numunesinin Alt Plakaya Yerleştirilmesi	26
Şekil 2.2: (a) Kesme Öncesi (pre-shearing) Aşamasında Gerilim Durumunun Hesaplanması İçin Varsayımsal Grafik ve Tek Eksenli Sıkıştırma Testine İlişkin Akma lokusu (yield locus) Benzetmesinin Geometrik (Nedderman, 1992). (b) Akma Lokusunun (yield locus) değerlendirilmesi (Schulze, 2008; Salehi, vd., 2017'den uyarlanmıştır).	28
Şekil 3.1: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Farinogram Kurveleri; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).	35
Şekil 3.2: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Farinogram Kurveleri; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).	38
Şekil 3.3: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Depolama Modülü, G' ve Kayıp Modülü, G'' ; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).	41
Şekil 3.4: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Kopma Dayanımı; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).	45
Şekil 3.5: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerine Tuz Konsantrasyonlarının Etkisi; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).	47
Şekil 3.6: Uygulanan Çeşitli Sıkıştırma Gerilimleri Altında, Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Yığın Yoğunluğundaki Değişiklikler	48

SEMBOLLER LİSTESİ

γ	: Gerinim (strain)	(%)
σ	: Gerilim (stress)	(Pa)
ω	: Açısal frekans	(rad/sn)
ϕ	: İçsel sürtünme statik açısı	(°)
σ_1	: Maksimum asal gerilme (Major principal stress)	(Pa)
σ_c	: Kesme öncesi (pre-shear) fazda normal sıkıştırma gerilimi	(Pa)
σ_N	: Kesme öncesi (pre-shear) fazda normal gerilme	(Pa)
τ	: Kesme gerilimi	(Pa)
τ_c	: Kesme öncesi evresinde kararlı koşullardaki/denge halindeki (steady-state condition) kayma gerilimi	(Pa)
$\bar{\tau}_c$: Kesme öncesi (pre-shear) ortalama kesme gerilimi	(Pa)

KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Alan
AACC	: Amerika Hububat Kimyacıları Birliği
AOAC	: Resmi Analitik Kimyacılar Birliği
AX	: Arabinoksilatlar
BU	: Brabender Unit
C	: Kohezyon
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
cm ³	: Santimetreküp
DDT	: Hamur gelişim süresi (Dough Development Time)
DSA	: Dinamik kesme (kayma) analizi
dk	: Dakika
E	: Elastikiyet
<i>f</i>	: Frekans
<i>f_c</i>	: Serbest akma (kopma) dayanımı (unconfined yield (failure) strength)
FE	: Farinograf enerji değeri
FQN	: Farinograf kalite numarası
g	: Gram
<i>G*</i>	: Kompleks modül
<i>G'</i>	: Depolama modülü (storage modulus)
<i>G''</i>	: Kayıp modülü (loss modulus)
<i>K'</i>	: Depolama modülü kesişimi
<i>K''</i>	: Kayıp modülü kesişimi
kPa	: Kilopaskal
LAOS	: Large Amplitude Oscillatory Shear (Genlikli Salınımlı Kayma)
LVER	: Doğrusal bölge
min	: Minimum
mm	: Milimetre
MTI	: Yoğurma tolerans indeksi (Mixing Tolerance Index)
<i>n'</i>	: Yüksek gerinim hızı viskozitesi (strain rate viscosity)
<i>n''</i>	: Düşük gerinim hızı viskozitesi (strain rate viscosity)
N-LVER	: Doğrusal olmayan bölge
<i>p</i>	: Merkez koordinatı (Mohr dairesi)

Pa	: Paskal
PFT	: Toz akış ölçüm cihazı (Powder Flow Tester)
r	: Çap
R	: Yarıçap (Mohr dairesi)
rad/sn	: Radyan/saniye
R_{50}	: Direnç
R_{50}/E	: Oran
sa	: Saat
SAOS	: Small Amplitude Oscillatory Shear (Küçük Genlikli Salınımlı Kayma)
sn	: Saniye
S-S	: Disülfid
WU-AX	: Su ile ekstrakte edilemeyen (water-unextractable) arabinoksilatlar
WE-AX	: Su ile ekstrakte edilebilen (water-extractable) arabinoksilatlar

GİRİŞ

Ham maddesi buğday olan gıda ürünleri genel olarak su, buğday unu ve ürünün türüne bağlı olarak katılan diğer bileşenler/katkılar ile hamur oluşturulup tekniğine uygun olarak pişirilmesi ile üretilir. Doğada farklı türlerde buğday çeşitleri bulunmakta ve bazı türler zirai olarak üretilmektedir. Üretim öncesinde, üretimi amaçlanan ürün için uygun olan buğday çeşidinin belirlenmesi gereklidir. Bu seçim genellikle buğdayın kalitesine göre yapılmaktadır. Buğdayın kalitesinde büyük oranda rol oynayan en önemli etkenlerden birisi içerdiği protein miktarı ve bu proteinin kalitesidir (Biçer, 2011; Yazar, 2016).

Buğday ununun protein içeriği (başlıca glüten) esasen gaz tutma, yapı oluşturma ve tekstüre yol açan hamurun direncinden sorumludur (Nicolae, vd., 2016). Bununla birlikte, benzer protein içeriğine sahip unlardan farklı ürünler üretilebildiğinden dolayı, protein içeriğinin ölçülmesi hamur kalitesinin tek belirleyicisi değildir. Nişasta fraksiyonlarının hamur reolojisine katkısı ve dolgu maddesi olan nişasta partiküllerinin boyut ve tipinin etkileri de dikkate alınmalıdır (Tanner, vd., 2008; Uthayakumaran, vd., 2002). Ayrıca hamur yapımında, una eklenen su miktarının da hamur reolojisi üzerinde etkisi bulunmaktadır (Hardt, vd., 2014).

Hamurun oluşturulması için en önemli işlem basamakları sırasıyla yoğurma, şekil verme ve fermantasyondur. Yoğurma, son ürün kalitesini direkt olarak etkileyen bir işlem basamağıdır. Bu işlem sırasında uygulanan mekanik kuvvet ile hamurda fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Proteinlerin su ile şişerek hamurda elastik ve pürüzsüz bir yapı oluşturması, böylece hamurun kolay işlenebilir hale gelmesi protein kalitesi ve su tutma kapasitesine bağlıdır (Ermis, vd., 2018).

Hamur reolojisi, fırın ürünlerinin kalitesini etkileyen en önemli özelliklerden biridir ve hamurun reolojik davranışları glüten, nişasta ve su içeriğindeki değişikliklerin yanı sıra buğday çeşitliliği ve karıştırma prosedürüne duyarlıdır (Ktenioudaki, vd., 2011). Bu nedenle hamur reolojisi ile ilgili yoğurma, son fermantasyon, kalıplama, şekillendirme, kaplama, kabarcık genişlemesi ve pişirme gibi hamur işleme uygulamalarında hamur kalitesinin değerlendirilmesi önemlidir

(Tanner, vd., 2008; Mohammed, vd., 2012; Mccann, vd., 2016; Yazar, vd., 2016). Dolayısıyla hamurun reolojik davranışlarının analizi ve elde edilen verilerin uygun şekilde değerlendirilmesi son ürün kalitesini belirleme açısından oldukça önemlidir.

Buğday unu hamurunun uzama, yoğurma veya deformasyonu sırasında reolojik davranışlarının ölçülmesi; tahıl ürünleri için pişirme kalitesi ile alaka düzeyinin güçlü olması, ulaşılan çeşitli sonuçlar ve varsayılan korelasyonlar nedeniyle en önemli kalite değerlendirme kriterlerindedir (Ahmed ve Thomas, 2015). Hamur reolojik özelliklerinin nihai ürünlerin kalitesi üzerindeki önemi ve etkisi sebebi ile unları sınıflandırmak ve hamur kalitesini değerlendirmek için çok sayıda ölçüm cihazı/ekipmanı ve metodu geliştirilmiştir. Bunlar su absorpsiyon ve hamur stabilitesinin belirlenmesini sağlayan Brabender Farinograf, gerilmeye karşı direnci belirlemek için Brabender Ekstensograf (tek eksenli uzama) ve şişmeye karşı direnci belirlemek için Chopin Alveograf (çift eksenli uzama) olarak belirtilmektedir (Patel ve Chakrabarti-Bell, 2013). Ekstensograf cihazı, hamur davranışı üzerinde tek eksenli uzamayı gerçekleştirmek ve değerlendirmek için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Pişmiş hacimler ile ilişkilendirilmiş hamur özelliklerini ölçen ampirik bir test cihazıdır. Bununla birlikte, bu tür testler, özellikle ekstensograftan elde edilen verilerin gerilim-gerinim eğrilerine dönüştürülmesi ve hamur malzemesi davranışının anlaşılmasında kısıtlı veri sağlar (Ktenioudaki, vd., 2011; Mccann, vd., 2016). Bunlara ek olarak alveograf, ekstensograf, ekstensometre, çekme test cihazı, tek eksenli mikro uzatma test cihazı, Kieffer hamur ve gluten uzatılabilirlik test cihazı (tek eksenli uzama), Simon ekstensometre, basit gerilim testi kurulumu, reometre ve tekstür analizörü gibi farklı cihaz türleri geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Bu cihazlarla hamur reolojisini değerlendirmek için katı benzeri davranış, küçük ve büyük genlikli dinamik salınımlı gerilim, dinlendirmeden başlayarak tek eksenli uzama, tek eksenli/çift eksenli uzama, dinlendirmeden başlayarak basit kesme (shear), büyük deformasyon uzama reolojisi, ani kesme sonrası gevşeme ve uzamadan geri tepme, yapışkan davranış ve esneklik ölçümleri yapılabilir (Bloksma, 1990; Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003; Anderssen, vd., 2004; Tanner, vd., 2008; Zaidel, vd., 2008; Ktenioudaki, vd., 2011; Mohammed, vd., 2012; Rieder, vd., 2012; Mccann ve Day, 2013; Patel ve Chakrabarti-Bell, 2013; Ghorbel ve Launay, 2014; Hardt, vd., 2014; Mccann, vd., 2016; Yazar, vd., 2016;). Her ne kadar hamurun reolojik davranışı farklı yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş olsa da hamur

işleme hatlarının, hamur davranışının öngörülerek tasarlanması ile ortaya çıkan sorunlar ve nihai ürün kalitesi henüz tam olarak anlaşılammıştır. Mevcut ölçüm metotları genellikle hamura uygulanan basınca karşı hamurda oluşan gerilme ve kopma eşik değerlerini, endüstriyel işlemleri temsil edecek şekilde ifade etmekte yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenlerden dolayı, hamur işleme performansı ile ilgili olarak hamurun reolojik özelliklerini daha iyi anlamak için (özellikle endüstriyel proseslerde ortaya çıkan doğrusal olmayan gerilim bölgelerinde) uygun yöntemlerin seçilmesi halen bilimsel bir zorluktur.

Bu nedenle, bu çalışmada esasen toz akış özelliklerini analiz etmek için geliştirilmiş olan toz akış ölçüm cihazı (PFT-Powder Flow Tester), hamur reolojisinin lineer (doğrusal) olmayan bölgede daha iyi anlaşılması amacıyla kullanılmıştır. Özellikle endüstriyel proseslerde hamur kütleleri reolojik özelliklerinin çeşitli değişkenlere (protein içeriği ve kimyasal bileşim, hamur yoğurma ve işleme aşamalarındaki uygulanan gerilimler) bağlı olarak doğrusal olmayan bölgelerde ortaya çıkan bazı deformasyonlarda hamur davranışının karakterizasyonunda kullanılabilirliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. PFT'nin parçaları ve çalışma prensibi hakkındaki bilgiler sonraki kısımlarda detaylı olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, çeşitli un numuneleri için farklı sıkıştırma (konsolidasyon) gerilimleri altında ve rotasyonel yer değiştirmenin neden olduğu bazı deformasyonlarda yapılan ölçümlerle hamur numunelerinin reolojik özellikleri başarılı bir şekilde ayırt edilmek istenmiştir. Bu tespit için PFT'nin hamur reolojisini değerlendirmek adına kullanılma olasılığı ve yenilikçi bir test cihazı olarak potansiyelini tartışmak amaçlanmıştır. PFT kullanılarak değişen sıkıştırma gerilimi koşulları altında hamur numunelerinin kopma dayanımı ve yığın yoğunluğu gibi veriler elde edilmiştir. Bunlar, ekstensograftan elde edilen veriler ve literatürde yer alan bulgular ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Tahıllar

Tahıllar binlerce yıldır hem insanların hem de hayvanların beslenme kaynağı olarak kullanılmıştır. İyi bir adaptasyon yeteneğine sahip olmaları sebebiyle geniş ekim alanlarına ve yüksek üretim miktarlarına sahiptir (Özberk, vd., 2016). İnsanların günlük beslenmelerinde enerji ihtiyacının önemli bir kısmı tahıllardan karşılanmaktadır. Tüketilmesi halinde, yüksek lif içeriğine sahip olmaları sebebi ile sindirim sistemine destek sağlar ve uzun süreli tokluk hissi oluşturur (Tayyar, 2008; Aydoğan, vd., 2019).

Tahıllar; serin iklim tahılları (buğday, arpa, çavdar, yulaf) ve sıcak iklim tahılları (mısır, çeltik, darı, kuşyemi) olarak sıcaklık ihtiyaçlarına göre iki gruba ayrılmaktadırlar. Bu tahıllar arasından buğday, arpa, mısır ve çeltik hem üretim hem de tüketim açısından ön plana çıkmaktadır (Kodaş ve Er, 2012).

Tahılların kuru haliyle öğütülmesi, hem çözünen hem de çözünmeyen malzeme içeren öğütülmüş fraksiyonlar sağlar. Bu fraksiyonların, gıda sistemlerine dâhil edilmesiyle suda çözünen ve çözünmeyen diyet liflerinin birleşik faydalı fizyolojik etkilerini sunduğuna inanılmaktadır (Sullivan, vd., 2010).

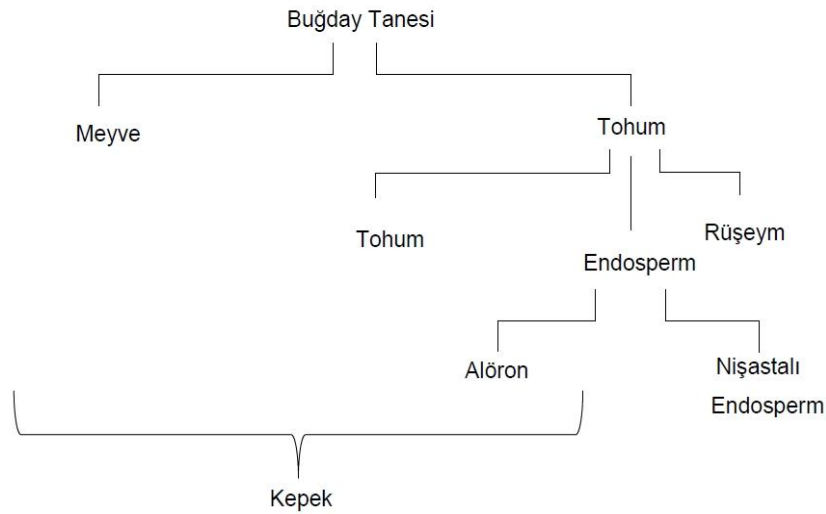
1.1.1. Buğday

Tahıllar içerisinde büyük öneme sahip olan buğday, çeşitli iklim ve toprak koşullarına uyum sağlayabildiği için, çok geniş ve farklı coğrafyalarda yetiştirilmektedir. Verimi oldukça yüksek ve tarımı kolay olan bir tahıl ürünüdür. B vitamini, lifler, mineraller vb. açıdan zengin olup küresel nüfusun enerji ihtiyacının %20'sini karşılamaktadır. Dünya nüfusunun ortalama %35'ini oluşturan ülkelerin beslenmede temel gıdası buğdaydır. Türkiye'de en fazla ekilen tahıl cinsi olup 2018

yılında dünya üretiminin %2,7'sine karşılık gelen 20 milyon ton buğday üretilmiştir. Benzer şekilde ülkemizde buğday ekim alanı, tahıl ekim alanlarının yaklaşık %70'i ile de ilk sırayı almaktadır (Aydoğan, vd., 2012; Özberk, vd., 2016; Anonim, 2018).

İnsan beslenmesindeki en temel gıda ürünlerinin (unlu mamuller, makarna, irmik, bisküvi, bulgur) ham maddesi olması ve ihtiyacımız olan protein ve kalorinin bir kısmını karşılaması sebebiyle, buğday diğer tarımsal ürünlere göre daha fazla önem taşımaktadır. Kalite ve kullanım amacına göre buğdaylar ekmeklik (*Triticum aestivum*), bisküvilik (*Triticum compactum*) ve makarnalık (*Triticum durum*) olmak üzere üçe ayrılırlar. Ürün çeşidine göre buğday seçimi konusu buğday hasadı ve çeşitli ürünler için çeşitli sınıflara ayrıldığından tahıl bilimlerinin merkezinde yer almaktadır (Aydoğan, vd., 2019).

Buğday tanesinin yapısı esas olarak endosperm (%83-85), kabuk (%13-16) ve embriyo (%2,5-3,5) olmak üzere üç ana kısımdan meydana gelir. En iç kısımda endosperm ve embriyonun (rüşeym) etrafında tohum, tohum kabuğu ve perisperm yer almaktadır. En dış kısımda yer alan meyve kabuğu (perikarp) ise tohum kabuğuyla yapışık haldedir. Tanenin kısımları şematik olarak Şekil 1.1'de gösterilmektedir (Arslan, 2018). Endüstride genellikle tanenin diğer kısımları ayrılarak yalnızca endospermden oluşan un elde edilir. Bu ayrımın iyi bir şekilde sağlanabilmesi için buğday aşamalar halinde öğütülmektedir. Son yıllarda taneden ayrılan diğer kısımların beslenme ve sağlık açısından faydaları ön plana çıktığı için bazı ürünlerin unlarına sonradan bu kısımlar eklenmektedir (Kotancılar, vd., 1997).



Şekil 1.1: Buğdayın Tane Yapısı (Arslan, 2018)

Başlangıç noktasında undaki glüten proteini miktarı belirlenmelidir. Protein miktarı unun kalitesinde önemli bir belirleyici olmasına rağmen kalitenin ölçülmesi yalnızca buna bağlı değildir. Çünkü benzer proteinli unlar ile farklı ürünler yapılabilir. Örneğin, makarnalık buğdaylarda protein miktarı %9 ile %18 arasında değişmekle birlikte, ekmeğe ve erişte için %10 ile %14, kekler ve hamur işleri için %4 ile %10 arasındadır. Ayrıca yapışkan hamur oluşturmak için unlar farklı miktarlarda suya ihtiyaç duyabilirler. Bu nedenle, unların suyu absorbe etme özellikleri ölçülmektedir. Gıda kullanımı için un ve gıda/yem türlerine yönelik unları sınıflandırmak için çeşitli testler yapılır. Testlerden elde edilen veriler ile her gıda ürünü kategorisi için unun bulunup bulunmadığına ve hangi buğday çeşitlerinin yetiştirileceğine ilişkin sinyaller piyasaya iletilir (Patel ve Chakrabarti-Bell, 2013).

Buğdayın kimyasal yapısında karbonhidrat olarak nişasta, protein olarak ise yüksek oranda glüten bulunmaktadır. Hamur hacminin yaklaşık %60'ını oluşturan dolgu maddesi nişasta parçacıklarından oluşur. Dolgu partikülleri, glüten ağına güçlü bir şekilde bağlanamaz. Bu nedenle nişasta, su ile yıkanarak hamurdan kolayca ayrılabilir (Tanner, vd., 2008).

Nişasta, buğday ununun ana bileşenidir (yaklaşık 80 g nişasta/100 g buğday unu), doku oluşumuna ve hamur kalitesine katkıda bulunur. Birçok gıda ürününde nişastanın fonksiyonel özellikleri, son ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Nişasta polimerleri olan amiloz/amilopektinin farklı oranları, granül yapıları ve granül büyüklükleri; buğday ununu, hamur ve ekmeğin doku, stabilite ve esnekliğini etkiler (Fu, vd., 2016). Yapılan bir çalışmada, ekmeğe üretiminde sıcaklığın artması ile nişastanın jelatinize olduğu, sonrasında sıcaklığın düşmesi sebebi ile de nişastanın retrogradasyona uğradığı belirtilmiştir (Şahin, vd., 2014).

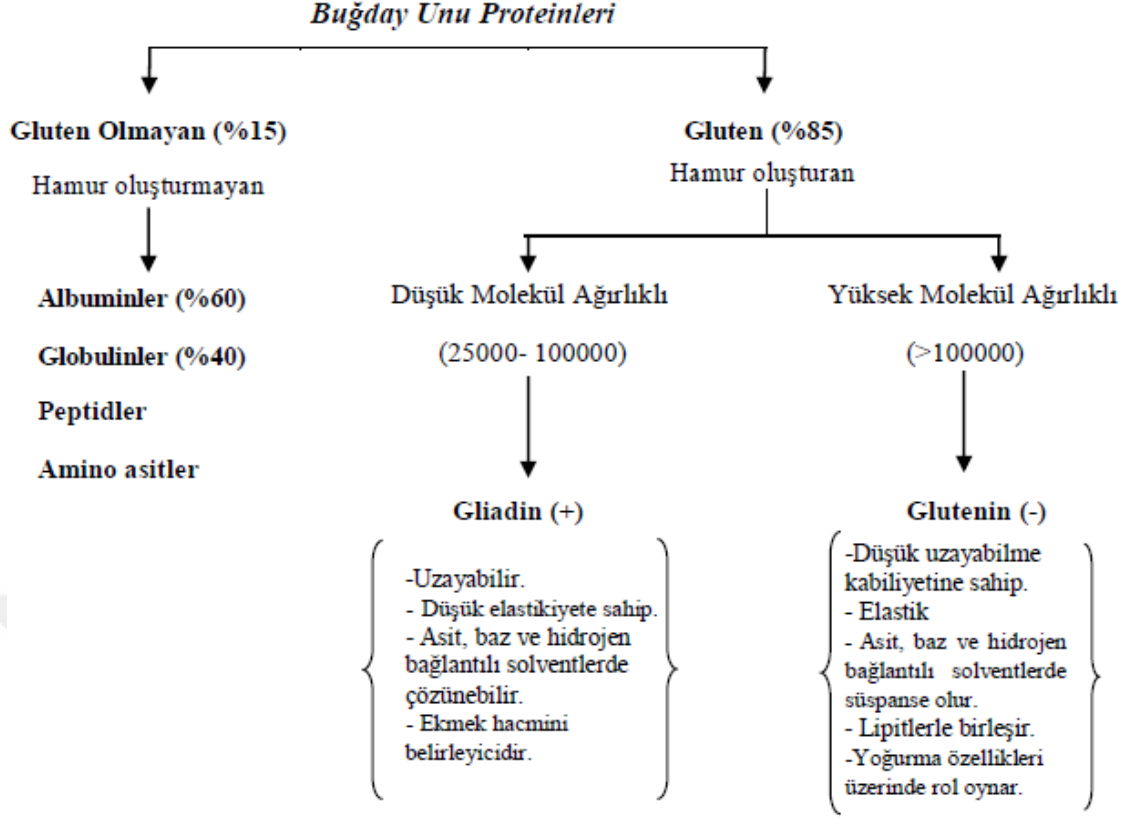
1.2. Glüten

Glüten, buğday tanesi yapısında hâlihazırda ağ yapıda bulunmaz. Hamur prosesinin ilk aşaması olan yoğurma sırasında proteinler su ile birleşerek glüten ağ yapısını oluştururlar. Glüten, fermantasyon sırasında mayalar tarafından oluşturulan gaz kabarcıklarını tutarak ürüne hacim kazandırır ve hamurda viskoelastik yapının oluşmasını sağlar. Glüten proteinlerinin hamur oluşturma özellikleri hakkında bazı enstrümantal cihazlarla yapılan analizler sayesinde bilgi alınmaktadır (Aydoğan, vd.,

2012; Yazar, 2016). Hamur yapımında buğday unu üzerine eklenen su, un partiküllerinin etrafını hızlıca sarar. Yapılan yoğurma işlemi ile ıslanan protein fibrilleri yeni yüzey alanları oluşturur. Oluşan bu yüzey alanlarının hidrasyona uğraması sonucunda ortamda serbest halde bulunan su miktarı azalarak yapışkan durumdaki hamur pürüzsüz ve elastik bir yapıya dönüşecektir. Glütene tamamen hidratlamak için gerekli olan su miktarı, hamur yapısının doğru oluşumu için ihtiyaç duyulan su miktarını belirlemektedir (Hardt, vd., 2014; Yazar, 2016).

Dış dokularda hücre duvarları çoğunlukla hidrofobiktir ve esas olarak selüloz, lignin ve kompleks arabinoksilanlardan (AX) oluşur. İç dokularda ise, hücre duvarları yüksek oranda hidrofiliktir ve çoğunlukla arabinoksi ve b-D-glukanlardan oluşur. Bu nedenle AX buğday tanesi hücre duvarlarının ana polimerleridir, ancak AX polimerleri tahıldaki kökenlerine göre farklı yapılar ve fizikokimyasal özellikler (suda çözünürlük, viskozite, hidrasyon özellikleri) sergiler. AX, liflerin tek bileşeni olmamakla birlikte, çeşitli diyet lifi bileşiklerini belirtmek için su ile ekstrakte edilebilir AX (WU-AX) ve suda ekstrakte edilebilir AX (WE-AX) terimleri kullanılabilir (Bonnand-Ducasse, vd., 2010). Bunun yanında, buğday yapısında glüten ile su için rekabet eden arabinoksilan (AX) gibi suyu absorbe eden bileşenler bulunmaktadır. Hidrolize halde bulunan AX, ksilanaz enzimleri yardımıyla su salabilmekte ve bu sayede suyu glüten hidrasyonu için kullanılacak hale getirmektedir (Hardt, vd., 2014; Yazar, 2016).

Buğday unu bileşiminde yer alan en önemli yüzey aktif bileşenler olan proteinler, toplam bileşimin yaklaşık %7-20'lik bir kısmını oluşturmaktadır. İçerdiği bu proteinler çözünürlüklerine göre 4 grup altında sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.2), (Yazar, 2016).



Şekil 1.2: Buğday Unu Proteinlerinin Sınıflandırılması (Yazar, 2016)

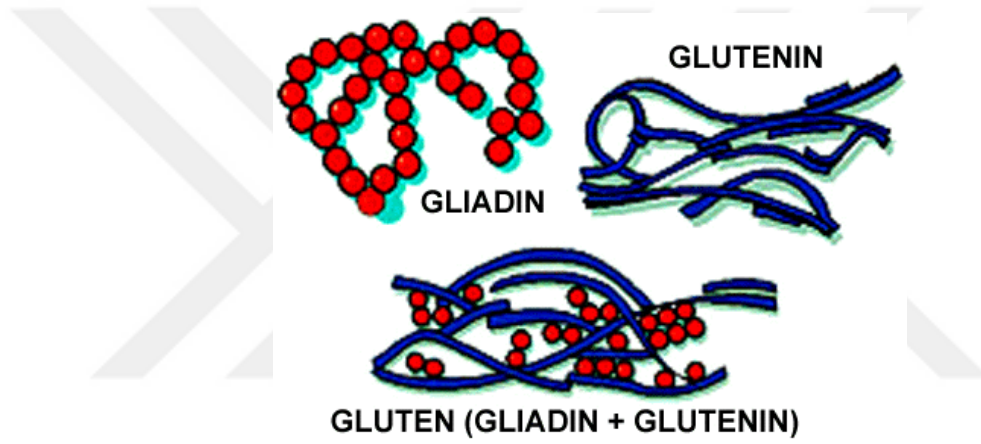
Oluşan hamur, nişasta moleküllerinin etrafını saran un bileşenleri ve büyük protein moleküllerinin oluşturduğu bir ağ yapıdan meydana gelmektedir. Hamurun yıkanmasıyla birlikte nişasta ve suda çözünür proteinlerin (albümin ve globülin) yapıdan uzaklaşması sonrasında geriye kalan ve suda çözünmeyen protein fraksiyonlarının (gliadin ve glütenin) meydana getirdiği visko-elastik kütle glüten olarak adlandırılmaktadır. Glüten proteinleri toplam buğday unu proteinlerinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Glütene oluşturan gliadinin pozitif, glüteninin ise negatif yüklü olmasından dolayı aralarında güçlü bir çekim kuvveti bulunur. Bu sayede, hamurun su ile yıkanması suretiyle glüten elde edilebilmektedir (Yazar, 2016).

Glüten, alkollü su çözeltilerindeki çözünürlüğe göre iki fraksiyona ayrılabilir: Çözünür monomerik gliadinler (\approx %50-%60) ve çözünmeyen polimerik glüteninler (\approx %40-%50). Glütenin eşsiz viskoelastik özellikleri çoğunlukla sırasıyla viskoz gliadin ve elastik glütenine atfedilir. Bu iki protein türü hem yapı hem de işlevsellik

yönünden çok farklıdır. Hamura köpürme ve viskoz özelliğini veren gliadin iken; mukavemet ve elastikiyeti oluşturan ise glütenindir (Wang, vd., 2015).

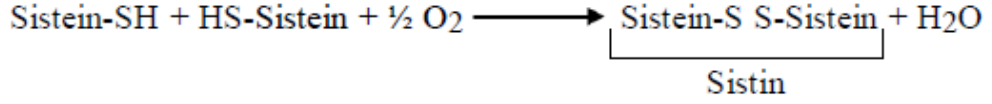
Un, beş çeşit protein yapısı içermektedir. Bunlardan suda çözünebilen ve peptid yapıda olan albumin ve globulinler glüten oluşumuna dâhil değilken; glütenin ve gliadin proteinleri glüten oluşumunda rol oynarlar (Şekil 1.3). Beşinci protein türü ise bir enzim olan proteazlardır (Buehler, 2006).

Glütenin proteinleri uzun, gliadin proteinleri ise kısa ve yuvarlak zincirlidir. Glüteninler, hamurun esnekliğinden sorumlu iken gliadinler, uzayabilirliğinden (kopmadan gerilme kabiliyeti) sorumludur (Buehler, 2006).



Şekil 1.3: Buğday Glüteninin Şematik Yapısı (Buehler, 2006)

Buğday unu ile suyun fiziksel olarak karışması ve hidrasyon sonrasında protein zincirlerinin terminal uçlarında S-S (disülfid) bağları oluşmaya başlar (Şekil 1.4). Yapısında tiyol grupları bulunan sistein molekülleri, yoğurma sırasında hamur yapıya dâhil olan oksijen ile tepkimeye girerek disülfid bağlarından oluşan sistin molekülünü meydana getirirler. Çapraz bağlanma olarak da bilinen disülfid bağlarının oluşumu, hamurun viskozitesinde bir artış sağlar ve yoğurmaya karşı direncini artırır. Karışımın tamamen hidrasyona uğraması, yumuşak ve pürüzsüz bir yapı kazanması hamurun olgunlaştığını gösterir. Bu noktadan itibaren yoğurma işlemine devam edilirse, uygulanan mekanik enerji glüten yapısının parçalanmasına ve dolayısı ile hamurun reolojisinde geri dönüşü olmayan deformasyonlara neden olacaktır (Yazar, 2016).



Şekil 1.4: Hamurda Disülfid Bağı Oluşum Mekanizması (Yazar, 2016)

1.3. Hamur Reolojisi

Hamur reolojisi hamurun akış ve deformasyonu üzerine yapılan çalışmaları kapsayan bir alandır. Reolojik davranışını ölçmek için hamura belirli bir süre boyunca kontrollü, iyi tanımlanmış bir deformasyon veya gerilim uygulanır ve ortaya çıkan tepki kuvveti ölçülür. Bu tepkiler bize viskozite, sertlik, mukavemet veya uzayabilirlik gibi parametreler hakkında bilgi verir (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003). Hamurun reolojik özellikleri son ürün kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Özellikle fırıncılıkta çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle reolojiyi ölçebilmek için birçok test yöntemi geliştirilmiştir. Reoloji, proses boyunca değişime uğramaktadır. Özellikle newtonsal olmayan ve kayma ile incelen özellikte olan maddelerde reolojik davranışlar, uygulanan basınç ya da gerilim değerlerine bağlı olarak değişebilmektedir (Tanner, vd., 2008; Meral, vd., 2010; Ktenioudaki, vd., 2011).

Hamur reolojisi terimi daha çok %35-55 oranında su içeriğine sahip hamurlar için tanımlanmıştır. Hamurda su içeriğinin yetersiz olması yapışkan ve ıslanmış bir toz oluştururken; yüksek su içeriği ise meyilli ve şekil almayan bir yapıya neden olur (Hardt, vd., 2014).

Hamurun uzayabilirlik, elastikiyet, viskozite, mukavemet (direnc) gibi reolojik özellikleri mevcuttur. Bu özelliklerin değerlerinin ölçülebilmesi üretici açısından büyük önem arz etmektedir. Bu ölçümler sayesinde buğday ham maddesinin hangi ürüne işleneceği belirlenir. Ekmek, bisküvi ve makarna gibi farklı buğday ürünleri için arzu edilen optimum uzayabilirlik ve direnc değerleri birbirlerinden farklıdır. Örneğin ekmekte; hamurun uzayabilme kabiliyeti ve direncinin yüksek olması beklenir. Bisküvide ise, uzayabilirlik değerinin yüksek olması istenirken direncin de tam tersine düşük olması istenmektedir (Meral, vd., 2010; Aydoğan, vd., 2012).

Hamurun uzayabilirlik ve dayanıklılık özellikleri, üretim aşamasında uygulanan işlemler pişme performansı ve son ürün kalitesini etkilediği için

endüstride büyük önem taşımaktadır. Bu değerin ölçülmesi için yapılan testler; hamurun yoğrulması, dinlenme süresinin uzunluğu, tuz, oksidan ve emülgatörlerin ilavesinin son üründe oluşturduğu etkileri belirlemek için kullanılmaktadır (Meral, vd., 2010; Aydoğın, vd., 2012).

1.4. Hamur Reolojisinin Ekmek Kalitesine Etkisi

Ekmek üretiminin ana aşamaları karıştırma, tabakalama, fermantasyon ve fırınlamadır (Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003). Üretimde ham madde kalitesi son ürün kalitesini etkileyen en önemli unsurdur. Bunun yanında, hamurun işlenmesinde kullanılan alet-ekipman, işleme yöntemleri ve fırın/fabrikaların işleme kapasiteleri de kaliteyi etkileyen faktörlerdendir. Ham maddenin nitelikleri, fiziksel, kimyasal özellikleri ve öz miktarı ile ilgili çalışmalar unun ekmekçilik değeri hakkında kesin bir bilgi sağlamaz. Bu nedenle hamurun viskozite, elastikiyet, uzayabilirlik, mukavemet (direnc) gibi reolojileri üzerinde çalışmak gereklidir. Hamur reolojisi ölçümleri için farinograf, ekstensograf, alveograf ve miksograf test cihazları geliştirilmiştir. Fakat bu testler, ekmek veriminin tespitinde kullanılamaz. Ekmek ağırlığı tespiti için ise sadece kuvvetli ve düşük randımanlı unlarda doğru sonuç alınabilmektedir (Aydoğın, vd., 2012).

Hamur yapımında unun absorbe edebileceği % su miktarının tespiti ve yoğurma paletlerine karşı gösterdiği direncin belirlenmesi için farinograf cihazı kullanılır. Farinografda gözlenemeyen oksidan hamur geliştiricileri bromat ve iyodatın etkisi ekstensografda tespit edilebilir. Hamurun belirli bir zaman içerisinde uzama kabiliyeti ve uzamaya karşı olan direnci de ekstensograf ile ölçülebilir. Bir diğer test cihazı olan alveograf ile de bu direnc ölçülerek bir kurve şeklinde kaydedilebilir. Kurve boyutu, şekli ve şişen hamurun patlama esnasındaki hacim tespiti de unun ekmeklik değeri hakkında bilgi verebilir. Alveografıtan elde edilen verilerin ekmeğın hacmi, testtürü, iç rengi ve iç sertliğı ile ilişki içinde olduğu belirtilmiştir. Miksograf analizi ise hamurun optimum yoğurma süresi, yoğurmaya karşı gösterdiği direnc ve protein kalitesini tahmin etmede yardımcı olmaktadır (Dikici, vd., 2006; Aydoğın, vd., 2012).

Ekmek üretiminde kullanılan unların su absorbe etme yetenekleri yüksek olmalı ve yoğurma süreleri uzun olmamalıdır. Çünkü yoğurma süresinin uzun olması

enerji ve zaman gereksinimi dolayısıyla da maliyeti artıracacağı için ticari olarak istenmemektedir. Buna karşın yoğurma süresi çok kısa olan unların ise ekmeklik kalitesi genellikle düşüktür. Unların içerdiği protein miktarı arttıkça hamur gelişme süresi de artar. Gelişme süresi uzunluğu ile yoğurma süresi uzunluğu doğru orantılıdır. Unun öz miktarı ve kalitesinin yüksekliği ile özün kabarmaya geç başlaması da buna bağlıdır. Gelişme süresi düştükçe ekmek hacmi de düşecektir (Aydoğan, vd., 2012).

Stabilite değeri, hamurun işlenmeye olan dayanıklılığını gösterir. Bu sürenin kısa olması hamur işleme yeteneğinin düşük olmasına ve fermantasyon süresinin kısa olmasına neden olur (Aydoğan, vd., 2012).

Ekmek yapımında buğday unu bileşenlerinden biri olan nişasta, bazı değişikliklere uğrar. Pişirme sıcaklığının 90°C'ye ulaşmasıyla nişasta jelatinize olmaktadır. Sonraki aşamalarda sıcaklığın düşmesi ile nişasta retrogradasyona uğrar. Retrogradasyon; nişastanın soğuyarak sertleşmesi ve su moleküllerinin serbest hale geçmesidir (Şahin, vd., 2014). Farklı ekmeklik buğday çeşitleri üzerine yapılan bir çalışmada, buğdayın içerdiği nişasta ile protein miktarları arasında ters bir orantı olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, en düşük protein miktarına sahip olan buğday çeşidi %10,7 protein içerirken %64,1 nişasta; en yüksek proteine sahip olanı ise %18,7 protein ve %57,0 nişasta içermektedir. Bu değerler aralığında kalan diğer buğday çeşitlerinde de benzer durum söz konusudur (Ereku, vd., 2016).

1.5. Hamur Reolojisi Ölçüm Metotları

Hamur uzayabilirliği ve hamur kuvveti (uzamaya karşı gösterilen direnç) ekmeklik unların kaliteleri arasındaki farklılığı belirlemede ve uygun ham madde seçiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Reolojik özelliklerden uzama kabiliyeti ve hamur kuvveti (direnç) buğdayların farklı ürünlere işlenebilirliğini belirlemede kullanılmaktadır. Uzayabilirlik değeri, pişme performansı ve son ürün kalitesi hakkında önemli bilgiler sağladığından tahıl kimyasının anahtarlarından birisidir. Ayrıca uzayabilirlik testi ile fermantasyon sırasında hamurda meydana gelen değişimler belirlenip proses hakkında oldukça önemli bilgiler elde edilebileceği ifade edilmektedir. Son ürün kalitesini etkileyen maksimum direnç değeri unun içerdiği protein oranından önemli derecede etkilenmektedir. Uzayabilirlik değerinde olduğu

gibi unun protein oranının artması bu değeri de artırmaktadır (Ktenioudaki, vd., 2011).

Hamur reolojisinin tahıl endüstrisindeki önemi, özellikle son ürün kalitesini etkilemesi, araştırmacıları reolojik davranışların ölçülebilmesi için çalışmalar yapmaya itmiştir. Bu çalışmalar neticesinde birçok test yöntemi bulunmuştur. Bu yöntemler uzun yıllardır kullanılmakta ve test yöntemlerinin geliştirilebilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Ktenioudaki, vd., 2011).

Reolojik davranışların ölçümü için farklı enstrümantal cihazlar ve yöntemler kullanılmaktadır (Tablo 1.1). Bu ölçümler doğrultusunda buğdaylar kalitesine göre ayrılmakta ve üretimi yapılacak ürün buna göre belirlenmektedir. Ayrıca elde edilen reolojik değerler yeni kültürlerin seçilerek bunların yetiştirilmesi, öğütme ve fırıncılık ürünlerinde kalite kontrol, üretimde katılan bileşenlerin etkilerinin belirlenmesi ve prosesin adaptasyonunu sağlamada kullanılmaktadır (Meral, vd., 2010).

Tablo 1.1: Tahıl Ürünlerinde Kullanılan Reolojik Metotlar (*Dobraszczyk ve Morgenstern, 2003*)

Metot	Ürünler	Ölçülen Özellikler
<i>Ampirik yöntemler</i>		
Karıştırıcılar: farinograf, miksoğraf, reomikser	Hamur	Karıştırma süresi /görünür tork viskozitesi
Ekstensograf	Hamur	Uzama kabiliyeti
Taxt2/Kieffer Rig	Hamur, glüten	Uzama kabiliyeti
Alveograf	Hamur, glüten	Çift eksenli uzama kabiliyeti
Amilograf, RVA sıcaklığı	Salça, süspansiyonlar	Görünür viskozite, jelatinizasyon
Konsistometre	Soslar, dolgular	Görünür viskozite
Akış kabı	Sıvılar, soslar, yağlar	Görünür viskozite
Özel amaçlı (Falling ball)	Sıvılar	Görünür viskozite
Akış viskozimetreleri	Sıvılar, salça	Görünür viskozite
Fermentometreler	Hamur	Yükseklik (Height), Hacim
Penetrometreler (hardness)	Yarı-katı gıdalar, jeller	Sıklık (Firmness), sertlik
Tekstür metre, TPA	Katı gıdalar	Tekstür, sıklık (firmness)
<i>Temel yöntemler</i>		
Dinamik salınım, eş merkezli silindir, paralel plakalar	Sıvılar, salça, yağlar, hamurlar	Dinamik kayma modülü, dinamik viskozite
Tüp viskozimetreler: kapiler, basınç (viscosity) ekstrüzyon, boru akışı	Sıvılar, soslar, salça, hamur	Viskozite, viskozite, aynı eksenli viskozite (in-line)
Geçici akış: eş merkezli silindir, paralel plakalar	Yarı-katı (visko-elastik) materyaller	Sürünme, gevşeme, katsayısı ve süresi
Uzama: tek eksenli, çift eksenli, hamur şişirme sistemi, yağlanmış sıkıştırma	Katı gıdalar, hamurlar	Uzama viskozite, gerinim katılaşması

Hamur tek veya çift eksenli olarak genişmekte ve hamurun bu özelliklerini ölçebilen enstrümantal cihazlar bulunmaktadır. Özellikle tek eksenli genişmeyi ölçen çok sayıda test cihazı bulunmaktadır. Bu cihazlardan biri olan Ekstensograf, uzun yıllardan beri kullanılan ampirik bir test cihazıdır. Bir diğer cihaz olan Farinograf hamurun yoğurma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Miksograf cihazında hamurun yoğurmaya karşı mukavemeti (direnci) ölçülürken alveograf ise, hamurun uzamaya (şişmeye) karşı olan direnci ölçülmektedir (Ktenioudaki, vd., 2011; Aydoğan, vd., 2012).

1.5.1. Ekstensograf

Ekstensograf hamurun tek eksenindeki uzamasını ölçmek için uzun yıllardır kullanılan ampirik bir test yöntemidir. Bu yöntem Simon Ekstensometre, Brabender Ekstensograf ve Stable Micro Systems Kieffer hamur/glüten uzatılabilirlik testini içerir. Ekstensografta yapılan ölçümler bize hamurların reolojik özellikleri hakkında fikir verir. Bu sayede pişirme kalitesi ile ilgili yorum yapılabilir. Bununla birlikte birkaç dezavantaj mevcuttur. Kuvvet ve uzama sırasıyla Newton ve gerginlik ile ifade edilmez, deforme edilen hamur miktarı uzatma ile artar ve bu nedenle Ekstensograf kurvelerinin gerilme ve gerinim eğrilerine dönüştürülmesi kısıtlanır (Aydoğan, vd., 2012).

Ekstensograf ile ölçülen hamurun kuvveti (direnci) ve uzayabilirlik değeri, buğdayın işleneceği ürünü belirlemek için kullanılır. Uzama kabiliyeti, ürünün pişme performansı ve nihai kalitesiyle ilgili bilgi sağlar. Ayrıca hamurun fermantasyonu sırasında oluşan değişimler belirlenerek prosesle ilgili de önemli bilgiler sağlanacağı belirtilmektedir. Unun protein içeriği hem uzama kabiliyeti hem de hamur direncini etkilemektedir. Protein miktarı arttıkça, maksimum hamur direnci de artmaktadır. Bu ise, son ürün kalitesini etkileyen bir durumdur (Aydoğan, vd., 2012).

1.5.2. Farinograf

Farinograf, hamurun yoğurma sırasındaki reolojik özellikleri ile gluten proteinlerinin hamur oluşturma özellikleri (miktar ve kalitesi) hakkında bilgi edinmemizi sağlayan cihazdır. Bu reolojik özellikler unun su absorpsiyonu, gelişme

süresi, yoğurma tolerans indeksi, stabilitesi ve yumuşama derecesidir. Glüten proteinleri kaliteli ise unun yumuşama derecesi düşüktür. Bu özelliklerin bilinmesi unun ekmeklik özellikleri hakkında bilgi verir (Aydoğan, vd., 2012).

Farinograf kurvelerinden:

- Su absorpsiyonu 500 BU hamur konsistensini sağlamak için gerekli su yüzdesi,
- Hamur gelişim süresi (DDT, Dough Development Time), hamurun maksimum konsistense ulaşma süresi yani kurvenin başlangıcı ile tepe noktasına ulaşması arasında geçen süre,
- Stabilite derecesi (500 BU hamur konsistensinde kaldığı süre), bozulma süresi yani eğrinin tepesinin kalıcı olarak 500 BU çizgisinin altına düşene kadar geçen süre,
- Yoğurma tolerans indeksi (MTI, Mixing Tolerance Index), kurvenin tepe noktası ve tepe noktası artı 5 dakika arasındaki farkın BU cinsinden değeri,
- Yumuşama derecesi, gelişme süresinden 12 dakika sonra tutarlılık çizgisi ile tork eğrisinin orta çizgisi arasındaki farkın BU cinsinden değeri,
- Son olarak farinograf kalite numarası (FQN) eğrinin, diyagramın orta çizgisine dayalı olarak maksimumdan sonra 30 BU kadar azaldığı eğrinin noktası olarak belirlendi (Mohammed, vd., 2012).

1.5.3. Diğer Ölçüm Metotları

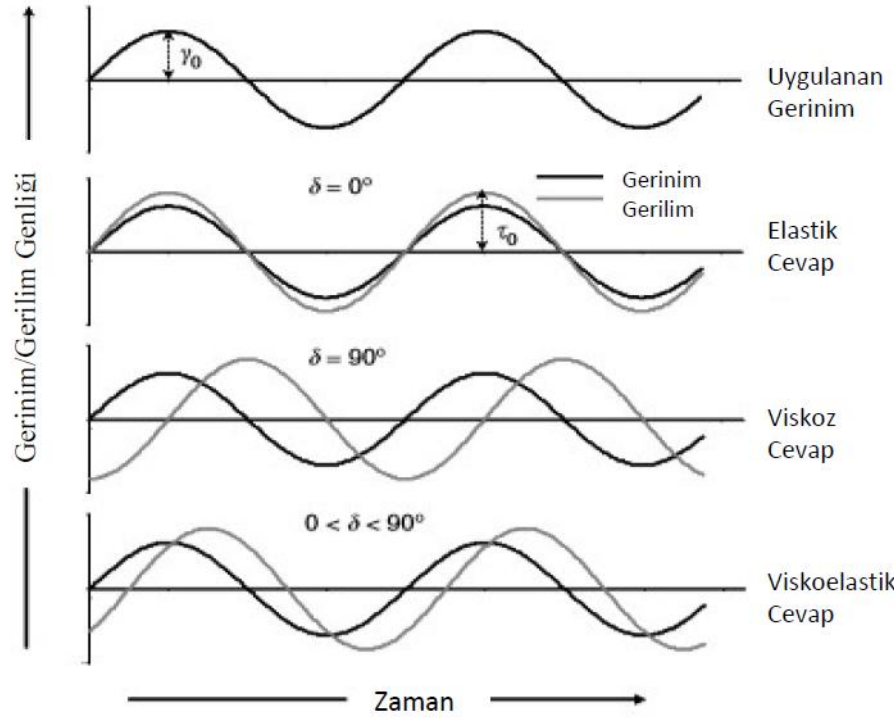
Alveografta ölçüm prensibi; sabit şartlar altında un, tuz ve su ile hazırlanan hamurdan belirli bir ağırlıkta kesilen ve belli şekiller verilen parçaların bir süre bekletilip içerisine hava verilerek şişirilmesi ve böylece hamurun uzamaya (şişmeye) karşı gösterdiği direncin ölçülmesidir. Hamurun uzamaya karşı gösterdiği direncin bir kurve halinde kaydedilmesiyle elde edilen kurvenin şekli, büyüklüğü ve şişen hamurun patlama esnasındaki hacmi bize unun ekmeklik değeri hakkında fikir verir. Ayrıca ekmeğin hacmi, tesktürü, iç rengi ve sertliği de alveografтан elde edilen veriler ile ilişkilendirilir (Aydoğan, vd., 2012).

Miksograf ise; sabitleştirilmiş ve dönen pimlerin kombinasyonu kullanılarak un ve suyun karıştırılma esasına göre çalışır. Hamurun yoğrulmaya karşı direncini, optimum yoğrulma süresini ölçerek buğday ve un kalitesini tahmin eden bir

laboratuvar cihazıdır. Ölçüm sonuçlarıyla bir kurve elde edilir. Bu kurvenin tepe noktası hamurun optimum gelişmeye sahip olduğu zamandır. Optimum gelişme için geçen süre gluten proteinlerinin kalitesi ile ilgilidir (Aydoğan, vd., 2012).

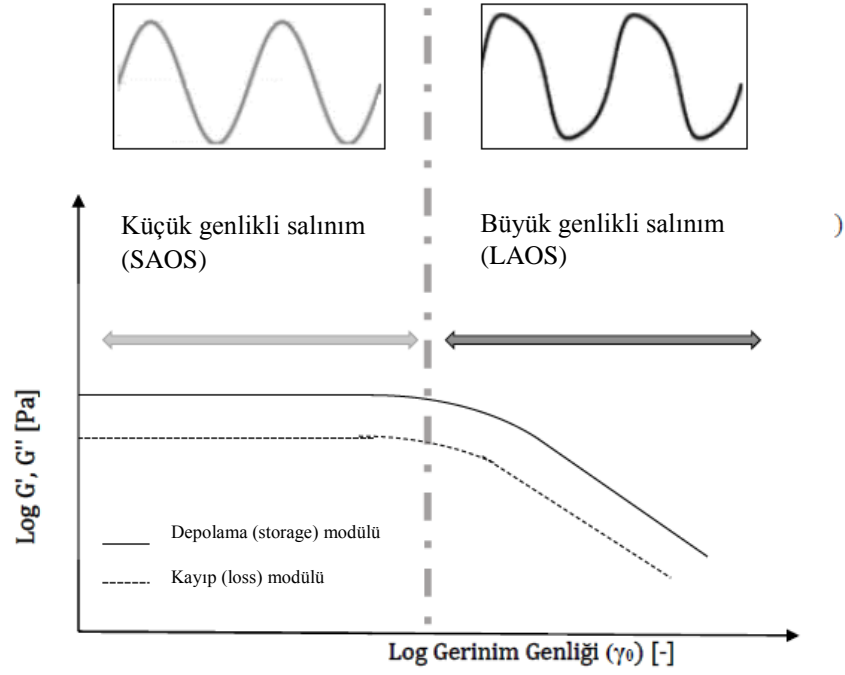
1.5.4. Küçük Genlikli Salınımlı (SAOS) ve Büyük Genlikli Salınımlı (LAOS) Gerilme/Kayma Testleri

Gıda maddelerinin çoğu gerek üretim aşamalarında ara ürün olarak gerekse son ürün olarak visko-elastik özellik göstermektedir. Viskoelastik özellik gösteren gıda materyallerinin gerinime bağımlı olanlarına doğrusal olmayan viskoelastik, bağımlı olmayanlarına ise doğrusal viskoelastik denir (Dogan ve Kokini, 2006). Örneğin hamur materyali, düşük gerinim değerlerinde doğrusal viskoelastik davranış gösterirken yüksek gerinim değerleri altında doğrusal olmayan bir davranış sergiler (Mirsaeedghazi, vd., 2008). Bu davranışların tespiti için küçük genlikli (SAOS) ve büyük genlikli salınım (LAOS) testleri kullanılmaktadır. Bu testler ile materyallerin hem elastik hem de viskoz özellikleri birlikte tespit edilebilir (Ewoldt, vd., 2008). Dinamik salınımlı kayma testlerinde, analiz boyunca materyale değişken gerinimler uygulanır ve zamana bağlı olarak verdiği mekanik cevap ölçülür. Genellikle sabit frekansta uygulanan gerinimin genliği kısa olduğu zaman doğrusal davranış gösteren materyaller, genlik boyu uzadıkça doğrusal özelliğini kaybederek Şekil 1.5'teki gibi doğrusal olmayan davranış göstermeye başlar (Gunasekaran ve Ak, 2000).



Şekil 1.5: Faz Açısına Bağlı Olarak Gerinim Girdi ve Çıktısının Değişimi (Maviş, 2019)

Küçük salınımlı kayma testi (SAOS) materyalin doğrusal viskoelastik davranış gösterdiği bölgede (LVER), depolama (G') ve kayıp modüllerini (G'') tanımlar (Ptaszek, 2017). Gıda materyallerinde çoğunlukla bu klasik reolojik test kullanılmaktadır. Fakat bu test, sadece numunenin gerilim ve gerinime verdiği ilk yanıtı tanımlamada kullanılabilir. Daha yüksek gerinim değerlerinde numune Şekil 1.6'daki gibi doğrusal olmayan davranış göstereceğinden dolayı, o aşamalarda bu testi kullanmak davranışların karakterizasyonu ve ayırt edilmesi için yetersiz kalabilmektedir (Yazar, 2016). Bu nedenle, yüksek gerinimlerde LAOS testi kullanılmalıdır.



Şekil 1.6: Sabit Bir Frekansta Gerinim Süpürme Tarama Testi (Yazar, 2016)

Büyük salınımlı kayma testi (LAOS) karmaşık yapıdaki materyallerin doğrusal olmayan bölgedeki (N-LVER) davranışların ölçülmesinde kullanılabilir. Ancak bu testin kullanımı gıda alanında çok fazla yaygın değildir (Ptaszek, 2017). SAOS testleri ile belirlenemeyen doğrusal olmayan davranışlar LAOS testleriyle belirlenebildiği için LAOS, son yıllarda reolojik çalışmalarda dikkat çekmeye başlamıştır. Literatür incelendiğinde glütenin yapısı ve buğday unu hamur numuneleri için de LAOS testi çalışmaları yapıldığı görülmektedir. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada, hamur numunesine yüksek gerinimler uygulanarak hamur yumuşama davranışını tanımlamak amaçlanmıştır (Phan-Thien, vd., 2000). Yazar, vd., (2016)'nin hamur üzerinde yaptığı LAOS testi çalışma sonucunda ise bütün numunelerin gerinim katılaşması ve kayma incelmesi davranışı gösterdiğini belirtmiştir. Yapılan başka bir çalışmada sert ve yumuşak buğday unu hamurlarına %200 oranında yüksek bir gerinim uygulanmış ve numunelerinin doğrusal olmayan davranış sergiledikleri tespit edilmiştir (Ducarci, vd., 2017). Klein, vd., (2008), tarafından yapılan çalışmada ise, doğrusal bölgede SAOS ile gözlenemeyen farkların LAOS testi ile doğrusal olmayan bölgede gözlemlendiği belirtilmiştir.

LAOS testlerinde depolama (G') ve kayıp modülleri (G'') için gerinim incelleme ve sertleşmesi ile zayıf ve güçlü gerinimin aşımı olarak belirlenmiş dört özel durum bulunmaktadır (Özmen, 2019).

1.6. Toz Akış Ölçüm Cihazı (Powder Flow Tester)

PFT son yıllarda toz akış özelliklerini belirlemek için geliştirilmiş bir cihaz olup PFT kullanılarak elde edilmiş verileri içeren az sayıda yayınlanmış çalışma mevcuttur. Yeni bir test cihazı olarak lineer olmayan bölgedeki hamurun reolojisi ve davranışını değerlendirmek için potansiyel kullanımı araştırmaya ve kullanılabilir bilimsel veriler elde etmeye yardımcı olabilir. Daha önce Jenike Kayma Test Cihazı için kullanılan ASTM D6128 test yöntemi PFT ile uyumludur. PFT cihazının özel olarak tasarlanmış örnek hücresi (230 cm^3 , 15,2 cm iç çap) hareketli üst çene ve hareketsiz alt haznedan oluşmaktadır (Şekil 1.7a). Hazne alüminyumdan yapılmış ve numunenin muhafazası için halka şeklindedir. Haznenin dibinde, numuneyi yerinde tutan delikli bir elek bulunur. Bu sayede dipteki hamur malzemesi hazne döndüğünde pürüzsüz metal yüzey üzerinde kaymaz. Üst kapak, hazne içerisine yerleştirilen hamur parçasını sıkıştıran ve kesme gerilimi oluşturan 18 küçük bölmeye sahiptir (Şekil 1.7b). Alt hazne sabit dururken üst çene, değişken sıkıştırma gerilmelerini (σ_1) uygulamak için yatay olarak hareket eder ve numune üzerinde oluşturulan kesme gerilmelerini ölçmek için döndürülür. PFT için temel ölçüm prensibi, materyalin sıkıştırmadan sonra akması veya deforme olması için gereken gerilimi (σ_c) temsil eden numune materyalinin verim odağını ölçmektir. σ_1/σ_c oranı test edilen materyalin deformasyon davranışı ile orantılıdır. Oranın yüksek değeri >10 ise zayıf materyal, düşük değeri <1 ise güçlü materyal demektir.

- i) Belirli bir yük için kritik durum olan maksimum sıkıştırma için tekrarlanan kesme gerilimi sabit durum değerleri, kesme öncesinin birkaç tekrarı ile elde edilir; yani, **sıkıştırma adımı (consolidation step)**;
- ii) Kesme adımına ulaşmak için normal bir yükün, sıkıştırma adımına eşit olduğu koşullar, yani her bir akma lokusundaki (yield locus) en büyük normal gerilime sahip aşırı sıkıştırma adımı (**over-consolidation step**) (Salehi, vd., 2017).

Akma lokusu (yield locus), verileri normal ve kayma gerilmelerine göre karşılık gelen veri noktasıyla eşit şekilde katkıda bulunan diğer kayma aşamaları ile

türetilmiştir. Sonuç olarak, ek bir kesme aşaması veri noktasının dâhil edilmesinden kaynaklanan fark, doğrusallaştırılmış akma lokusu (linearized yield locus) için hesaplanan uyum ve içsel sürtünme açısının değerlerini etkileyebilir (Salehi, vd., 2017).

PFT’de gerilme-kırılma basınçları (Pa) yanında yığın yoğunluğu değerleri de ölçülebilmektedir. Bir unun yığın yoğunluğu (g/cm^3), herhangi bir sıkıştırma etkisi olmadan ölçülen yoğunluktur (Chandra, vd., 2015). Başka bir deyişle, bir materyalin yığın yoğunluğu, işlenmemiş bir numunenin kütesinin ve hacminin oranıdır. Gıda endüstrisinde paketleme, taşıma ve işleme aşamalarında önemli bir parametredir.

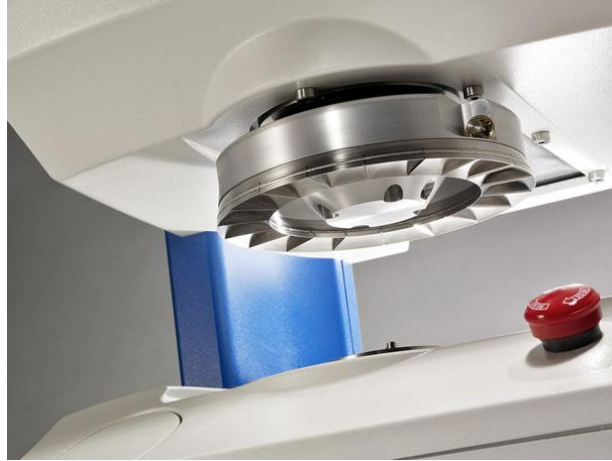
Hamur numunelerinde oluşan gerilimlerin PFT kullanılarak yapılan ölçümlerinde özel olarak dizayn edilmiş bir ölçüm hücresi kullanılmıştır (Şekil 1.7b). Bu çalışmada kullanılan aparat, dış halka çapı 152.4 mm olan 230 cm^3 iç hacmine sahip, halka şeklinde olan haznedeki numune üzerine kapak tarafından dikey bir sıkıştırma uygulayan, bir dairesel kesme test cihazıdır.

PFT ölçümleri, cihazla beraber gelen paket program (Powderflow Pro V1.2) kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler bu program yardımı ile işlenmiştir. Analiz sonuçları grafikler şeklinde alınarak değerlendirilmiştir (Slettengren, vd., 2015).

(a)



(b)



Şekil 1.7: (a) PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı), (b) PFT'nin Özel Olarak Tasarlanmış Hareketli Üst Çenesi

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Dört farklı ticari un örneği (*K*: sert buğday unu, *S*: tam buğday unu, *M*: özel amaçlı buğday unu ve *MC*: *M* ve nohut unu karışımı) dört kategoride değerlendirilmek üzere seçildi (*S*: güçlü, *K*:orta, *M*:zayıf ve *MC*: nohut unu katkılı zayıf). Un örnekleri İstanbul'da yerel bir süpermarketten alındı.

2.2. Metot

2.2.1. Un Numunelerinin Kimyasal Analizi

Dört un örneğinin kimyasal bileşimi (protein içeriği, nem içeriği ve kül içeriği) AOAC, (2000) metoduyla analiz edilmiştir. Örneklerin kuru ve yaş gluten içeriklerini belirlemek için AACC 38-10 metodu kullanılmıştır (AACC, 2000).

2.2.2. Hamur Hazırlama

Her bir un numunesi ve deiyonize su yaklaşık 25°C'de ayrı ayrı karıştırılmıştır. Hamur numuneleri, ortam rutubeti altında, klimalı bir laboratuvarında, 10 dakika süreyle parmaklar ile plastik bir kap içinde 160 gram parti halinde karıştırılmıştır. Unun ilave suya oranı 1,67'ye ayarlanmıştır (60 ml suyun 100 gram un ile karıştırılması) (Patel ve Chakrabarti-Bell, 2013). Hamur örnekleri, reolojik testler yapılmadan önce dinlendirilmemiş ve karıştırmadan hemen sonra reometre plakasına ve toz akış test cihazına (PFT) aktarılmıştır. Analiz için dört farklı un örneğinden dört farklı hamur numunesi hazırlanmıştır.

2.2.3. Hamurların Yoğrulma ve Gerilme Özellikleri

Un örneklerinin hamur yoğurma ve germe özellikleri farinograf ve ekstensograf enstrümanları (Brabender, Duisburg, Almanya) kullanılarak incelenmiştir. Ekstensograf testleri AACC-metodu 54-10.01'e göre, farinograf ölçümleri ise AACC-metodu 54-21.02'ye göre 300 g'lık numunelerde yapılmıştır. Tüm ölçümler 25°C'de gerçekleştirilmiştir (Hardt, vd., 2014).

Analiz için 30-90 dk tutulan hamur numuneleri farinograf ile hazırlanmıştır. Hazırlanan bu hamur numuneleri ekstensografik ölçümlerde de kullanılmıştır. Ekstensograf kurvelerinden elde edilen parametreler; enerji (A) (hamurun cm²'de gerdirilmesi için uygulanan iş), 50 mm germeden sonra sürekli deformasyona karşı direnç (R50), kat edilen mesafe olan uzama kabiliyeti (E), kanca test parçasına temas ettiği andan itibaren test parçasının kopmasına ve son iki parametre arasındaki orana (R50/E) ait olan kayıt cihazı kâğıdı ile enerji olarak ifade edilmiştir. Testler üç tekrarlı yapılarak ortalamaları hesaplanmıştır.

2.2.4. Dinamik Kesme (Kayma) Analizi (DSA) ile Viskoelastik Yapı Analizi

Dinamik reolojik özellikler, 25 mm'lik bir prob ve 25 mm'lik taban plakasından oluşan plaka-plaka konfigürasyonuna sahip kontrollü bir gerilim reometresi (Anton Paar, MCR 302, Anton Paar Gmbh, Graz, Avusturya) kullanılarak ölçülmüştür. Sullivan, vd., (2010)'nin yöntemi bazı modifikasyonlar yapılarak kullanılmıştır. Dinlendirilmemiş örnekler hava geçirmez bir kaba konularak reometreye yüklenmiştir. Hamur numuneleri plakalar arasında sıkıştırılmış ve fazla hamur dikkatlice kesilerek açığa kalan kenarlar vazelin ile kaplanmıştır. Boşluk 2 mm'ye ayarlanarak kalan gerilmelerin gevşemesini sağlamak için numunenin 20 saniye dinlenmesine izin verilmiştir. Bütün sistem 20°C sıcaklık ayarlı peltier bir başlık kullanılarak kapatılmıştır. Genlik tarama testi lineer viskoelastik bölgeyi (LVR) belirlemek için %0,01-100 gerinim aralığında 10 rad/sn'de gerçekleştirilmiştir. Frekans taraması, 20°C'de %0,1 gerinim ve 1-10 Hz frekans (f) aralığında çizilen mekanik bir spektraya dayanmaktadır. Salınımlı kesme testlerinde, numunelere artan bir frekansa sahip bir sinüzoidal salınım gerilimi/gerinimi uygulanmıştır. Numunenin sinüzoidal gerinimine karşı genel yanıtı, kompleks modül G^* denklemi ile karakterize edilmiştir.

$$G^* = [(G')^2 + (G'')^2]^{1/2} \quad (2.1)$$

Elastik (depolama modülü) G' ve viskoz (kayıp modülü) G'' frekansın bir fonksiyonu olarak hesaplanır:

$$G' = G^* \cos \delta \quad (2.2)$$

$$G'' = G^* \sin \delta \quad (2.3)$$

ω çizimleri G' ve G'' 'ye karşı dinamik reolojik veri grafikleri doğrusal olmayan regresyona tabi tutulmuş ve kesişimlerin büyüklükleri (K' ve K''), eğimler (n' ve n'') ve R^2 aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Rao ve Cooley, 1993; Yoo ve Rao, 1996):

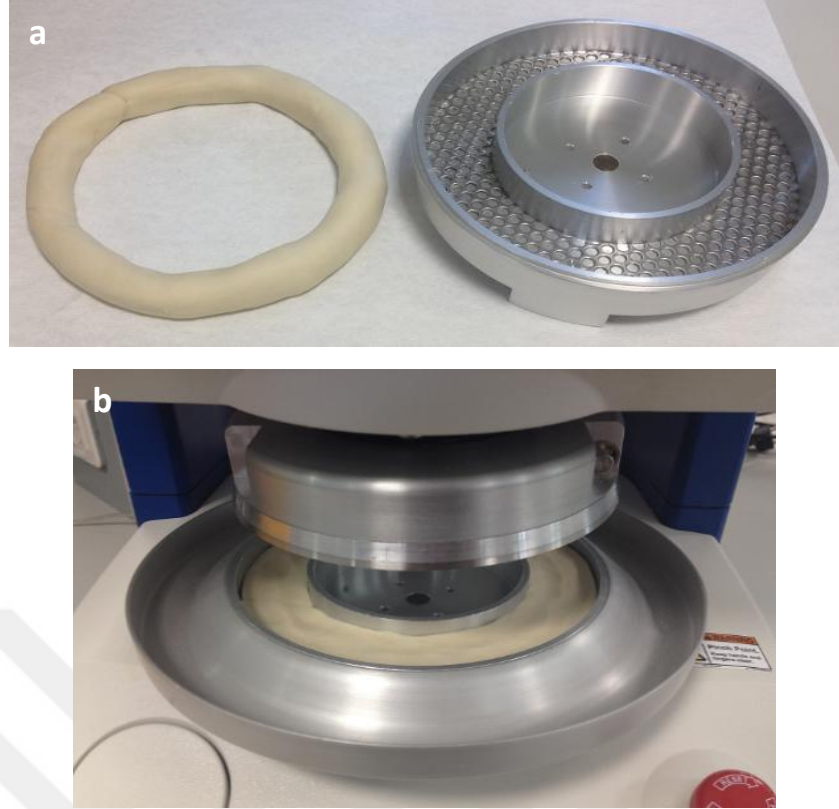
$$G' = K'(\omega)^{n'} \quad (2.4)$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \quad (2.5)$$

2.2.5. PFT ile Kopma Dayanımı ve Yığın Yoğunluğu Analizi

Bu çalışmanın önemli bir aşaması olarak hamur numunelerinin reolojik özellikleri Brookfield Engineering Laboratories Inc. tarafından son yıllarda geliştirilen Powder Flow Tester (PFT) (Toz akış ölçüm cihazı) (Middleboro, MA, ABD) kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla Salehi, vd., 2017 tarafından belirtilen metot kullanılmıştır.

Hamur numunesi ilk önce elle silindirik bir şekle getirilmiş ve numunenin iki ucu birleştirilerek bir daire oluşturulmuştur (Şekil 2.1a). Sonrasında daire şeklindeki silindirik hamur numunesi PFT hücresine yerleştirilmiştir. Düzgün bir dağılım elde etmek için el ile hafifçe bastırılmıştır (Şekil 2.1b). Hamurun yüzeylere yapışmasını en aza indirmek, testten sonra üst kapağın çıkarılmasını kolaylaştırmak için hamuru hücreye yerleştirmeden önce üst kapak ve alt plaka bir un tabakası ile kaplanmıştır.



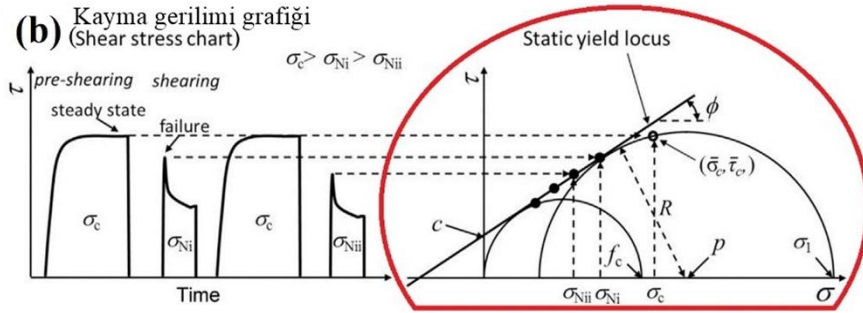
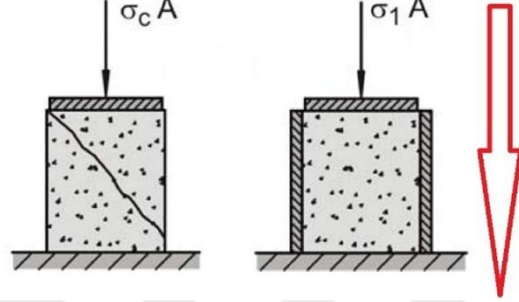
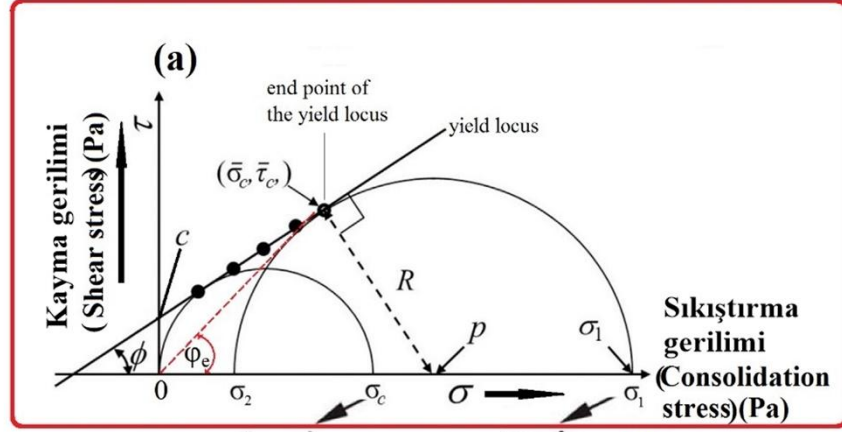
Şekil 2.1: (a) PFT (Toz Akış Ölçüm Cihazı) Haznesi (Alt Plaka), (b) Dış Toplama Tepsisi ve Hamur Numunesinin Alt Plakaya Yerleştirilmesi

PFT üst kapağının yaklaşma hareketinin aksenal hızı ve haznenin dönme hızı sırasıyla 1,0 mm/sn ve 5 devir/sa olarak ayarlanmıştır. **Sıkıştırma noktalarının (consolidation step)** sayısı; akma lokuslarının sayısı ve **aşırı sıkıştırma noktaları (over-consolidation step)**; yani, her bir akma lokusundaki noktaların sayısı sırasıyla 5 ve 3'e ayarlanmıştır (kesme öncesi adımın aynı normal gerilmesindeki son kesme noktası dâhil). Tüm deneylerde maksimum normal gerilme maksimum 5 kPa olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler beş maksimum asal sıkıştırma gerilimi aralığında (yaklaşık 500, 1000, 1500, 3000 ve 5500 Pa değerlerini üreten geometrik bir ilerlemede) deformasyonu ölçen standart 5 noktalı bir gerilim test programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PFT, Powder Flow Pro V1.2 yazılımıyla sağlanan kişisel bir bilgisayara (PC) bağlanmıştır.

PFT'de, gerilme-kırılma basınçları (Pa) yanında, cihazın kendi analizlerinden olan yığın yoğunluğu değerleri de ölçülmüştür.

2.2.6. Metodun Geometrik Analizi

Normal gerilmelerin ve kayma hareketinin tanımlanması için gerekli olan akma lokusu (yield locus), Şekil 2.2 (a)'da belirtilmektedir. Burada, tek eksenli sıkıştırma testi ve kayma gerilimi arasındaki benzerlik (analog) kullanılarak akma lokusu görülmektedir (Schulze, 2008). Aslında, kararlı koşullardaki/denge halindeki akış (steady state flow) ve tek eksenli sıkıştırmadaki gerilme daireleri arasında bir fark vardır. Tek eksenli bir sıkıştırma testinde, serbest akma dayanımı (unconfined yield strength) bir kesme testinde olduğundan daha küçüktür (Schulze, 2008). Jenike (1964), kararlı koşullardaki/denge halindeki akışı (steady-state flow) temsil eden, büyük olan Mohr dairesine teğet olacak şekilde σ, τ -diyagramının orijininin geçen düz bir çizgi tanımlamıştır (Şekil 2.2a'daki kesikli kırmızı çizgi).



Şekil 2.2: (a) Kesme Öncesi (pre-shearing) Aşamasında Gerilim Durumunun Hesaplanması İçin Varsayımsal Grafik ve Tek Eksenli Sıkıştırma Testine İlişkin Akma lokusu (yield locus) Benzetmesinin Geometrik (Nedderman, 1992). (b) Akma Lokusunun (yield locus) değerlendirilmesi (Schulze, 2008; Salehi, vd., 2017' den uyarlanmıştır).

Her akma lokusu, farklı gerilme seviyelerinde uygulanan sıkıştırma ve kesme basıncına karşı oluşan direnci ifade eder (Schulze, 2008). Özetle, serbest akma dayanımı ve etkili içsel sürtünme açısı sıkıştırma geriliminin bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir, (σ_1).

2.2.7. PFT Verilerinin Matematiksel Analizi

Şekil 2.2.a'da, kesme öncesi noktasındaki akma lokusuna teğet olan, kesme öncesi fazdaki gerilim durumunu temsil eden (Mohr yarı dairesi) görülmektedir (Salehi, vd., 2017). Mohr dairesinin yarıçapı (R) belirlenir ve bu merkezin koordinatını (p) aşağıdaki gibi hesaplamak mümkündür:

$$R = \bar{\tau}_c / \cos \phi \quad (2.6)$$

$$p = \sigma_c + \bar{\tau}_c \tan \phi \quad (2.7)$$

Kesme öncesi noktasının ($\sigma_c, \bar{\tau}_c$), statik akma lokusunun regresyon çizgisine karşılık geldiği veya bunun biraz üzerinde olduğu durumlarda, denklem (2.6) ve (2.7) uygulanmıştır. Sadece bu durumlar için, C ve ϕ kesme öncesi dâhil olacak şekilde yeniden çalışılmış olan “akma noktalarındaki regresyon” ile elde edilmiştir.

En çok karşılaşılan diğer durumlar, kesme öncesi noktasının ($\sigma_c, \bar{\tau}_c$) statik akma lokusunun regresyon çizgisinin altına karşılık geldiği durumlardır. Bu nedenle bu durumlar için, p ve R denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Salehi, vd., 2017):

$$p = C \tan \phi + \frac{\sigma_c}{\cos^2 \phi} - \sqrt{\left(C \tan \phi + \frac{\sigma_c}{\cos^2 \phi} \right)^2 - \left(\frac{\bar{\tau}_c^2 + \sigma_c^2}{\cos^2 \phi} \right) + C^2} \quad (2.8)$$

$$R = \sqrt{(p - \sigma_c)^2 - \bar{\tau}_c^2} \quad (2.9)$$

Şekil 2.2 (a) ve (b) ile temsil edilen açıklamalara dayanarak asal gerilme (σ_1) ve serbest akma (kopma) dayanımı, f_c tüm durumlar için aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\sigma_1 = p + R \quad (2.10)$$

$$f_c = 2C \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2.11)$$

2.2.8. DSA ve PFT Parametreleri Arasındaki Korelasyonlar

DSA ve PFT verileri arasında bir korelasyon olup olmadığını belirlemek için; DSA'dan elde edilen viskoelastik parametreler (depolama ve kayıp modülü) ile PFT'den elde edilen değişen sıkıştırma gerilim değerleri (500 ila 5500 Pa) altında ölçülen kopma dayanımı ve yığın yoğunluğu değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

2.3. İstatistik Analizler

Hesaplanan ortalama değerler arasındaki farklılıkların önem derecelerini belirlemek için Minitab 17.3.1 (Minitab, Inc., State College PA, ABD) programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalama değerler arasındaki farklılıklar Tukey's çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir ($p < 0,05$). Değişkenler arasındaki korelasyonlar ise Pearson Testi ile analiz edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Un Karakteristikleri

Bu çalışmada kullanılan un örneklerinin temel bileşimi Tablo 3.1’de verilmektedir. Tablo 3.1’de görüldüğü üzere, *S* un numunesi diğerleri arasında en yüksek protein içeriğine sahiptir. *M*’nin protein içeriği, *K* numunesinden daha yüksek bulunmuştur. *M*’ye 15:85 (ağırlıkça) oranında nohut unu ilavesi ile numunenin protein ve kül miktarı yaklaşık %20 artmıştır. Bunun nedeni, nohutunun buğday unundan daha yüksek protein içeriğine sahip olmasıdır. *S* numunesi, diğer un numuneleri arasında hem yaş hem de kuru gluten bakımından en yüksek miktarlara sahiptir. *K* ve *M* numuneleri ise yaklaşık olarak aynı miktarda yaş ve kuru glutene sahiptir.

Tablo 3.1: Test Edilen Farklı Un Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonları

Un örnekleri [†]	Protein (14,5 g/100 g MC’de g/100 g)	Kül (g/100 g)	Nem (g/100 g)	% Yaş Glüten	% Kuru Glüten
<i>K</i>	8.00±0.8 ^c	0.70±0.04 ^c	14.5±0.8 ^a	25.2±0.8 ^b	10.2±0.2 ^b
<i>S</i>	12.1±0.5 ^a	1.20±0.06 ^a	14.0±0.4 ^a	37.4±1.5 ^a	13.7±0.3 ^a
<i>M</i>	10.0±0.9 ^{ab}	0.55±0.02 ^d	14.3±0.6 ^a	23.1±1.2 ^c	10.2±0.6 ^b
<i>MC</i>	11.8±0.8 ^a	0.91±0.01 ^b	14.1±0.9 ^a	19.7±1.0 ^d	8.60±0.5 ^c

[†] *K*: sert buğday unu, *S*: tam buğday unu, *M*: özel amaçlı buğday unu, *MC*: nohut unu ile *M*’nin karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

^{a-d} Her sütündeki, farklı üst simge harfler, ortalama değerler arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir ($p<0,05$).

3.2. Un Örneklerinin Karışım Özellikleri

Farinograftan elde edilen, un örnekleri arasında farinogram özellikleri bakımından önemli farklılıklar olduğunu ($p<0,05$) ortaya koyan sonuçlar Tablo 3.2’de sunulmaktadır. Buna göre *K* numunesi en düşük, *S* ise en yüksek su absorpsiyon değerine sahiptir. Farklılıklar gözlenmesinin muhtemel sebebi, un numunelerinin değişen miktarlarda gluten ve lif fraksiyonuna sahip olmasıdır (Tablo 3.1). Dikkat çekecek derecede, en uzun gelişme süresi ve stabilite *S* örneğinde gözlenmiştir (Tablo 3.2). Bu, un örneğinin yüksek miktarda protein ve gluten içermesinin sonucudur (Tablo 3.1). Genel olarak daha yüksek stabilite değeri daha güçlü hamuru göstermektedir. Tablo 3.2’de *MC* örneğine baktığımızda; aynı buğday ununa sahip olan *M*’den daha yüksek hamur stabilite değeri göstermesinin sebebini, *MC*’ye nohut unu ikame edilmesine bağlayabiliriz. Literatürde, farklı oranlarda nohut unu ikame edilen buğday unları üzerinde yapılan bir çalışmada %10 nohut unu ikame edilen hamur yüksek stabilite gösterirken artan nohut unu ikame oranlarında (%20 ve %30) stabilitenin azaldığı bildirilmiştir (Mohammed, vd., 2012). Bu veriler değerlendirildiğinde, çalışmamızdaki *MC* numunesinin nohut unu ikame oranı da %15 olduğundan, sonuçlar uyumlu olarak yorumlanabilir.

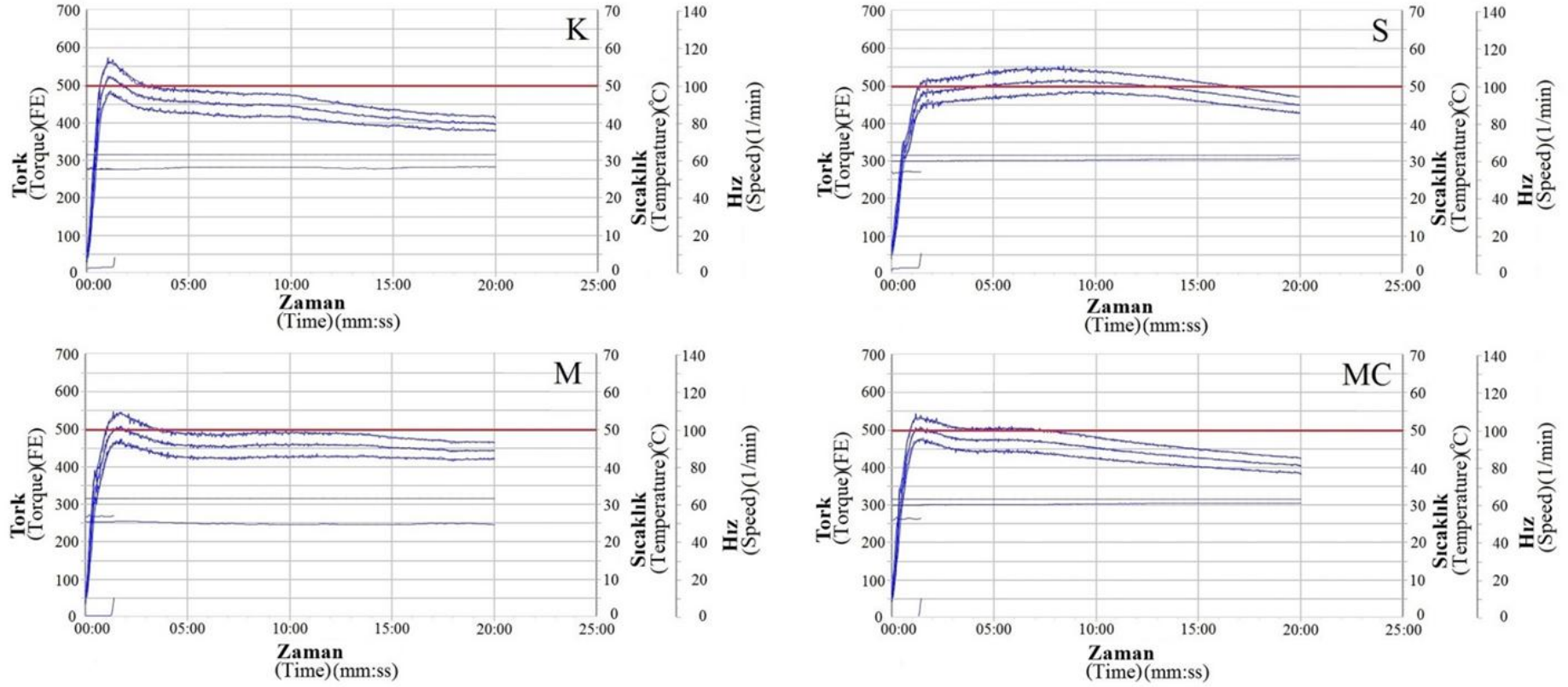
Tablo 3. 2: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Farinogram Karakteristikleri

Un örnekleri [†]	Su absorpsiyonu (%)	Gelişim süresi (dk)	Hamur stabilite süresi (dk)	Kopma süresi (dk)	Yoğurma tolerans indeksi (BU)	Farinograf kalite numarası	Yumuşama derecesi (BU)
<i>K</i>	58.1±0.5 ^c	1.35±0.23 ^c	1.67±0.43 ^d	2.02±0.18 ^d	64±2.1 ^a	26±1.4 ^d	124±3.1 ^a
<i>S</i>	66.5±0.6 ^a	8.32±0.32 ^a	12.8±1.18 ^a	14.8±1.21 ^a	24±1.8 ^d	148±3.6 ^a	68±1.8 ^c
<i>M</i>	63.3±0.9 ^b	1.67±0.26 ^b	2.33±0.08 ^c	3.20±0.12 ^c	56±0.9 ^b	32±1.0 ^c	60±1.7 ^d
<i>MC</i>	62.2±0.8 ^b	1.37±0.12 ^c	2.97±0.21 ^b	4.00±0.21 ^b	30±0.4 ^c	40±1.8 ^b	98±2.8 ^b

[†] *K*: sert buğday unu, *S*: tam buğday unu, *M*: özel amaçlı buğday unu, *MC*: nohut unu ile *M*'nin karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

^{a-d} Her sütündeki, farklı üst simge harfler, ortalama değerler arasındaki farklılıkların istatistiki olarak anlamlı olduğunu gösterir ($p<0,05$).

Standart farinograf kurvelerinde görülebileceği gibi (Şekil 3.1), değişen protein içeriklerine sahip un örnekleri ile hazırlanan hamur numunelerinin pik zamanı ve konsistens davranışlarındaki farklılıklar göze çarpmaktadır. Şekil 3.1'de *S* numunesinin, hamur numuneleri arasında farinograf enerji değeri (FE) açısından en uzun pik zamanı ve en güçlü hamur konsistensini oluşturduğu görülmektedir. *M*'ye nohut unu ikamesi *MC* örneği hamurunun davranışını önemli ölçüde değiştirmiştir. Hamur 8 dakika yoğrulduktan sonra konsistensinin azaldığı görülmektedir. *M* numunesine %15 oranında nohut unu eklenmesi, *MC* numunesinin su absorpsiyonunda ortalama %1 civarında küçük bir azalmaya neden olmuştur (Tablo 3.2). Yousseff, vd, (1976)'nin yaptıkları buğday ununun nohut unu (%5) ile ikame edilmesi çalışmasında su absorpsiyonu konusunda da bizim çalışmamızla benzer sonuca ulaşmışlardır. Buna karşın, yapılan bazı çalışmalarda buğday ununun nohut unu ile ikamesinin, toplam protein ve pentozan içeriğinin artması ve çözünmez protein fraksiyonlarının azalması nedeniyle su absorpsiyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Dodok, vd., 1993; Mohammed, vd., 2012). Bu tutarsızlık, bizim çalışmamız ile literatürde incelenen un örneklerinin kompozisyonları arasındaki farklılıklara bağlanabilir.



Şekil 3.1: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Farinogram Kurveleri; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

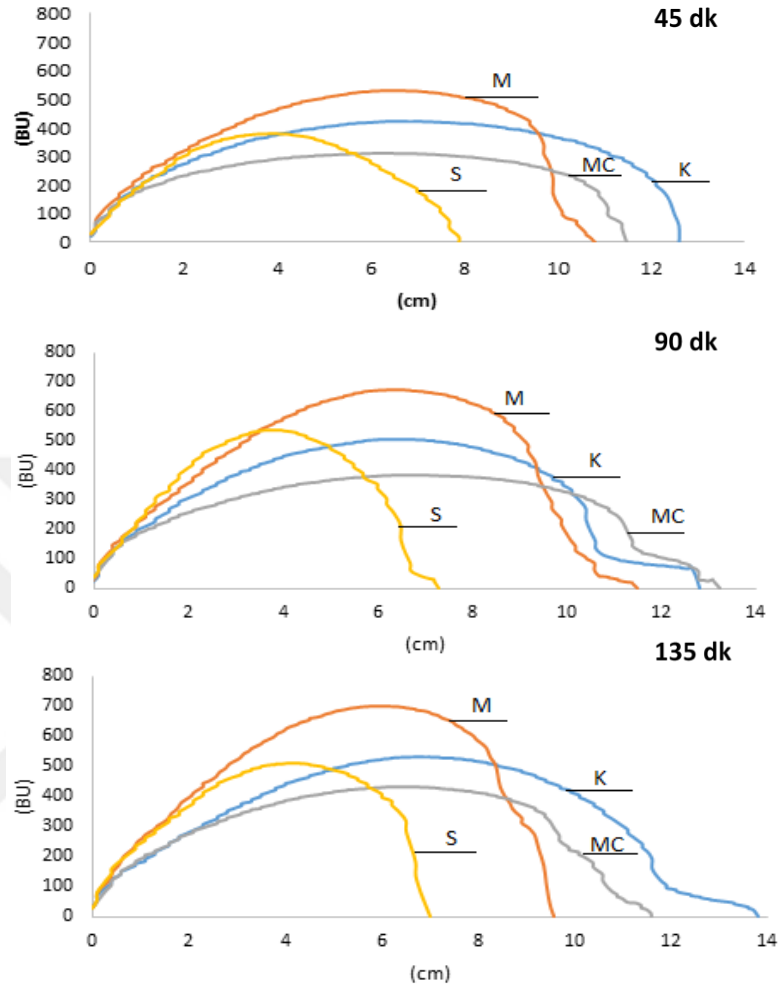
Hamur gelişme süresi (DDT-Dough Development Time), gluten ağını geliştirmek için gereken toplam enerji miktarını yansıtır. Un örnekleri arasında en uzun hamur gelişme ve stabilite süresi, *S* (tam buğday unu) örneğinde kaydedilmiştir. Bu sonuç; Rieder, vd., (2012)'nin buğday ununun tam tahıllı arpa unu-yulaf kepeği karışımı ile ikame edilmesi üzerine, DDT değerini önemli ölçüde arttırdığı sonucuyla uyumludur. Diğer farinogram özellikleri olan kopma süresi, yoğurma tolerans indeksi, farinograf kalite numarası ve düşme değerlerinde benzer olgular gözlenmiştir. Yani tam buğday unu, diğerlerine kıyasla kayda değer bir fark göstermiştir (Tablo 3.2). Literatürde yapılan diğer bir çalışmada ise nohut unu ikame edilen örneklerin, yalnız buğday unu içeren örneğe göre daha yüksek hamur gelişim süresine sahip olduğunu anlamlı bir farkla gözlemlediklerini; fakat değişen nohut unu ikame oranlarının değişen değerleri arasında anlamlı bir fark gözlenemediği raporlanmıştır (Mohammed, vd., 2012). Bu çalışma sonucunun çalışmamızın sonuçları ile paralellik göstermemesinin sebebi, unların üretildiği nohut bileşenlerinin fizikokimyasal özelliklerindeki farklılıklar olabilir.

Hamur yumuşama derecelerine bakıldığında *MC*'nin yumuşama derecesinin *M* numunesinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 3.2). Dolayısıyla, nohut ununun yumuşama derecesini arttırdığı söylenebilir. Bu numunelerin farinograf kalite numaralarında da benzer durum gözlenmiştir (Tablo 3.2). Mohammed, vd., (2012)'nin yaptıkları çalışmada, buğday ununa katılan nohut unu yumuşama derecesi için aynı etkiyi gösterirken farinograf kalite numarası değerlerinde tam tersi bir etki görülmüştür. Ayrıca farklı oranlarda harmanladıkları buğday ve nohut unu karışımlarında, nohut unu oranı arttıkça, yumuşama derecesi artmış buna karşın, farinograf kalite numarası da sürekli olarak azalmıştır. Nohut ununun eklenmesiyle hamur özelliğindeki değişiklikler, hamuru zayıflatan gluten oluşturan proteinlerin seyreltilmesine bağlanabileceği belirtilmiştir (Belitz, vd., 1986).

3.3. Un Örneklerinin Uzama Kabiliyeti

Farklı un örneklerinden hazırlanan hamur numunelerinin tipik ekstensogramları Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Ekstensogram kurveleri, *M* numunesi enerjisinin test edilen diğer örneklerden daha büyük olduğunu göstermiştir. *S* numunesi, tam tahıllı endosperm, rüşeym ve kepek bileşenlerinin bir sonucu

olabilecek en düşük enerjili tipik bir ekstensogram vermiş ve böylece glütenin yapısını değiştirmiştir. Tablo 3.3, farklı analiz süreleri için farklı unlardan hazırlanan hamur numunelerinin ekstensogram karakteristiklerini göstermektedir. Hem uzama kabiliyeti hem de maksimum uzama direnci için un numuneleri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir (Tablo 3.3). Değişen test sürelerinde, *K* numunesinden 126-138 mm aralığında en yüksek uzama kabiliyetine sahip hamur elde edilirken *S* numunesinin ise, 69-73 mm ile en düşük uzama kabiliyetine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürdeki bazı çalışmalarda, içerdiği protein seviyesinin uzama kabiliyetini etkilediği ve protein seviyesi arttıkça uzama kabiliyetinin de arttığı belirtilmektedir (Salazar-Garcia, vd., 2003; Meral, vd., 2010). Fakat bunun tam aksine, çalışmamızda yukarıda belirttiğimiz gibi en yüksek uzayabilirlik değerini veren *K* en düşük proteine sahipken en düşük değeri veren *S* numunesi ise en yüksek protein içeriğine sahiptir. Diğer taraftan, *S* numunesindeki direnç/uzayabilirlik oranının diğer örneklerden daha yüksek olduğu da kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, literatürde bildirilen bazı bulgularla uyumludur (Rieder, vd., 2012). Çalışmamızda *M* numunesine nohut unu eklenmesi, elde edilen hamurun uzayabilirlik değerlerini önemli ölçüde arttırmış ancak, farklı deneme sürelerinde uzama direnci değerleri 300 BU civarında azalma ile önemli ölçüde düşmüştür.



Şekil 3.2: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Ekstensogram Kurveleri; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

Tablo 3.3: Değişen Analiz Sürelerinde Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Ekstensogram Karakteristikleri

Un örnekleri [†]	Analiz süreleri											
	45 dk				90 dk				135 dk			
	Enerji (A ^a , cm ²)	Uzama Kabiliyeti (E, mm)	Direnç (R ₅₀ , BU)	Oran (R ₅₀ /E)	Enerji (A ^a , cm ²)	Uzama Kabiliyeti (E, mm)	Direnç (R ₅₀ , BU)	Oran (R ₅₀ /E)	Enerji (A ^a , cm ²)	Uzama Kabiliyeti (E, mm)	Direnç (R ₅₀ , BU)	Oran (R ₅₀ /E)
<i>K</i>	73.8±5.2 ^a	126.4±12.2 ^a	402±20 ^b	3.2±0.11 ^c	76.3±4.2 ^b	127.9±12.3 ^a	481±11 ^b	3.8±0.08 ^c	83.8±7.2 ^a	137.8±13.2 ^a	494±14 ^b	3.6±0.06 ^c
<i>S</i>	45.5±4.3 ^c	73.2±4.20 ^c	425±18 ^b	5.4±0.13 ^a	45.9±3.4 ^d	73.2±5.8 ^b	474±8 ^b	6.5±0.14 ^a	46.1±4.4 ^c	69.7±4.2 ^d	488±16 ^{bc}	7.0±0.11 ^b
<i>M</i>	76.8±5.1 ^a	108.0±9.3 ^{ab}	508±15 ^a	4.5±0.09 ^b	90.0±4.6 ^a	115.1±8.2 ^{ab}	643±22 ^a	5.6±0.09 ^b	84.4±5.2 ^a	95.6±4.9 ^c	684±21 ^a	7.2±0.09 ^a
<i>MC</i>	51.1±9.2 ^b	115.1±8.4 ^a	303±12 ^c	2.6±0.06 ^d	66.5±3.2 ^c	132.5±9.4 ^a	370±13 ^c	2.8±0.05 ^d	63.6±3.9 ^b	116.1±6.1 ^b	414±17 ^c	3.6±0.05 ^c

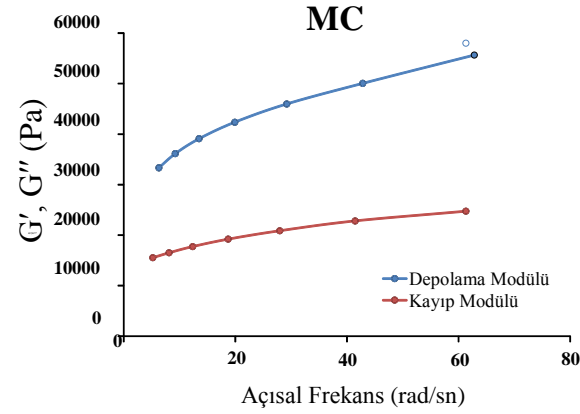
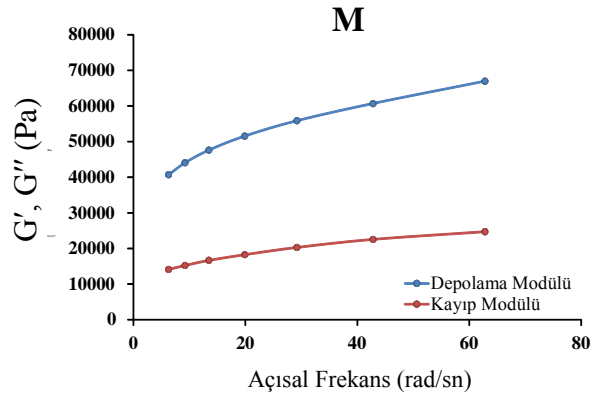
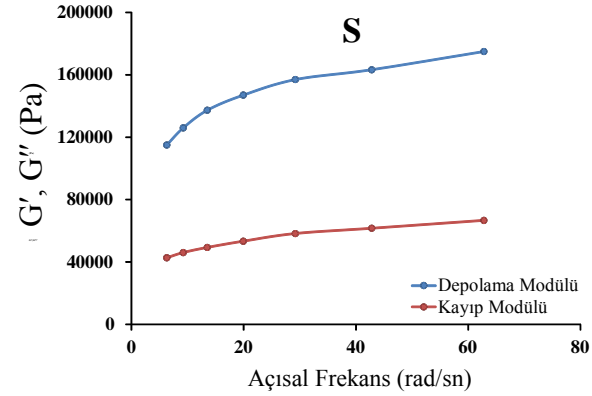
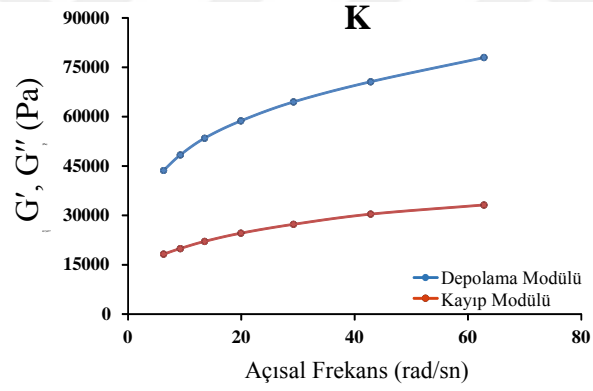
[†] *K*: sert buğday unu, *S*: tam buğday unu, *M*: özel amaçlı buğday unu, *MC*: nohut unu ile *M*'nin karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

^{a-d} Her sütundaki, farklı üst simge harfler, ortalama değerler arasındaki farklılıkların istatistiki olarak anlamlı olduğunu gösterir ($p<0,05$).

M ununa yüzde ağırlıkça 15:85 oranında nohut unu ilavesi; su absorpsiyonu ve hamur gelişme süresinde küçük, deformasyona karşı dirençte ise belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Buna rağmen hamurun uzama kabiliyetini arttırmıştır ($p<0,05$), (Şekil 3.2). Hamur stabilitesi ile ilgili olarak, daha yüksek protein içeriğine sahip olan unun (*S* örneği) diğerlerine göre daha yüksek stabilite ve mekanik karıştırma değerlerine direnç gösterdiği söylenebilir. Buna karşın *M* unu, protein içeriği daha düşük olmasına rağmen *S* unundan daha yüksek direnç göstermiştir. *M* ve *MC* numuneleri için uzama kabiliyeti, deneme süresinin 45 dakikadan 90 dakikaya çıkarılmasıyla artmış ve daha sonra düşmüştür. Hamurun optimum gelişime ulaştığı 90 dakikada, polimerlerin çapraz bağları arasındaki etkileşimlerin güçlü hale geldiği, hamurun mukavemetinin ve uzamaya karşı maksimum direncinin arttığı belirtilmiştir (Ahmed ve Thomas, 2015).

3.4. Hamur Numunelerinin Viskoelastik Özellikleri (DSA Ölçümleri)

Tablo 3.4, G' ve G'' 'nin dinamik reolojik verilere karşı frekans değişim grafiklerine uygulanan doğrusal olmayan regresyon ile hesaplanan kesişim (K' ve K''), eğim (n' ve n'') ve R^2 'nin büyüklüklerini özetlemektedir. Bu bağlamda, incelenen tüm hamur numuneleri benzer akış karakteristiği göstermiştir; diğer bir deyişle G' ve G'' 'den frekans grafiklerine göre belirlenmiş olan güç yasası modelini izleyen kayma incelleme davranışı göstermiştir (Tablo 3.4). Bu davranışın olası nedeni, kayma incelenmesi bölgesinin yapısal kırılmaya neden olan ani bir kayma sonucu meydana gelmesiyle açıklanabilir (Moros, vd., 2002; Karaman, vd., 2011).



Şekil 3.3: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Depolama Modülü, G' ve Kayıp Modülü, G'' ; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

Şekil 3.3, farklı un örneklerinden hazırlanan hamur numuneleri için frekansın bir fonksiyonu olarak G' ve G'' değerlerindeki değişiklikleri göstermektedir. Görüldüğü üzere, tüm un örnekleri için alçak frekanslı bir elastik ve viskoz modülün bağımlılığı gözlenmiştir. Başka bir deyişle, G' ve G'' 'nin frekansla artışı küçüktür. Bu davranış literatürde buğday unu için bildirilmiştir (Ferry, 1980). G' 'nin salınım frekansına olan hafif bağımlılığının “terminal” ve “geçiş” bölgeleri arasındaki mekanik spektrumun bir ara bölgesi olan “plato bölgesi” olarak bilindiği belirtilmektedir (Ferry, 1980). Hem G' hem de G'' (1'den düşük) eğiminde ve muhtemelen G'' 'de minimum bir azalma ile karakterizedir (Ferry, 1980). Buna göre, Bonnard-Ducasse, vd., (2010) buğday hamurunun viskoelastik doğasını ortaya çıkaran bu tür davranışların, viskoelastik bir ağ için tipik olduğunu ve testin sıklık penceresinin viskoelastik platonun bir kısmını çerçevelediğini bildirmiştir.

Alçak frekansa rağmen, tüm hamur numunelerinde G' ve G'' pozitif eğimler göstermiştir (Şekil 3.3). Yapı açısından bakıldığında, gerçek jeller için G' ve G'' 'ye karşı $\ln\omega$ grafikleri sıfır eğime sahipken zayıf jeller ve yüksek konsantrasyonlu dispersiyonlar için pozitif eğimler vardır. Çalışılan tüm frekans aralıklarında G' , G'' 'den daha büyüktür (Ross-Murphy, 1994). Bu nedenle, hamur örneklerinin zayıf bir jel benzeri davranış sergilediği düşünülebilir. Çünkü eğimler pozitif (Tablo 3.4) ve neredeyse birbirine paraleldir (Şekil 3.3).

Tablo 3.4: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Depolama ve Kayıp Modüllerini Tanımlayan Güç Kanunu Fonksiyonlarının Dinamik Kayma Parametreleri

Un örnekleri ‡	Dinamik Kayma (Shear) Parametreleri †					
	$G'=K'(\omega)^{n'}$			$G''=K''(\omega)^{n''}$		
	K' (Pa)	n'	R^2	K'' (Pa)	n''	R^2
K	27863 ^b	0.248	0.999	11133 ^b	0.265	0.999
S	86078 ^a	0.173	0.971	30149 ^a	0.196	0.987
M	26814 ^b	0.214	0.999	8622 ^c	0.245	0.999
MC	21999 ^c	0.221	0.999	7473 ^d	0.256	0.999

† Dinamik kayma parametreleri; G' depolama modülü, G'' kayıp modülüdür.

‡ K : sert buğday unu, S : tam buğday unu, M : özel amaçlı buğday unu, MC : nohut unu ile M 'nin karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

^{a-d} Her sütundaki, farklı üst simge harfler, ortalama değerler arasındaki farklılıkların istatistik olarak anlamlı olduğunu gösterir ($p<0,05$).

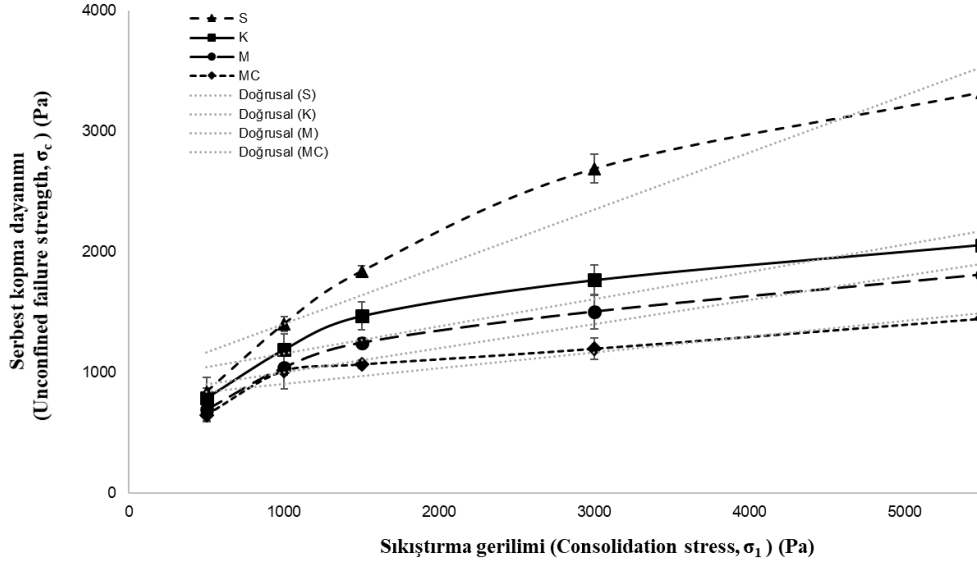
Şekil 3.3'te un örnekleri arasında önemli bir fark olduğu halde, eğriler tüm hamur numuneleri için çok benzerdir. Çalışılan tüm frekans aralığı boyunca G' ve G'' herhangi bir çakışma göstermeden, G' ($K' = 21,999-86,078$) büyüklükleri her zaman G'' ($K'' = 7,473-30,149$)'den büyüktür. Bu da, hamur numunelerinin viskozdan daha baskın elastik olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Çalışmamızdaki frekans tarama ölçüm sonuçları, buğday hamurunun reolojik özelliklerini inceleyen, her durumda depolama modülünün kayıp modülünden daha yüksek olduğunu ve hamurların elastik davranış gösterdiğini bildiren Ktenioudaki, vd., (2013)'nin sonuçları ile tutarlıdır.

Un örnekleri arasındaki farklılıklar viskoelastik parametreler açısından göz önüne alındığında; S örneğinin G' ve G'' değerlerinin dikkate değer ölçüde en yüksek olduğu ve bunu sırasıyla K , M ve MC örneği değerlerinin izlediği görülmüştür. Bu

durum *S* numunesinin, *K*, *M* ve *MC* numunelerinden daha yüksek glüten içeriğine sahip olmasına bağlanabilir.

3.5. PFT Ölçümleri

Test edilen örneklerin hamur davranışındaki farklılıklar, Şekil 3.4'te görülebildiği gibi PFT verilerinden gözlenmiştir. Şekil 3.4'ten de anlaşıldığı gibi, hamur numunelerinin deformasyonu, uygulanan maksimum asal sıkıştırma gerilmelerinden etkilenmiştir; yani, hamurun bir kaptaki karıştırma, parçalara ayırma, yuvarlama, tabakalama, şekillendirme gibi endüstriyel uygulamaları sırasında uygulanan farklı gerilimler altında farklı yer değiştirme davranışına sahip olması beklenir. 5.5 kPa sıkıştırma gerilim seviyesinde, *S* numunesi diğerlerine göre 3.32 kPa ile en yüksek gerilim değerini ve deformasyona karşı en yüksek mukavemeti göstermiştir (Şekil 3.4). Bu sonuç, deformasyonun bağlı olduğu diğer bileşenlerin yanı sıra numunenin protein içeriğinin türü ve miktarı sebebiyle olabilir. *K* örneği 2,08 kPa ile *M* ve *MC* örneklerine göre kopma için daha yüksek gerilim değerleri vermiştir. *M* örneğine nohut unu ilavesi, deformasyona karşı gösterdiği mukavemeti etkiledi ve *MC* 1,45 kPa ile kopma için *M* örneğinden 1,81 kPa ile daha düşük gerilim ihtiyacı göstermiştir. Hamur numuneleri uygulanan diğer gerilim seviyelerinde benzer davranışlar sergilemiştir. Bu bulgular, PFT'nin farklı kompozisyon ve özelliklere sahip un örneklerini ayırt etmek için veri sağlayabildiğini göstermektedir.



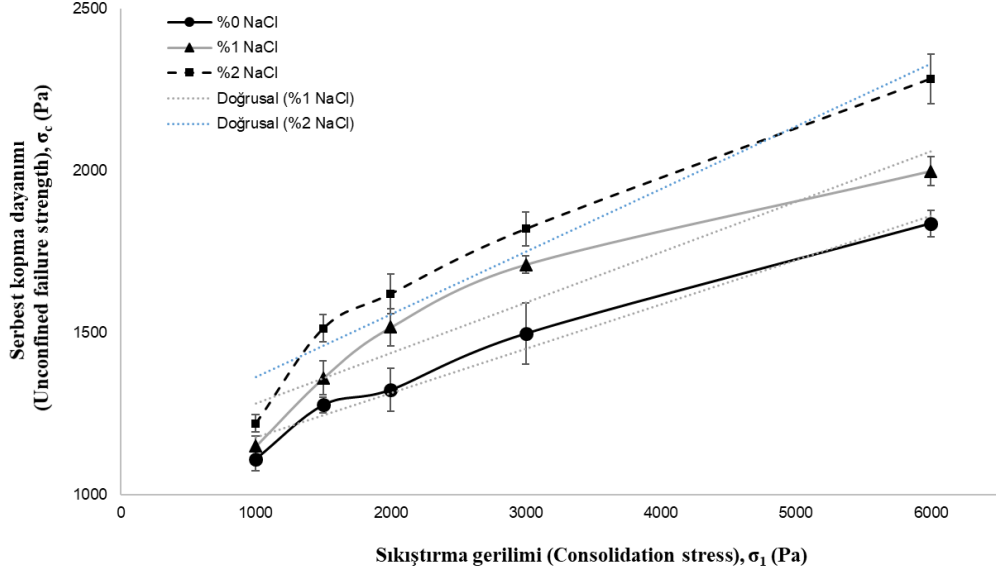
Şekil 3.4: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Kopma Dayanımı; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

Patel ve Chakrabarti-Bell, (2013) hamurların elastik davranış ve dayanım özelliklerindeki farklılıklar üzerine tartışmışlar ve oluşturdukları bir test cihazı ile uzama kabiliyeti yerine elastikiyeti ölçmüşlerdir.

Kieffer hamur ve gluten uzatılabilirlik test cihazı (tek eksenli) çoğunlukla karakteristik gluten proteini bileşimi ve konsantrasyonunun hem düşük hem de yüksek deformasyon hızlarındaki (100 ila 600 mm/dk) buğday unu çeşitlerinin hamur geometrisine bağlı reolojik özellikleri (gerçek gerilim ve gerçek gerinim ilişkisi kırılma gerilimi, kırılma gerinimi) üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar (Sliwinski, vd., 2004; Ktenioudaki, vd., 2011; Rieder, vd., 2012) hamur reolojisini değerlendirmek için kuvvet yer değiştirme ölçümünden gerilim-gerinim eğrilerini hesaplamak için Kieffer test cihazı kullanmıştır. Ktenioudaki, vd., (2011), Kieffer hamur ve gluten uzatılabilirlik test cihazından, tekstür analizöründekilere benzer kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde etmişlerdir. Bununla birlikte, aynı gerinim değerlerinde Kieffer test cihazından daha yüksek gerilim değerleri elde etmişlerdir. Onlar ve Patel ve Chakrabarti-Bell, (2013) uzama deformasyonu üzerine, buğday unu hamurunun gerinim ile gerilim değerlerindeki artıştan kaynaklanan gerinim sertleşmesi davranışı gösterdiğini

bildirmişlerdir. Ktenioudaki, vd., (2011), gerinim ile orantılı olarak gerilimin arttığını belirtmiş ve bu sonucun çalışmamızdaki PFT verileriyle uyumlu olduğunu söyleyebiliriz. Bu durum sıkıştırma geriliminin kopma dayanımı ile orantılı olarak daha fazla arttığı anlamına gelmektedir (Şekil 3.4). Bunun nedeni, hamurun deforme olduğu yönde mukavemetindeki değişiklikten kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle gerdirme prosesleri, çoğunlukla gluten fraksiyonunun bir sonucu olan hamur reolojisinde çok önemlidir. Bu deformasyon ve uzama davranışı; lipitler, nişasta ve nişasta olmayan polisakkaritler ve ilave edilen tuz gibi diğer un bileşenlerine de bağlıdır (Charalambides, vd., 2006; van Vliet, 2008; Mccann ve Day, 2013).

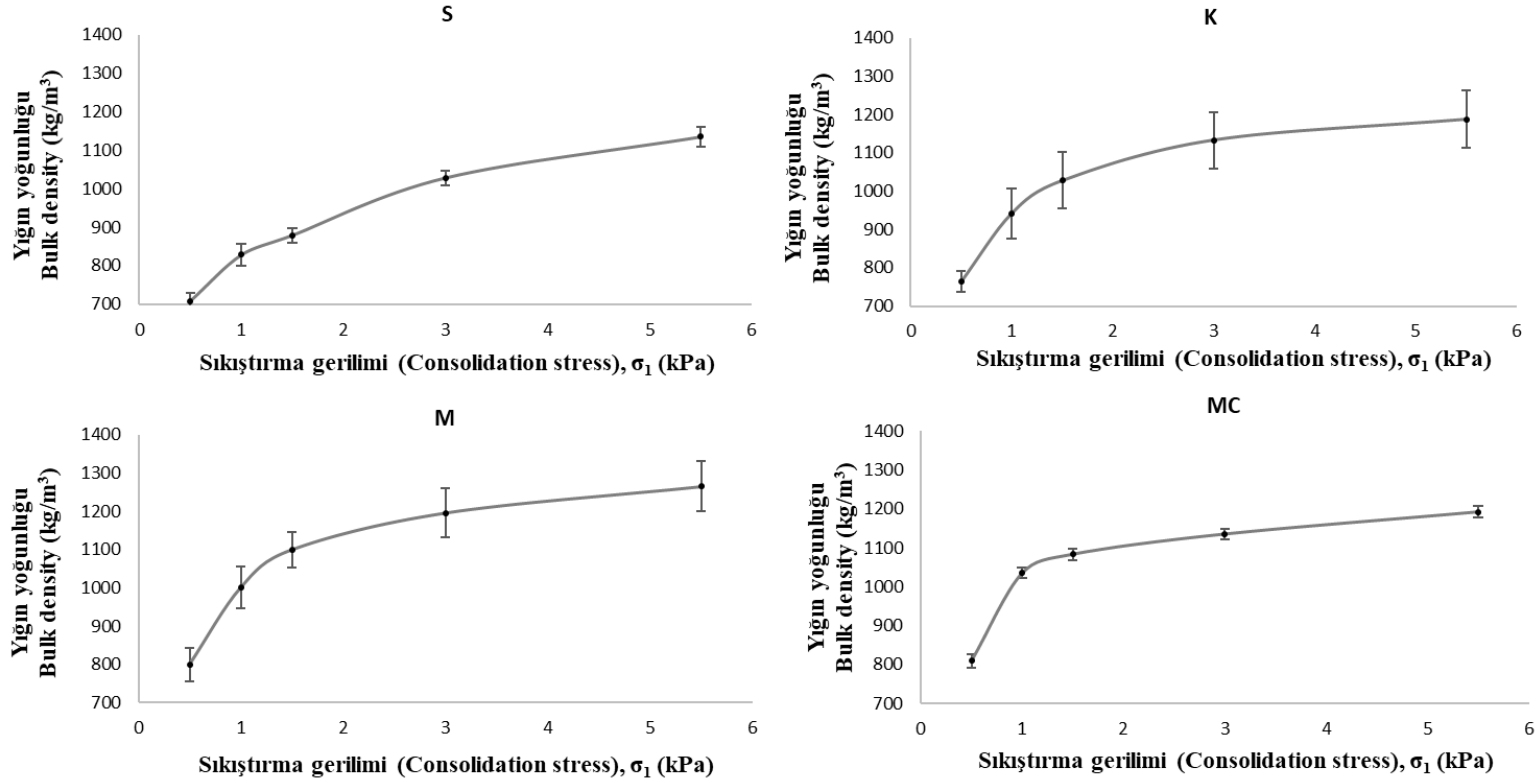
Mccann ve Day, (2013) tarafından gösterilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri, hamur malzemesine eklenen tuz miktarı ile kuvvetin arttığını gösterilmiştir. Bu sonuç, tuz konsantrasyonu arttıkça aynı deformasyon seviyesi için daha fazla kuvvetin gerektiği anlamına gelmektedir. Farklı miktarlarda tuz konsantrasyonları (%0, %1 ve %2) içeren hamur numuneleri ile yapılan PFT testleri de benzer sonuçlar vermiştir (Şekil 3.5). Artan tuz konsantrasyonu, hamur mukavemetinin artmasına neden olmuştur. Uygulanan 3 kPa gerilimde; NaCl (tuz) içermeyen hamurun kopma dayanımı 1,5 kPa'dan sırasıyla %1 ve %2 NaCl içeren hamur için 1,7 ve 1,8 kPa'a yükselmiştir. Bu, NaCl ilavesinin hamur mukavemetini arttırdığını ve tuz konsantrasyonunun hamur mukavemetine olan etkisinin PFT ile belirlenebildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.5: Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerine Tuz Konsantrasyonlarının Etkisi; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

Unun pişirme performansını değerlendirmek için esas olarak gluten proteini kalitesi ve yapısı ile ilişkili olan hamur uzama kabiliyetinin büyük deformasyon ölçümleri kullanılmıştır (Sliwinski, vd., 2004; Mccann, vd., 2016; Yazar, vd., 2016). Yazar, vd., (2016) farinografta karıştırma sırasında doğrusal ve doğrusal olmayan bölgelerdeki hamur malzemesinin yüksek genlikli salınımlı kayma özelliklerini incelemişlerdir. Hamur örneklerinin, bu çalışmanın bulguları ile tutarlı olan büyük gerinimlerde gerinim sertleşmesi ve kayma incelmeleri davranışı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Farklı sıkıştırma gerilimi verilerine karşı yığın yoğunluklarındaki değişiklikler de araştırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Uygulanan Çeşitli Sıkıştırma Gerilimleri Altında, Farklı Un Örneklerinden Hazırlanan Hamur Numunelerinin Yığın Yoğunluğundaki Değişiklikler; K: Sert Buğday Unu, S: Tam Buğday Unu, M: Özel Amaçlı Buğday Unu, MC: Nohut Unu ile M'nin Karışımı (Karışım Oranı= 15:85).

3.6. Glütten İçeriği, DSA Verileri ve PFT Parametreleri Arasındaki Korelasyon

Farklı un örneklerinden hazırlanan hamur numunelerinin dinamik kesme analizi (DSA) veri değerleri ile PFT (toz akış ölçüm cihazı) parametreleri arasındaki korelasyonları analiz etmek için Pearson testi kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları Tablo 3.5'te sunulmuştur. Genel olarak, 500-5500 Pa arasında uygulanan değişken sıkıştırma gerilim değerleri altında yığın yoğunluğu ile anlamlı negatif korelasyonlar gösterirken ($p < 0,01, 0,05, 0,1$) depolama ve kayıp modülü (G' , G'') değerleri, kopma dayanımı ile anlamlı pozitif korelasyon göstermiştir ($p < 0,01, 0,05, 0,1$). DSA sonuçlarının PFT ölçümleri ile uyumlu olduğunu ve dolayısıyla viskoelastik parametrelerde (G' , G'') gözlemlenen olası bir eğilimin, bir dereceye kadar PFT parametreleri tarafından gözlemlenen eğilim ile tahmin edilebilirliğini açıklamaktadır. G' ve G'' değerleri arttıkça herhangi bir hamur sisteminin kopma dayanımının arttığını değerlendirmek zor olmadığından PFT sonuçlarının doğrulayıcı sonuçlar olduğu düşünülmektedir.

Un örneklerinin % glütten içeriği ile PFT parametreleri arasında korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.5). Buna göre % glütten değerlerindeki artışa bağlı olarak kopma dayanımı değerleri artmış ve yığın yoğunluğu değerleri azalmıştır.

Tablo 3.5: DSA, % Glüten İçeriği Değerleri ve PFT Parametreleri Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları^a (*r*)

		PFT parametreleri									
		SERBEST KOPMA DAYANIMI					YIĞIN YOĞUNLUĞU				
		CS500	CS1000	CS1500	CS3000	CS5500	BD500	BD1000	BD1500	BD3000	BD5500
DSA (SAOS) parametreleri	<i>K'</i>	0.792	0.927*	0.905*	0.958**	0.973**	-0.934*	-0.919*	-0.983**	-0.971**	-0.909*
	<i>K''</i>	0.835	0.955**	0.931*	0.973**	0.984**	-0.956**	-0.940**	-0.995***	-0.971**	-0.918*
	% Yaş Glüten	0.899	0.974**	0.974**	0.997***	1.000***	-0.987**	-0.982**	-0.989**	-0.918*	-0.849
	% Kuru Glüten	0.874	0.941**	0.959**	0.986**	0.990***	-0.970**	-0.975**	-0.962**	-0.875	-0.781

^a: *K'* depolama modülü keşişimi / *K''* kayıp modülü keşişimi, Korelasyon analizini yapmak için değişen sıkıştırma gerilim değerleri (500-5500 Pa) altında % glüten içeriği, serbest kopma dayanımı ve yığın yoğunluğu değerleri kullanılmıştır. (***)*p*<0,01, (**)*p*<0,05, (*)*p*<0,1).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hamurların doğrusal olmayan bölgedeki davranışlarını inceleyen bazı tez çalışmaları bulunmaktadır. Yazar, (2016)'ın pirinç, karabuğday, soya ve kinoa unları ile hazırlanan glutensiz hamurlar üzerine yaptığı çalışmada, doğrusal olmayan reolojik analizlerden elde edilen verilerin son ürün kalitesi ile ilişkili olduğunu ispat etmeyi amaçlamıştır. Farklı gerinimlerle yaptığı testlerde bütün hamurların maksimum %1,6 gerinim değerinden itibaren artan deformasyonlarla doğrusal olmayan yönde davranış göstermeye başladığını belirtmiştir. Benzer bir çalışmada ise Özyiğit, (2016), glutensiz kek hamurlarının viskoelastik özelliklerini incelemek amacıyla yaptığı LAOS analizinde, uygulanan gerinim değeri %1'e ulaştıktan sonra bütün numunelerin doğrusal olmayan davranış sergilediklerini söylemiş; bu test ile hamurun viskoelastik özelliklerinin incelenerek hamur davranışı hakkında bilgi alınabileceğini bildirmiştir.

Ekşi hamur ve ekşi hamur katkıli hamur numuneleri ile yapılan farklı bir çalışmada Maviş, (2019), hamurlarla hazırlanan küçük hacimli numunelerin yüksek deformasyonlar altındaki analizleri sonucunda; LAOS testinin hamur mekanik özelliklerini karakterize etmede kullanılabilir bir yöntem olduğunu ifade etmiştir. Kurnaz, (2018) ise, kaliteli ve lezzetli ekmek son ürünü eldesi için hamurun uğrayacağı deformasyonlara vereceği tepkiyi öngörmek adına kinoa/buğday unu karışımından hazırladığı numunelere LAOS testi uygulamıştır. Uygulanmaya başlayan küçük deformasyonlarda elastik özelliğin viskoz özelliğe baskın olduğunu fakat deformasyonun artmasıyla bu durumun tersini gözlemlediğini belirtmiştir (Kurnaz, 2018).

Yapmış olduğumuz bu çalışma; deformasyon sırasında ve PFT kullanılarak uygulanan çeşitli gerilmeler altında buğday unlarının ve bu unlarla hazırlanan hamur reolojilerinin ayırt edilebileceği tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, PFT'nin bu amaçla kullanılmasının uygun olabileceğini göstermiştir. Daha önceki araştırma çalışmalarında kullanılan tek eksenli ve çift eksenli test yöntemlerinden de benzer

davranışlar elde edilmiştir. Ayrıca, hamur reolojisi ölçümü için kullanılan diğer cihazlarla karşılaştırdığımızda daha küçük hacimlerde hamur numunesine ihtiyaç duyulması avantajına sahip olduğunu göstermiştir.

PFT ölçümleri ile NaCl konsantrasyonu ve hamur mukavemeti arasında önemli korelasyonlar gözlenmiştir. Artan NaCl konsantrasyonu seviyelerine sahip hamurların artan gerinim sertleşmesi davranışı açıkça tanımlanmıştır. Daha yüksek tuz içeriğinin kopmaya karşı daha yüksek gerilmeye neden olduğu ve çeşitli tuz konsantrasyonlarına sahip numuneler arasındaki reolojik farklılıkların fark edildiği tespit edilmiştir. Böylece, PFT testleri faydalı bilgiler vererek hamur davranışı ve pişirme kalitesini etkileyen hamur reolojisi değerlendirilmesinin daha iyi anlaşılması için veri sağlamaktadır.

Öneriler:

Gelecek çalışmalar için PFT'den elde edilen verilerin LAOS bölgesinde yapılacak testlerden elde edilecek olan verilerle karşılaştırılması ve muhtemel korelasyonların belirlenmesi çalışmaları yapılarak doğrusal olmayan bölgedeki reolojik davranışların daha iyi anlaşılması sağlanabilir.

Diğer bir öneri olarak; hamur reolojisi ölçümleri için PFT hücresinde modifikasyonlar (biraz daha küçük hacim ve daha uygun hücre geometrisi dizaynı) yapılabilir.

PFT cihazı ile birlikte kullanılan toz reolojisi için programlanmış bilgisayar paket programı, hamur reolojisi ölçümüne uygun olarak revize edilerek daha fazla deneme önerilebilir.

KAYNAKÇA

- AACC. (2000). American Association of Cereal Chemists Approved Methods of the AACC, 10th ed. *Methods 38-10, 38-20, 38-12A, 55-31, 66-50, 76-31, 80-60*. The Association: St. Paul, MN.
- Ahmed, J., ve Thomas, L. (2015). *Effect of b -D-glucan concentrate and water addition on extensional rheology of wheat flour dough*. LWT - Food Science and Technology.
- Ahmed, J., ve Thomas, L. (2015). LWT - Food Science and Technology Effect of b -D-glucan concentrate and water addition on extensional rheology of wheat flour dough. LWT - Food Sci. and Technol.
- Anderssen, R. S., Bekes, F., Gras, P. W., Nikolov, A., ve Wood, J. T. (2004). Wheat-flour dough extensibility as a discriminator for wheat varieties. *Journal of Cereal Science*, 39, 195–203.
- Anonim. (2019, 12 22). Türkiye İstatistik Kurumu: www.tuik.gov.tr adresinden alındı
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists Official methods of analysis. *11th edition*. Washington, D. C.
- Arslan, E. Z. (2018). *Unun Kalite Parametrelerinin Yakın ve Orta Kızılötesi Spektroskopisi Kullanılarak Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydoğan, S., Akçacık, A. G., Şahin, M., Kaya, Y., Koç, H., Görgülü, M. N., ve Ekici, M. (2012). Ekmeklik Buğday Unlarında Alveograf, Farinograf ve Miksografda Ölçülen Reolojik Özellikler Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (1): 74-82.
- Aydoğan, S., Şahin, M., Akçacık, A. S., Demir, B., Hamzaoğlu, S., Yakışır, E., ve Dağdaş, B. (2019). Bazı Makarnalık ve Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Kalite Özelliklerinin Araştırılması. *Konya Selçuk Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (2): 264-271.
- Belitz, D. H., Kieffer, R., Seilmeier, W., ve Wieser, H. (1986). Structure and function of gluten proteins. *Journal of Cereal Chemistry*, 63 (4): 336-341.
- Biçer, P. (2011). *Su Tutma Kapasitesine Etki Eden Bazı Ticari Ürünlerin Hamur Reolojisi ve Ekmek Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bloksma, A. H. (1990). Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World*, (35): 237-244.
- Bonnand-Ducasse, B., Valle, D. G., Lefebvre, J., ve Saulnier, L. (2010). Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*, (52): 200-206.
- Buehler, E. (2006). *Bread Science: the chemistry and craft of making bread*. Hillsborough, NC: Two Blue Books.

- Chandra, S., Singh, S., ve Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (6): 3681–3688.
- Charalambides, M. N., Wanigasooriya, L., Williams, G. J., Goh, S. M., ve Chakrabarti, S. (2006). Large deformation extensional rheology of bread dough. *Rheologica Acta*, (46): 239–248.
- Dikici, N., Bilgiçli, N., Elgün, A., ve Ertaş, N. (2006). Unun Ekmekçilik Kalitesi ile Farklı Metotlarla Ölçülen Hamur Reolojik Özellikleri Arasındaki İlişkiler. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 31 (5): 285-291.
- Dobraszczyk, B. J., ve Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38 (3): 229-245.
- Dodok, L., Modhir, A. A., Hozova, B., Halasova, G., ve Polacek, I. (1993). Importance and utilization of chickpea in cereal technology. *Acta alimentaria*, 22(2):119–129.
- Dogan, H., ve Kokini, J. (2006). Rheological Properties of Foods. S. Şahin, ve S. G. Sumnu içinde, *Physical Properties of Foods* (s. 2038: 1-124). CRC Press Inc., NY: Food Science Text Series.
- Duvarci, O. C., Yazar, G., ve Kokini, J. L. (2017). The comparison of LAOS behavior of structured food materials (suspensions, emulsions and elastic networks. *Trends in Food Science ve Technology*, (60): 2-11.
- Ereku, O., Yiğit, A., Koca, Y. A., Ellmer, F., ve Weib, K. (2016). Bazı Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşitlerinin Kalite Potansiyelleri ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Önemi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel sayı-1): 31-36.
- Ewoldt, R. H., Hosoi, A. E., ve McKinley, G. H. (2008). New measures for characterizing nonlinear viscoelasticity in large amplitude oscillatory shear. *Journal of Rheology*, 52 (6): 1427-1458.
- Ferry, J. D. (1980). *Viscoelastic Properties of Polymers*. Wiley, New York: 3rd Edition.
- Fu, Z., Che, L., Li, D., Wang, L., ve Adhikari, B. (2016). Effect of partially gelatinized corn starch on the rheological properties of wheat dough. *LWT - Food Science and Technology*, (66): 324-331.
- Ghorbel, D., ve Launay, B. (2014). An investigation into the nature of wheat flour dough adhesive behaviour. *Food Research International*, (64): 305-313.
- Gunasekaran, S., ve Ak, M. M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of food - selected applications. *Trends in Food Science ve Technology*, 11 (3): 115-127.
- Hardt, N., Boom, R. M., ve Goot, A. J. (2014). Wheat dough rheology at low water contents and the influence of xylanases. *Food Research International*, 66, 478-484.
- Karaman, S., Yılmaz, M. T., Dogan, M., Yetim, H., ve Kayacier, A. (2011). Dynamic oscillatory shear properties of O/W model system meat emulsions: Linear viscoelastic analysis for effect of temperature and oil concentration on protein network formation. *Journal of Food Engineering*, 107 (2): 241-252.

- Klein, C., Venema, P., Sagis, L., ve Linden, E. (2008). Rheological discrimination and characterization of carrageenans and starches by Fourier transform-rheology in the non-linear viscous regime. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 151 (1-3): 145-150.
- Kodaş, R., ve Er, C. (2012). Tahıllarda Organik Yetiştiricilik. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 26 (1): 103-116.
- Kotancılar, H. G., Çelik, İ., ve Ertugay, Z. (1997). Bir Un Fabrikasından Elde Edilen Un Pasajlarının Hamur Reolojik Özellikleri ve Ekmekçilik Kalitesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28 (1): 83-93.
- Ktenioudaki, A., Butler, F., ve Gallagher, E. (2011). Dough characteristics of Irish wheat varieties I . Rheological properties and prediction of baking volume. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (3): 594-601.
- Ktenioudaki, A., O'Shea, N., ve Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116 (2): 362-368.
- Kurnaz, A. A. (2018). *Kinoa ve Buğday Unları Karışımında Üretilen Hamurların Doğrusal Olmayan Bölgedeki Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Maviş, Ç. Y. (2019). *Eksi Hamurun Doğrusal Olmayan Bölgedeki Viskoelastik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ekmek Tekstürü Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi (Doktora Tezi)*. İstanbul, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mccann, D. H., ve Day, L. (2013). Effect of sodium chloride on gluten network formation , dough microstructure and rheology in relation to breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 57 (3): 444-452.
- Mccann, T. H., Gall, M. L., ve Day, L. (2016). Extensional dough rheology e Impact of flour composition and extension speed. *Journal of Cereal Science*, 69, 228-237.
- Meral, R., Yıldız, Ö., ve Doğan, İ. S. (2010). Unların Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesinde Tekstür Analiz Cihazının Kullanımı ve Sonuçların Ekstensograf Değerleri ile Karşılaştırılması. *Electronic Journal of Food Technologies*, 5 (3): 17-24.
- Mirsaeedghazi, H., Enam-Djomeh, Z., ve Mousavi, M. (2008). Rheometric measurement of dough rheological characteristics and factors affecting it. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10 (1): 112-119.
- Mohammed, I., Ahmed, A., ve Senge, B. (2012). Dough rheology and bread quality of wheat–chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36 (1): 196-202.
- Moros, J. E., Franco, J. M., ve Gallegos, C. (2002). Rheology of spray dried egg yolk stabilized emulsions. *International Journal of Food Science ve Technology* , 37 (3), 297–307.
- Nedderman, R. M. (1992). *Statics and kinematics of granular materials*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nicolae, A., Radu, G., ve Nastasia, B. (2016). Effect of sodium carboxymethyl cellulose on gluten-free dough rheology. *Journal of Food Engineering*, 168, 16-19.

- Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., ve Atlı, A. (2016). Buğday Genetik Kaynaklarından Yerel ve Kültürel Çeşitlerine; Türkiye'de Buğday ve Ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (2): 218-233.
- Özmen, D. (2019). *Gıda Endüstrisinde Yaygın Olarak Kullanılan Hidrokolloidlerin Doğrusal Olmayan Bölgedeki Reolojik Davranışlarının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Patel, M. J., ve Chakrabarti-Bell, S. (2013). Flour quality and dough elasticity: Dough sheetability. *Journal of Food Engineering*, 115 (3): 371-383.
- Phan-Thien, N., Newberry, M., ve Tanner, R. I. (2000). Non-linear oscillatory flow of a soft solid-like viscoelastic material. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 92 (1): 67-80.
- Ptaszek, P. (2017). Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) measurement and fourier-transform rheology: application to food, ed. J. Ahmed, P. Ptaszek, ve S. Basu içinde, *Advances in Food Rheology and Its Applications* (s. 87-123). Woodhead Publishing.
- Rao, M., ve Cooley, H. (1993). Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. *Journal of Texture Studies*, 23 (4): 415-425.
- Rieder, A., Holtekjølen, A. K., Sahlstrøm, S., ve Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55 (1): 44-52.
- Ross-Murphy, S. B. (1994). Rheological methods. S. B. Ross-Murphy içinde, *Physical Techniques for the Study of Food Biopolymers* (s. 343-392). New York: Blackie Academic Professional.
- Salazar-Garcia, M. G., Torres, P. I., Reyes-Moreno, C., ve Ramirez-Wong, B. (2003). Extensional flow studies on with flour doughs with different protein content. *Journal of Texture Studies*, 34: 449-464.
- Salehi, H., Barletta, D., ve Poletto, M. (2017). A comparison between powder flow property testers. *Particuology*.
- Salehi, H., Barletta, D., ve Poletto, M. (2017). A comparison between powder flow property testers. *Particuology (In press)*.
- Schulze, D. (2008). Powders and bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow. D. Schulze içinde, *Flow properties of powders and bulk solids* (s. 35-72). Heidelberg: Springer.
- Schulze, D., Schwedes, J., ve Carson, J. W. (2008). *Powders and bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow, Powders and Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow*. Springer.
- Slettengren, K., Xanthakis, E., Ahrné, L. M., ve Windhab, E. (2015). Flow Properties of Spices Measured with Powder Flow Tester and Ring Shear Tester-XS. *Journal of Food Properties*, 19 (7): 1475-1482.

- Sliwinski, E. L., Kolster, P., ve Van Vliet, T. (2004). On the relationship between large-deformation properties of wheat flour dough and baking quality. *Journal of Cereal Science*, 39 (2): 231–245.
- Sullivan, P., O'Flaherty, J., Brunton, N. P., Arendt, E. K., ve Gallagher, E. (2010). Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley. *European Food Research and Technology*, 231 (3): 441-453.
- Şahin, M., Aydoğan, S., Akçacık, A. S., ve Hamzaoğlu, S. (2014). Ekmeklik Buğday Kalite Değerlendirmesinde Miksolab Cihazının Kullanımı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 23 (1): 7-13.
- Tanner, R. I., Qi, F., ve Dai, S.-C. (2008). Bread dough rheology and recoil. I. Rheology. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 148 (1-3): 33-40.
- Tayyar, Ş. (2008). Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Dane Verimi ve Bazı Kimyasal ve Reolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 79-84.
- Uthayakumaran, S., Newberry, M., Phan-Thien, N., ve Tanner, R. (2002). Small and large strain rheology of wheat gluten. *Rheol Acta*, 41 (1-2): 162-172.
- van Vliet, T. (2008). Strain hardening as an indicator of bread-making performance: A review with discussion. *Journal of Cereal Science*, 48 (1): 1-9.
- Wang, P., Jin, Z., ve Xu, X. (2015). Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage - A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives. *Trends in Food Science ve Technology*, 46 (2): 189-198.
- Ermis, E., Yasasin, M., Bozkurt, F., ve Yilmaz, M. T. (2018). Powder Flow Tester (PFT): a new tool to evaluate wheat flour dough behavior by measuring unconfined failure strength under variable consolidation stresses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12 (3): 1678-1685.
- Yazar, G. (2016). *Glutensiz yeni ürünlerin geliştirilmesi için hamur reolojisinin doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi (Doktora Tezi)*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yazar, G., Duvarcı, O. C., Tavman, S., ve Kokini, J. L. (2016). Effect of mixing on LAOS properties of hard wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 190, 195-204.
- Yoo, B., ve Rao, M. (1996). Creep and dynamic rheological behavior of tomato concentrates: effect of concentration and finisher screen size. *Journal of Texture Studies*, 27 (4): 451-459.
- Yousseff, S. A., Salem, A., ve Abdel-Rahman, A. H. (1976). Supplementation of bread with soybean and chickpea flours. *Journal of Food Science and Technology*, 11 (6): 599-605.
- Zaidel, D. N., Chin, N. L., Rahman, R. A., ve Karim, R. (2008). Rheological characterisation of gluten from extensibility measurement. *Journal of Food Engineering*, 86 (4): 549-556.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve YAŞASIN
Doğum Tarihi : 01.11.1992
Doğum Yeri : Diyarbakır
Cep Telefonu : 0543 794 34 00
Adres : Beyoğlu, İstanbul
Mail : merveyasasin@gmail.com

Öğrenim Bilgileri:

Yıl	Derece	Bölüm/Program	Üniversite
2011-2015	Lisans	Gıda Mühendisliği	İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi
2016-2020	Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Yasasin, M., Ermis, E., Bozkurt, F., ve Yilmaz, M. T. (2018). Powder Flow Tester (PFT): a new tool to evaluate wheat flour dough behavior by measuring unconfined failure strength under variable consolidation stresses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-8.

İş Tecrübesi:

Yıl	Kurum Adı/Birim Adı	Görevi
2015-2017	İstanbul Sabahattin Zaim Üni./Gıda AR-GE Laboratuvarı	Gıda Mühendisi
2017-devam	İstanbul Büyükşehir Belediyesi/İşletmeler Müdürlüğü	Gıda Mühendisi

Kurs/Sertifika Bilgisi:

- TÜBİTAK – Mikrobiyoloji Eğitimi
- TSE – Genel Metroloji Eğitimi
- TSE – Ölçüm Belirsizliği Eğitimi
- TSE – Terazî Kalibrasyonu Eğitimi
- TSE – Sıcaklık Kalibrasyonu Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi Temel Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi Dokümantasyon Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi İç Tetkik Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 9001:2015 Risk Tabanlı Proses Yönetimi Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Temel Eğitimi
- TSE – TS EN ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Dokümantasyon Eğitimi
- TSE – Gıda Savunması ve Temel HACCP Kuralları Eğitimi